

УДК 51-7+528.94+551.4

DOI: 10.35595/2414-9179-2021-2-27-394-448

И.В. Флоринский¹**ГЕОМОРФОМЕТРИЯ СЕГОДНЯ****АННОТАЦИЯ**

Рельеф является важнейшим компонентом географической оболочки, одним из основных элементов геосистем, каркасом ландшафта. Геоморфометрия – научная дисциплина, предметом которой является моделирование и анализ рельефа, а также взаимосвязей между ним и другими компонентами геосистем. В настоящее время аппарат геоморфометрии широко применяется для решения различных разномасштабных задач в науках о Земле. В рамках конкурса РФФИ «Экспансия» представлен аналитический обзор развития теории, методов и приложений геоморфометрии за период 2016–2021 гг. Для анализа использовалась выборка из 485 наиболее сильных и оригинальных работ, опубликованных в международных журналах I и II квартиля (Q1–Q2) JCR Web of Science Core Collection, а также монографии ведущих международных издательств. Проанализированы факторы, вызвавшие прогресс геоморфометрии: распространение беспилотной аэрофотосъемки, развитие средств и методов съемки подводного рельефа, появление новых глобальных цифровых моделей рельефа (ЦМР), разработка новых методов предобработки ЦМР для их фильтрации и подавления шума, развитие методов двумерной и трехмерной визуализации ЦМР, внедрение методов машинного обучения и др. Рассмотрены аспекты геоморфометрической теории, получившие развитие в 2016–2021 гг. В частности, представлена новая классификация морфометрических величин. Обсуждаются новые вычислительные методы, позволяющие рассчитывать по ЦМР модели морфометрических величин, а также проблемы, стоящие перед разработчиками и пользователями таких методов. Рассмотрено применение аппарата геоморфометрии для решения задач геоморфологии, гидрологии, почвоведения, геологии, гляциологии, спелеологии, геоботаники, лесоведения, зоогеографии, океанологии, планетологии, оползневедения, дистанционного зондирования, урбанистики и археологии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геоморфометрия, обзор, рельеф, цифровое моделирование рельефа.

Igor V. Florinsky²**GEOMORPHOMETRY TODAY****ABSTRACT**

Topography is the most important component of the geographical shell, one of the main elements of geosystems, and the framework of a landscape. Geomorphometry is a science, the subject of which is modeling and analyzing the topography and the relationships between topography and other components of geosystems. Currently, the apparatus of geomorphometry is widely used to solve various multi-scale problems of the Earth sciences. As part of the RFBR competition 'Expansion', we present an analytical review of the development of theory,

¹ Институт математических проблем биологии РАН – филиал Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Пушкино, Московская обл., 142290, Россия, *e-mail*: iflor@mail.ru

² Institute of Mathematical Problems of Biology, Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Moscow Region, 142290, Russia, *e-mail*: iflor@mail.ru

methods, and applications of geomorphometry for the period of 2016–2021. For the analysis, we used a sample of 485 of the strongest and most original papers published in international journals belonging to the JCR Web of Science Core Collection quartile I and II (Q1-Q2), as well as monographs from leading international publishers. We analyze factors caused a progress in geomorphometry in recent years. These include widespread use of unmanned aerial survey and digital photogrammetry, development of tools and methods for survey of submarine topography, emergence of new publicly available digital elevation models (DEMs), development of new methods of DEM preprocessing for their filtering and noise suppression, development of methods of two-dimensional and three-dimensional visualization of DEMs, introduction of machine learning techniques, etc. We consider some aspects of the geomorphometric theory developed in 2016–2021. In particular, a new classification of morphometric values is presented. We discuss new computational methods for calculating morphometric models from DEM, as well as the problems facing the developers and users of such methods. We consider application of geomorphometry for solving multiscale problems of geomorphology, hydrology, soil science, geology, glaciology, speleology, plant science and forestry, zoogeography, oceanology, planetology, landslide studies, remote sensing, urban studies, and archaeology.

KEYWORDS: geomorphometry, review, topography, digital terrain modeling.

ВВЕДЕНИЕ

Рельеф является важнейшим компонентом географической оболочки, одним из основных элементов геосистем, каркасом ландшафта. Будучи результатом взаимодействия эндо- и экзогенных процессов различного масштабного уровня и отражая геологическое строение, рельеф определяет предпосылки миграции и аккумуляции влаги и других веществ вдоль земной поверхности и в почве под действием гравитации, контролирует тепловой и гидрологический режим, распределение почвенного и растительного покрова, и пр.

В конце XX века сформировалась геоморфометрия – научная дисциплина с развитой физико-математической теорией и мощным аппаратом вычислительных методов, предметом которой является математическое моделирование и анализ рельефа, а также взаимосвязей между ним и другими компонентами геосистем [Evans, 1972; Shary, 1995; Florinsky, 2017a]. Исходными данными для моделирования являются цифровые модели рельефа (ЦМР). Объектами моделирования являются рельеф суши, подводный рельеф, рельеф поверхности ледников, подледный рельеф, рельеф внеземных территорий, а также рельеф стратиграфических горизонтов и геологических тел [Florinsky, 2016]. Эти негладкие объекты обычно аппроксимируются топографической поверхностью, которой называется замкнутое ориентированное бесконечно дифференцируемое двумерное многообразие в трехмерном евклидовом пространстве [Shary, 1995; Florinsky, 2016].

В настоящее время аппарат геоморфометрии широко применяется для решения различных разномасштабных задач геоморфологии, гидрологии, почвоведения, геоботаники, геологии, океанологии, климатологии, планетологии, археологии и других наук. Международный опыт исследований в области геоморфометрии до 2016 г. обобщен в серии аналитических обзоров и монографий [Moore et al., 1991; Florinsky, 1998; Pike, 2000; Wilson, Gallant, 2000; Li et al., 2005; Deng, 2007; Hengl, Reuter, 2009; Wilson, 2012; Florinsky, 2016; Minár et al., 2016; Lv et al., 2017].

Целью нашего обзора является анализ развития теории, методов и приложений геоморфометрии в 2016–2021 гг. Для анализа использовались статьи в международных журналах I и II квартиля (Q1–Q2) JCR Web of Science Core Collection, а также монографии ведущих международных издательств. Такой подход позволил выделить 485 наиболее

сильных и оригинальных работ из нескольких тысяч публикаций этого периода по геоморфометрической тематике. В обзоре также цитируется 15 важных работ, опубликованных до 2016 г.

ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ ГЕОМОРФОМЕТРИИ В ПЕРИОД 2016–2021

Существенный прогресс геоморфометрии был вызван следующими факторами:

1. Широкое распространение беспилотной аэрофотосъемки [Toth, Józków, 2016; Bhardwaj et al., 2016b; Singh, Frazier, 2018; Xiang et al., 2019; Yao et al., 2019; Gaffey, Bhardwaj, 2020] и методов цифровой фотограмметрии [Eltner et al., 2016; Smith et al., 2016; Anderson et al., 2019], которые позволяют воспроизводимо [Clapuyt et al., 2016; Hendrickx et al., 2019] получать ЦМР сверхвысокого разрешения (1–25 см) и высокой точности [Gindraux et al., 2017; James et al., 2017; Florinsky et al., 2018a; Guisado-Pintado et al., 2019]. При сложности или невозможности выполнения условий планово-высотного обоснования в качестве опорной информации используются центры проекций снимков [Gabrlík et al., 2018; Bliakharskii et al., 2019; Chudley et al., 2019]. Создаваемые ЦМР применяются при исследованиях относительно небольших участков.

2. Широкое распространение технологии воздушного лазерного сканирования [Toth, Józków, 2016], что, в частности, обеспечило возможность появления в открытом бесплатном доступе ЦМР высокого разрешения (1–2 м) на многие обширные территории Западной Европы и Северной Америки [Florinsky et al., 2019].

3. Развитие средств и методов получения батиметрических ЦМР высокого разрешения и точности для глубоководных и шельфовых зон морей и океанов [Wölfl et al., 2019; Zwolak et al., 2020; Zhao et al., 2021], прибрежного мелководья [Collin et al., 2018; Hodúl et al., 2018; Agraftotis et al., 2019], а также русел рек [Alvarez et al., 2018; Kasvi et al., 2019; Legleiter et al., 2019]. В первом случае используется многолучевое эхолотирование с надводных и подводных управляемых и автономных платформ, во втором – фотограмметрическая обработка аэро- и космических снимков и лидарная аэросъемка, а в третьем – в основном, лидары и контролируемые беспилотными авиационными системами сонары. Получаемые ЦМР используются в широком диапазоне масштабов.

4. Появление новых, более точных и качественных, оригинальных и компилированных, квазиглобальных, глобальных и региональных общедоступных ЦМР среднего и высокого разрешения. Хотя точность и качество таких ЦМР все еще оставляет желать лучшего, важность именно общедоступных, а не коммерческих ЦМР для научного сообщества сложно переоценить [Schumann, Bates, 2018]: такие ЦМР позволяют без дополнительных затрат проводить исследования различной направленности на региональном, континентальном и глобальном уровнях.

К новым оригинальным общедоступным ЦМР относятся: 1) Квазиглобальные ЦМР суши с разрешением 1": AW3D30 DSM v. 1–3.2 [Tadono et al., 2016] и ASTER GDEM v. 3 [Abrams et al., 2020], созданные фотограмметрическим методом по снимкам космических аппаратов (КА) ALOS и Terra. AW3D30 является наиболее точной оригинальной квазиглобальной ЦМР среди аналогов [Boulton et al., 2018; Caglar et al., 2018; Florinsky et al., 2018b; Jain et al., 2018; Li, Zhao, 2018; Florinsky et al., 2019; Liu et al., 2019; González-Moradas, Viveen, 2020]. Популярная в России ASTER GDEM имеет низкую точность и переполнена артефактами [Purinton, Bookhagen, 2017; Boulton, Stokes, 2018; Florinsky et al., 2018b, 2019; Grohmann, 2018; Liu et al., 2019; González-Moradas, Viveen, 2020], поэтому международное совещание экспертов “Global DEM Benchmarking” (2019, JRC ЕС, Испра, Италия) рекомендовало отказаться от ее использования. 2) ЦМР суши Арктики ArcticDEM [Porter et al., 2018] и Антарктики REMA [Howat et al., 2019] (разрешение 2 и 8 м), полученные по снимкам КА WorldView и GeoEye.

Целями создания компилированных ЦМР являются: а) составление глобальных ЦМР, описывающих весь рельеф планеты – рельеф суши, подводный и подледный рельеф; и б) улучшение существующих ЦМР (фильтрация шума и ошибок, заполнение пробелов). Эти цели достигаются с использованием разнородных взаимодополняющих источников данных.

К новым компилированным глобальным ЦМР относятся: 1) SRTM15+ v. 2 с разрешением 15" [Tozer et al., 2019], в которой для описания рельефа суши использованы SRTM-3 DEM, ASTER GDEM, ArcticDEM и REMA, а рельефа дна – данные батиметрических измерений и предсказательные модели рельефа дна по данным спутниковой альтиметрии. 2) GEBCO_2019 и _2020 (разрешение 15") [Wöfl et al., 2019], в основе которых лежит существенно уточненная SRTM15+.

К новым улучшенным компилированным квазиглобальным ЦМР суши относятся: 1) MERIT DEM [Yamazaki et al., 2017] (разрешение 3"), созданная путем слияния и последующего редактирования AW3D30 и SRTM-3. 2) ЦМР, созданная на основе SRTM-1 DEM и ASTER GDEM v. 2 (разрешение 1") [Yue et al., 2017]. 3) ЦМР Copernicus DEM GLO-30 и GLO-90 [Strobl, 2020] (разрешение 1" и 3"), в основе которых лежит коммерческая квазиглобальная ЦМР WorldDEM [Rizzoli et al., 2017] с разрешением 0,4". Эта модель, полученная радарграмметрическим методом по данным съемки КА TanDEM-X, является самой точной квазиглобальной ЦМР [Rizzoli et al., 2017; Gonzalez, Rizzoli, 2018; Grohmann, 2018; González-Moradas, Viveen, 2020; Vassilaki, Stamos, 2020].

К новым компилированным региональным ЦМР относятся: 1) Модель подледного и подводного рельефа Гренландии BedMachine v. 3 [Morlighem et al., 2017] с разрешением 150 м, созданная на основе данных ледопроникающих радиолокационных измерений и многолучевого эхолотирования. 2) Батиметрическая ЦМР Северного Ледовитого океана ИВСаО v. 4 [Jakobsson et al., 2020] (разрешение 200 м), построенная на основе данных эхолотирования, а также оцифрованных изобат.

5. Разработка новых методов обработки данных дистанционного зондирования (ДДЗ) для создания квазиглобальных и региональных ЦМР [Tadono et al., 2016; Rizzoli et al., 2017; Porter et al., 2018; Howat et al., 2019; Novaczek et al., 2019; Abrams et al., 2020].

6. Разработка новых методов предобработки ЦМР, к функциям которых относятся: 1) слияние взаимодополняющих ЦМР и заполнение в них пробелов [Fuss et al., 2016; Yue et al., 2017; Tozer et al., 2019; Jakobsson et al., 2020]; 2) коррекция ЦМР за растительный покров и техногенные объекты [Lindsay, 2016c; O'Loughlin et al., 2016; Yamazaki et al., 2017; Gevaert et al., 2018; Meddens et al., 2018; Pijl et al., 2020; Van Nieuwenhuizen et al., 2021]; 3) фильтрация шума, ошибок и артефактов [Yamazaki et al., 2017; Yue et al., 2017; Tozer et al., 2019; Jakobsson et al., 2020]; 4) согласование ЦМР и гидрографической сети [Barnes, 2016; Lindsay, 2016a, 2016b; Zhou et al., 2016; Zhou et al., 2017]; 5) оценка точности ЦМР [Polidori, El Hage, 2020]. Эти методы важны, так как шум и ошибки, которые есть в любой ЦМР, существенно усиливаются в морфометрических моделях, рассчитываемых по ЦМР [Florinsky, 2016; Lecours et al., 2017a, 2017b; Moudry et al., 2018; O'Neil et al., 2019].

7. Развитие методов двумерной (2D) и трехмерной (3D) визуализации ЦМР. 2D методы сфокусированы на совершенствовании цифровой реализации классических картографических подходов изображения рельефа – метода горизонталей [Arundel et al., 2018; Samsonov et al., 2019], отмывки рельефа [Jenny, 2020; Jenny et al., 2020; Kennelly et al., 2021], а также генерализации рельефа [Duan et al., 2017; Behrens et al., 2018; Wu et al., 2019] и одновременного отображения нескольких характеристик рельефа [Chu et al., 2019]. Методы второй группы позволяют проводить 3D визуализацию больших ЦМР в реальном режиме времени [Müller et al., 2016; Zhai et al., 2016; Bladin et al., 2018; Chen et al., 2018; Thornton et al., 2018; Florinsky, Filippov, 2019, 2021].

8. Развитие методов машинного обучения [Guo et al., 2016], в частности – алгоритмов случайного леса [Belgiu, Drăguț, 2016; Hengl et al., 2018], и их адаптация к пространственным данным [Valentine, Kalnins, 2016; Zhang et al., 2016; Ma et al., 2019]. Эти методы применяются с целью создания моделей прогнозного картографирования почв, растительности и др., в которых одной из групп предикторов (ковариат обучающих выборок) являются цифровые модели морфометрических величин, рассчитываемые по ЦМР.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

В работах, использующих аппарат геоморфометрии, применяется расчет, визуализация и анализ цифровых моделей и карт морфометрических величин [Florinsky, 2016, 2017a]. Описано несколько десятков морфометрических величин, причем многие из них известны под разными названиями [Hengl, Reuter, 2009; Lecours et al., 2016b, 2017c; Favalli, Fornaciai, 2017; Amatulli et al., 2018, 2020; Newman et al., 2018; Wilson, 2018; Minár et al., 2020]. Для успешного применения методов геоморфометрии пользователь должен ориентироваться в этих величинах, понимать их физико-математический смысл и знать их интерпретации. В этой связи важную роль играет классификация морфометрических величин [Florinsky, 2017a], в основе которой лежит критерий их физико-математического смысла, и которая включает 4 основных класса величин: локальные, нелокальные, двухполевые и комбинированные величины.

Локальной морфометрической величиной называют однозначную функцию двух переменных, описывающую геометрию топографической поверхности в окрестностях данной точки вдоль направлений, заданных одной из двух значимых пар взаимно перпендикулярных нормальных сечений [Shary, 1995; Florinsky, 2016, 2017a]. Первой парой являются главные сечения (обладают максимальным и минимальным изгибом в данной точке). Вторая пара нормальных сечений выделена гравитацией: одно из них включает вектор ускорения силы тяжести и общую касательную с линией скольжения, а другое – тангенциально горизонтали в данной точке.

Двум парам нормальных сечений соответствуют две группы локальных величин: атрибуты форм и потоков [Shary, 1995; Shary et al., 2002; Florinsky, 2016, 2017a]. Атрибуты форм связаны с главными сечениями и не зависят от направления вектора ускорения силы тяжести. К ним относятся кривизны: минимальная, максимальная, средняя и др. Атрибуты потоков связаны с нормальными сечениями, выделенными гравитацией и зависят от направления вектора ускорения силы тяжести. К ним относятся крутизна, экспозиция и кривизны: горизонтальная, вертикальная и др.

Нелокальной морфометрической величиной называют однозначную функцию двух переменных, описывающую относительное положение точки на поверхности [Florinsky, 2016, 2017a]. Для определения значений нелокальной величины необходим анализ территории, границы которой могут быть существенно удалены от данной точки (напр., всего водосборного бассейна). К нелокальным величинам относится, в частности, водосборная площадь [Florinsky, 2017a].

Двухполевой морфометрической величиной называют однозначную функцию двух переменных, описывающую взаимоотношение между топографической поверхностью (находящейся по определению в поле гравитации) и другими полями (полем солнечной радиации, ветрового потока, обзора) в данной точке [Florinsky, 2017a]. К этому классу величин относятся отражательная способность [Horn, 1981], инсоляция [Florinsky, 2017a], видимость [Cervilla et al., 2017], индекс открытости [Alonso-Sarria et al., 2018] и др.

Комбинированными называют морфометрические величины, которые являются математической комбинацией двух или нескольких локальных и нелокальных величин

[Florinsky, 2016, 2017a]. Такие величины учитывают как локальную геометрию поверхности, так и относительное положение данной точки. К ним относятся топографический индекс [Meles et al., 2020] и др.

Вне рассмотренной классификации остается семейство индексов шероховатости [Trevisani, Cavalli, 2016; Groom et al., 2018; Korzeniowska et al., 2018], которые, в целом, представляют собой различные статистические функции морфометрических величин. Основной проблемой является неясность физико-математического смысла этих индексов и эмпирический характер их интерпретаций.

При проведении исследований актуален вопрос выбора разрешения ЦМР. Универсального решения не существует, компетентное разрешение ЦМР зависит от характерных размеров изучаемых объектов [Florinsky, 2016], а результаты моделирования зависят от разрешения ЦМР [Florinsky, 2016; Penížek et al., 2016; Gruber et al., 2017; Mondal et al., 2017; Grimm et al., 2018; Groom et al., 2018; Dai et al., 2019b; Guo et al., 2019; Sîrbu et al., 2019]. Доступность лидарных и беспилотных технологий вызывает соблазн использовать максимально детальные ЦМР. Иногда это позволяет получать более правдоподобные результаты моделирования [Woodrow et al., 2016; Kasprak et al., 2019; Žabota et al., 2019], но часто гонка за максимальным разрешением неоправданна, так как моделирование с менее детальным разрешением дает аналогичные или даже лучшие результаты [Jacobs et al., 2018; Chang et al., 2019; Maxwell et al., 2019]. Кроме того, ЦМР с разрешением 1–25 см насыщены высокочастотным шумом, который сложно удалить без серьезного повреждения сигнала. Такие ЦМР для геоморфометрии бесполезны [Florinsky, Bliakharskii, 2019a].

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

Локальные морфометрические величины являются функциями частных производных высоты. Обычно их расчет по ЦМР проводится конечно-разностными алгоритмами с использованием скользящих окон $n \times n$ [Evans, 1972; Florinsky, 2016]. Альтернативой стал универсальный спектрально-аналитический метод [Florinsky, Pankratov, 2016], который основан на ортогональных разложениях высокого порядка с использованием многочленов Чебышева I рода с суммированием Фейера. Метод предназначен для обработки ЦМР в рамках схемы, включающей глобальную аппроксимацию ЦМР, сглаживание, вычисление частных производных и локальных морфометрических величин. Аппроксимация характеризуется монотонной сходимостью и возможностью быстрого глубокого разложения функции высоты (до 50 млн коэффициентов разложения).

Еще одной альтернативой традиционным скалярным вычислениям локальных величин стал метод векторных вычислений этих функций [Hu G. et al., 2020, 2021]. Он позволяет получать более реалистичные и гладкие морфометрические модели, чем традиционные подходы, причем результаты расчетов меньше зависят от ошибок и разрешения ЦМР.

Достижения в разработке методов расчета локальных величин стали возможны благодаря тому, что 30 лет назад была создана строгая и ясная физико-математическая теория топографической поверхности [Shary, 1995], которая является расширением раздела дифференциальной геометрии, посвященного кривизне поверхности. Разработка теории нелокальной морфометрии увенчались успехом 10 лет назад [Gallant, Hutchinson, 2011]. Однако до сих пор расчет нелокальных величин проводится по ЦМР с помощью логических алгоритмов маршрутизации потоков [Hengl, Reuter, 2009; Grimm et al., 2018; Wilson, 2018; Zhang et al., 2018], которые математически не обоснованы, формальны и, поэтому, часто приводят к получению неправдоподобных результатов [Huang, Lee, 2016;

Clarke, Romero, 2017]. Разработанные аналитические методы расчета нелокальных величин [Qin et al., 2017; Bonetti et al., 2018], реализующие решения дифференциального уравнения Галланта–Хатчинсона, должны вытеснить эти устаревшие алгоритмы.

Сходная ситуация сложилась с известным подходом выделения тальвегов: вначале в ЦМР заполняются мелкие депрессии [Barnes, 2016; Lindsay, 2016a; Wei et al., 2018; Xiong et al., 2019], затем с помощью алгоритма маршрутизации потоков рассчитывается водосборная площадь, после чего подбирается ее пороговое значение, которое обеспечивает визуализацию тальвегов. Теоретически не обоснованы формализация выбора этого значения [Qin et al., 2016] и альтернативные способы построения сети тальвегов [Freitas et al., 2016; Hooshyar et al., 2016; Zhang et al., 2017; Romero, Clarke, 2018; Zhou et al., 2019; Xu et al., 2020]. Пока не будет создана строгая математическая теория структурных линий рельефа (а ее до сих пор нет [Florinsky, 2016]), корректное и воспроизводимое выделение сети тальвегов и водоразделов будет невозможно.

Аппарат геоморфометрии корректно работает с ЦМР, заданными на плоских квадратных сетках [Florinsky, 2016] и сетках сфероидических трапеций на поверхности сферы и эллипсоида вращения [Florinsky, 2017b]. Геоморфометрические расчеты тривиальны при моделировании Земли, Марса, Луны, Венеры и Меркурия, так как форма этих тел может быть описана эллипсоидом вращения или сферой, для которых существуют алгоритмы решения обратной геодезической задачи и определения площади сфероидической трапеции (решение обратной геодезической задачи требуется для размеров скользящего окна в зависимости от широты при расчете локальных величин, а площадь трапеции – при расчете нелокальных величин [Florinsky, 2017b]). Для малых небесных тел, которые могут быть описаны трехосным эллипсоидом, разработан метод, в котором эти параметры определяются по формулам Беспалова [Florinsky, 2018].

Достижения вычислительных методов и 3D визуализации реализованы в аппаратно-программном комплексе «Осязаемый ландшафт» [Petrasova et al., 2018]. В нем макет и цифровая модель ландшафта соединены циклом 3D сканирования макета, цифрового моделирования и проецирования результатов на макет. Пользователь может вручную изменять макет, вылепливая новые формы рельефа, размещать элементы растительности и др. Эти изменения вносятся сканером в цифровую модель, после чего происходит перерасчет моделируемых процессов (напр., эрозии склонов), а затем – проецирование полученных результатов на макет.

ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА ГЕОМОРФОМЕТРИИ

В рассматриваемый период 2016–2021 гг. методы геоморфометрии применялись в геоморфологии, гидрологии, почвоведении, геологии, гляциологии, спелеологии, геоботанике, лесоведении, зоогеографии, океанологии, планетологии, оползневедении, дистанционном зондировании, урбанистике и археологии.

Геоморфология

Аппарат геоморфометрии настолько часто применяется в геоморфологии [Moore et al., 1991; Sofia, 2020], что некоторые российские исследователи ошибочно считают геоморфометрию количественной геоморфологией. Наибольшее распространение геоморфометрическое моделирование, часто интегрированное с машинным обучением, получило при решении следующих задач:

1) Классификация форм и элементов рельефа на основе знака или значений морфометрических величин. Методы классификации (сегментации ЦМР) МакМиллана, Дикау, Шмидта, геоморфон и пр. [Hengl, Reuter, 2009; Florinsky, 2016; Libohova et al., 2016; Gruber et al., 2017; Arundel, Sinha, 2019; Li et al., 2020] применяются как для

геоморфологического картографирования [Argyriou et al., 2016; Gorini et al., 2016; Luo et al., 2016; Dekavalla, Argialas, 2017; Amatulli et al., 2018; Bugnicourt et al., 2018; Iwahashi et al., 2018; Mithan et al., 2019; Alvioli et al., 2020], так и в почвоведении и других науках (см. следующие разделы). Например, сегментация «геоморфон» (геоморфологический фонотип) позволяет выделять 10 элементарных форм: вершина, хребет, отрог, бровка, склон, подножье, долина, незамкнутая и замкнутая депрессии, плоский участок [Atkinson et al., 2020].

2) Автоматическое выявление современных и реликтовых форм рельефа: террас [Clubb et al., 2017; Dai et al., 2019a, 2020], друмлинов [Sărășan et al., 2019], перигляциальных структурных грунтов [Mather et al., 2019], гляциовулканических построек [Pedersen, 2016], а также ледниковых валунов [Nevalainen et al., 2016], палеоморен и следов палеосейсмического разжижения грунта [Middleton et al., 2020].

3) Изучение флювиальных процессов и форм рельефа, в частности – анализ эволюции долин и русел рек с использованием разновременных ЦМР [Bakker, Lane, 2017; Kasprak et al., 2017], а также классификация геометрии речных русел [Lane et al., 2017].

4) Моделирование связности водных и седиментационных потоков водосборных бассейнов [Heckmann et al., 2018]. Такие работы имеют значение для понимания связей между разными частями водосбора и влияния его конфигурация, форм рельефа и техногенных объектов на непрерывность миграции и аккумуляции веществ под действием гравитации [Bigelow et al., 2016; Nicoll, Brierley, 2017; Cucchiario et al., 2019; Marchi et al., 2019; Martini et al., 2019].

5) Моделирование и прогноз овражной эрозии [Bergonse et al., 2016; Mitusov et al., 2017; Shary et al., 2017; Garosi et al., 2018; Liu et al., 2018; Zabihi et al., 2018; Tien Bui et al., 2019; Dai et al., 2019b; Orti et al., 2019; Walker et al., 2020]. Исследования часто проводятся с использованием разновременных ЦМР и их разностей, по которым оценивается объем вынесенного материала и скорость эрозии [Cavalli et al., 2017; Cucchiario et al., 2020]. К этим работам примыкают исследования переноса материала селевыми потоками [Loye et al., 2016], а также почвенной эрозии [Tarolli et al., 2019; Jenčo et al., 2020; Lu S. et al., 2020], в том числе – в зависимости от технологии обработки почвы. В этих работах используются ЦМР сверхвысокого разрешения (0,5–5 см).

6) Моделирование и изучение эоловых процессов и форм рельефа. К таким работам относятся анализ миграции блуждающих дюн и происходящих при этом изменений объемов песка [Brunier et al., 2016; Danchenkov et al., 2019; Grohmann et al., 2020; Rotnicka et al., 2020], изучение эволюции песчаных островов [Houser et al., 2017; Patton et al., 2019], классификация закрепленных дюн и определение направлений сформировавшего их палеовебра [Bernhardson, Alexanderson, 2017].

7) Изучение карстовых форм рельефа и процессов [Silva et al., 2017; Yang et al., 2019], включая выявление и картографирование карстовых воронок [Wu et al., 2016; Zumpano et al., 2019; Kim et al., 2019; Moreno-Gómez et al., 2019; Vajedian, Motagh, 2019], в том числе под лесным пологом [Hofierka et al., 2018] и замаскированных сельскохозяйственной деятельностью [Čeru et al., 2017].

8) Изучение криолитогенных и перигляциальных процессов и форм рельефа – солифлюкционных наплывов и террас, структурных грунтов, полигонально-блочного микрорельефа и бугров пучения [Dąbski et al., 2017; Van der Sluijs et al., 2018; Queen et al., 2021], коллювиальных и аллювиальных конусов выноса [Tomczyk et al., 2017], эволюции морен [Tonkin et al., 2016; Westoby et al., 2016; Ely et al., 2017; Midgley et al., 2018], динамики каменных ледников [Colucci et al., 2016; Piermattei et al., 2016; Dall'Asta et al., 2017], а также мезо- и микрорельефа вокруг кратеров газовых выбросов [Kizyakov et al., 2017, 2018].

9) Изучение рельефа вулканических областей [Gomez, 2018] и его изменений после извержений, в частности – анализ лавовых потоков и каналов [Favalli, Fornaciai, 2017; Dirscherl, Rossi, 2018; Dai, Howat, 2017], обрушенных кальдер вулканов [Dirscherl, Rossi, 2018], площадей и объемов тефровых отложений и их эрозии [Dai C. et al., 2020]. Большая часть таких работ подразумевает анализ разновременных ЦМР. Кроме того, геоморфометрическое моделирование позволяет изучать типологию и эволюцию гляциовулканических форм рельефа [Pedersen et al., 2020], а также реконструировать рельеф эродированных палеовулканов [Karátson et al., 2016].

10) Количественная оценка влияния человеческой деятельности на ландшафт [Tarolli, Sofia, 2016; Tarolli et al., 2019]. Геоморфометрический анализ позволяет выявлять древние и современные антропогенные ландшафты, так как по морфометрическим характеристикам они, как правило, статистически значимо отличаются от естественных ландшафтов [Brecheisen et al., 2019; Xiang et al., 2019; Cao et al., 2020].

11) Моделирование эволюции ландшафта как результата взаимодействия тектонических и эрозионных процессов. Большая часть работ посвящена реальным территориям [Andreani et al., 2016; Elez et al., 2016; Grieve et al., 2016; Hergarten et al., 2016; Owono et al., 2016; Xiong et al., 2016, 2017; Zhang et al., 2017; Blomdin et al., 2018; Szymanowski et al., 2019; Noriega-Londoño et al., 2020; Różycka et al., 2021]. Для анализа и изучения их эволюции, помимо ЦМР, используются геологические, геофизические и климатические данные. Разрабатываются математические модели эволюции ландшафта [Clubb et al., 2016; Moon et al., 2017; Theodoratos et al., 2018; Keylock et al., 2021]. Объектом моделирования является ЦМР абстрактной территории, которая в ходе расчетов постепенно изменяется. Такой подход удобен и нагляден: визуализация изменений ЦМР и морфометрических моделей дает возможность оценить адекватность математической модели, видеть, как работают изменения ее параметров, и, при необходимости, их корректировать.

Сложными для съемки, построения ЦМР, визуализации и анализа являются ландшафты, на которых сконцентрированы песчаниковые скалы-останцы и глинистые эрозионные столбы (напр., долина Монументов и каньон Брайс в Юте). Типичными элементами этих объектов являются отвесные стены, отрицательные уклоны и навесы, а для ландшафтов характерно отсутствие гидрологической связности, каменные хаосы и замкнутые микродепрессии [Jancewicz et al., 2019]. Получение ЦМР возможно путем совместного воздушного и наземного лазерного сканирования (как в случае курумов [Šašak et al., 2019]), оптимальна 3D визуализация, а при моделировании [Migoń et al., 2016; Duszyński et al., 2017] могут возникать те же ограничения, что и для пещер (см. *Сне-леология*).

Гидрология

Систематическое применение аппарата геоморфометрии в гидрологии началось в 1980-е для моделирования гидрологического режима водосборных бассейнов [Moore et al., 1991; Wilson, 2018]. Широко известна пространственно-распределенная гидрологическая модель TOPMODEL [Beven et al., 2021], в которой для учета влияния рельефа используется комбинированная величина – топографический индекс [Meles et al., 2020]. Связь геоморфометрии и гидрологии закрепилась в названиях морфометрических величин (атрибуты потоков, водосборная площадь), хотя они и используются для анализа любой поверхности, вне зависимости от наличия на ней воды (см. *Планетология*).

Математическое моделирование гидрологического режима подразумевает анализ ЦМР и морфометрических моделей, почвенных, литологических и метеорологических данных, и позволяет моделировать процессы выпадения осадков, поверхностного стока,

испарения, инфильтрации и др. [Guida et al., 2016; Wiekenkamp et al., 2016; Peckham et al., 2017]. Для прогноза грунтовых вод в аридных регионах неплохие результаты дает машинное обучение (алгоритмы случайного леса и максимальной энтропии) с использованием в обучающей выборке морфометрических величин [Rahmati et al., 2016].

Распространен анализ ЦМР для выявления водосборных бассейнов [Lindsay, 2016с; Liu et al., 2020a], их классификации по гидрологическим характеристикам [Gaucherel et al., 2017; Gao et al., 2018] и отклику на осадки [Papageorgaki, Nalbantis, 2016], выявления заболоченных территорий [O'Neil et al., 2018], определения объема водохранилищ [Zhang et al., 2016, Liu et al., 2020b], а также прогноза затопления из-за подъема уровня воды в реках, озерах и водохранилищах [Koriche et al., 2016; Abdel-Fattah et al., 2017; Cunha et al., 2017; Khosravi et al., 2018; Medvedev et al., 2020], в том числе – с учетом защитных сооружений [Wing et al., 2019]. Анализ ЦМР сверхвысокого разрешения позволяет исследовать сезонные поверхностные микропотоки рассолов и сопутствующие изменения поверхности солончаков [Bhardwaj et al., 2019b].

ЦМР высокого разрешения ArcticDEM оказалась полезна для картографирования гидрографической сети Арктики [Lu et al., 2020], а также для изучения сезонных колебаний уровня воды в малых арктических реках, мониторинг которых логистически затруднен [Dai et al., 2018].

Почвоведение

Рельеф является одним из главных факторов почвообразования. Уже около 40 лет геоморфометрическое моделирование широко применяется для изучения пространственного распределения физических, химических и биологических свойств почв [Florinsky, 2016], является одним из краеугольных камней педометрики – современного количественного почвоведения [McBratney et al., 2018], и лежит в основе прогнозного почвенного картографирования [Minasny, McBratney, 2016].

Объектами исследования и прогнозного почвенного картографирования выступают следующие количественные характеристики почвы:

- глубина почвенных горизонтов [Angelini et al., 2016; Drăguț, Dornik, 2016; Mulder et al., 2016a; Hengl et al., 2017b; Libohova et al., 2016; Bock et al., 2018; Marques et al., 2018; Nussbaum et al., 2018; Patton et al., 2018; Flynn et al., 2019; Piccini et al., 2019; Atkinson et al., 2020];
- объемная плотность [Ballabio et al., 2016; Hengl et al., 2017b, 2021; Ramcharan et al., 2018];
- гранулометрический состав [Angelini et al., 2016, 2017; Ballabio et al., 2016; Drăguț, Dornik, 2016; Mulder et al., 2016a; Vilorio et al., 2016; Hengl et al., 2017b, 2021; Stumpf et al., 2017; Sun et al., 2017; Behrens et al., 2018a, 2018b; Marques et al., 2018; Nussbaum et al., 2018; Ramcharan et al., 2018; Caubet et al., 2019; Piccini et al., 2019; Wadoux, 2019; Atkinson et al., 2020; Riza et al., 2021];
- кислотность (pH) [Mulder et al., 2016a; Dharumarajan et al., 2017; Hengl et al., 2017b, 2021; Sun et al., 2017; Marques et al., 2018; Nussbaum et al., 2018; Ramcharan et al., 2018; Wadoux, 2019];
- температура [Fan et al., 2020];
- влажность [Lei et al., 2016; Baldwin et al., 2017; Carreno-Luengo et al., 2019; Guevara, Vargas, 2019; Luo W. et al., 2019; Fan et al., 2020; Mallet et al., 2020];
- влагоемкость [Ballabio et al., 2016];
- содержание органического углерода [Akpa et al., 2016; Angelini et al., 2016; Lin et al., 2016; Mulder et al., 2016a, 2016b; Song et al., 2016; Vilorio et al., 2016; Angelini et al., 2017; Dharumarajan et al., 2017; Fissore et al., 2017; Hengl et al., 2017a, 2017b, 2021; Malone

et al., 2017; *Roudier et al.*, 2017; *Sun et al.*, 2017; *Nussbaum et al.*, 2018; *Pejović et al.*, 2018; *Ramcharan et al.*, 2018; *Guo et al.*, 2019; *Padarian et al.*, 2019; *Piccini et al.*, 2019; *Wadoux*, 2019; *Wadoux et al.*, 2019; *Guevara et al.*, 2020];

- содержание азота [*Lin et al.*, 2016; *Hengl et al.*, 2017a, 2021; *Ramcharan et al.*, 2018; *Wadoux*, 2019];
- содержание фосфора [*Hengl et al.*, 2017a; *Shen et al.*, 2019]
- содержание макро- и микроэлементов [*Viloria et al.*, 2016; *Hengl et al.*, 2017a, 2021];
- емкость катионного обмена [*Mulder et al.*, 2016a; *Angelini et al.*, 2017; *Hengl et al.*, 2017b, 2021; *Marques et al.*, 2018; *Nussbaum et al.*, 2018; *Piccini et al.*, 2019];
- электропроводность [*Dharumarajan et al.*, 2017; *Vermeulen et.*, 2017];
- гамма-излучение [*Malone et al.*, 2016; *Wadoux et al.*, 2018].

Кроме того, создаются прогнозные почвенные карты различного масштаба, на которых почвенный покров отображается в виде контуров с классификационной принадлежностью почв [*Chaney et al.*, 2016; *Drăguț, Dornik*, 2016; *Silva et al.*, 2016; *Hengl et al.*, 2017b; *Sarmiento et al.*, 2017; *Cunha et al.*, 2018; *Dornik et al.*, 2018; *Horáček et al.*, 2018; *Ramcharan et al.*, 2018; *Vincent et al.*, 2018].

При проведении таких исследований основными предикторами (ковариатами) служат рассчитанные по ЦМР модели морфометрических величин. Помимо них могут использоваться данные о других факторах почвообразования (литологии, растительности, климате).

Для прогнозного почвенного моделирования используются методы статистики, геостатистики и машинного обучения [*Heung et al.*, 2016], в частности:

- линейная регрессия [*Malone et al.*, 2016; *Song et al.*, 2016; *Fissore et al.*, 2017; *Sun et al.*, 2017; *Pejović et al.*, 2018; *Luo W. et al.*, 2019; *Shen et al.*, 2019; *Mallet et al.*, 2020; *Riza et al.*, 2021];
- географически взвешенная регрессия [*Song et al.*, 2016];
- мультиномиальная логистическая регрессия [*Heung et al.*, 2017b; *Piccini et al.*, 2019];
- кригинг [*Ballabio et al.*, 2016; *Sun et al.*, 2017; *Nussbaum et al.*, 2018; *Wadoux et al.*, 2018; *Shen et al.*, 2019; *Mallet et al.*, 2020];
- многоточечная статистика [*Malone et al.*, 2016];
- дисперсионный анализ и анализ главных компонент [*Piccini et al.*, 2019; *Fan et al.*, 2020];
- нечеткая кластеризация [*Viloria et al.*, 2016; *Horáček et al.*, 2018];
- обобщенная аддитивная модель [*Malone et al.*, 2017; *Roudier et al.*, 2017; *Nussbaum et al.*, 2018];
- нейронные сети [*Viloria et al.*, 2016; *Behrens et al.*, 2018b; *Padarian et al.*, 2019; *Wadoux*, 2019; *Wadoux et al.*, 2019];
- ансамблевое моделирование [*Caubet et al.*, 2019; *Heung et al.*, 2021];
- метод опорных векторов [*Vermeulen, van Niekerk*, 2017];
- метод взвешенных ближайших соседей [*Vermeulen, van Niekerk*, 2017; *Guevara, Vargas*, 2019];
- метод ядерной оценки плотности [*Silva et al.*, 2016];
- алгоритмы случайного леса [*Акра et al.*, 2016; *Chaney et al.*, 2016; *Baldwin et al.*, 2017; *Dharumarajan et al.*, 2017; *Hengl et al.*, 2017a, 2017b; *Stumpf et al.*, 2017; *Vermeulen, van Niekerk*, 2017; *Behrens et al.*, 2018a, 2018b; *Dornik et al.*, 2018; *Nussbaum et al.*, 2018;

Ramcharan et al., 2018; *Behrens et al.*, 2019; *Guevara et al.*, 2020];

- алгоритмы дерева решений [*Akpa et al.*, 2016; *Mulder et al.*, 2016a, 2016b; *Silva et al.*, 2016; *Sarmiento et al.*, 2017; *Vermeulen, van Niekerk*, 2017; *Nussbaum et al.*, 2018; *Vincent et al.*, 2018];
- алгоритмы повышения градиента [*Hengl et al.*, 2017a, 2017b; *Ramcharan et al.*, 2018];
- моделирование структурными уравнениями [*Angelini et al.*, 2016, 2017].

Применяются также подходы сегментации ЦМР, прежде всего – геоморфон (см. *Геоморфология*) [*Drăguț, Dornik*, 2016; *Libohova et al.*, 2016; *Cunha et al.*, 2018; *Dornik et al.*, 2018; *Marques et al.*, 2018; *Flynn et al.*, 2019; *Atkinson et al.*, 2020].

Анализ почвенно-геоморфометрических работ, выполненных в 2016–2021 гг., показывает, что их отличительной чертой является переход от статистических и геостатистических подходов моделирования к геоинформационному машинному обучению. Необходимо, однако, подчеркнуть, что для получения адекватной прогнозной почвенной модели определяющую роль играет правильный подбор предикторов, а не математический аппарат.

Почвы и отложения на плотных глинистых или скальных породах испытывают воздействие не только поверхностных потоков воды и растворенных и взвешенных в ней веществ, но и внутрипочвенных потоков вдоль поверхности подстилающих пород. Для моделирования свойств таких почв необходимо анализировать микрорельеф как дневной поверхности, так и подстилающего горизонта. ЦМР этой поверхности может быть получена с помощью наземных проникающих радаров. Такой подход применялся, в частности, для определения мощности торфяных отложений и запасов связанного в них углерода [*Carless et al.*, 2021].

Перспективным направлением стала концепция дальних связей в пространственном моделировании почвенного покрова [*Behrens et al.*, 2019], в рамках которой рассматриваются межрегиональные связи между геосистемами. Эта концепция близка к моделированию связности потоков (см. *Геоморфология*). Использование в таких работах аппарата геоморфометрии естественно, так как нелокальные и комбинированные величины (водосборная площадь, топографический индекс и др.) могут служить метриками массопереноса на большие расстояния.

Геология

В геологии геоморфометрия применяется для анализа ЦМР как дневной поверхности, так и поверхностей стратиграфических горизонтов и геологических тел [*Florinsky*, 2016]. В последнем случае для получения ЦМР используется 3D сейсмическая съемка [*Tesch et al.*, 2018]. Основными задачами являются анализ геологического строения и выявление зон активных разломов [*Ren et al.*, 2018], а также слабовыраженных в рельефе структур (линеаментов [*Yeomans et al.*, 2019], зон трещиноватости, складок и даек [*Booyesen et al.*, 2019]). Последняя задача решается благодаря высокой чувствительности локальных морфометрических величин к незначительным изменениям высоты [*Florinsky*, 2016].

Морфометрические модели применяются для уточнения геологических карт осадочных бассейнов труднодоступных территорий с лесным покровом [*Valeriano, Rossetti*, 2017], а также выявления и картографирования зон неотектонических деформаций для оценки сейсмического риска [*Argyriou et al.*, 2016, 2017b]. Анализ разномасштабных данных – ЦМР AW3D30, архивных снимков Corona, материалов беспилотной аэрофотосъемки, а также морфометрических моделей – позволил уточнить условия развития грязевого вулканизма на Тамани и обнаружить неактивные грязевулканические

образования, замаскированные сельскохозяйственной деятельностью [Skrypitsyna et al., 2020].

С помощью аппарата геоморфометрии успешно реализован классический подход поисковой геологии, методика Философова – выявление аномального рисунка тальвеговой сети, который может индцировать погребенные структуры – «ловушки» углеводородов [Ibanez et al., 2016].

Гляциология

Гляциологические процессы отображаются в рельефе поверхности ледника и зависят от характеристик рельефа его ложа. Поэтому аппарат геоморфометрии применяется для анализа как рельефа ледниковой поверхности, так и подледного рельефа [Morlighem et al., 2017].

ЦМР поверхности ледников могут быть созданы фотограмметрическим методом по архивным аэрофотоснимкам [Mertes et al., 2017; Mölg et al., 2017], спутниковым [Dehecq et al., 2016; Ragetti et al., 2016; Podgórski et al., 2019] и наземным снимкам [Piermattei et al., 2016; Watson et al., 2017], а также по данным лазерного сканирования [Bhardwaj et al., 2016a]. Однако развитие ледниковой геоморфометрии [Bhardwaj et al., 2016b; Gaffey, Bhardwaj, 2020] стало возможным благодаря прогрессу технологий беспилотной аэрофотосъемки, адаптированной к условиям высокогорья и заполярья [Bliakharskii et al., 2019; Ewertowski et al., 2019].

Взаимосвязанными задачами гляциологии, которые решаются с применением аппарата геоморфометрии, являются изучение динамики изменений ледника [Seier et al., 2017; Rossini et al., 2018; Chudley et al., 2019; Xue et al., 2021], определение горизонтальной и вертикальной скорости его движения [Kraaijenbrink et al., 2016a; Vincent et al., 2016; Gibson et al., 2017; Wigmore, Mark, 2017], оценка скорости таяния ледника [Ragetti et al., 2016; Thompson et al., 2016; Watson et al., 2017; Zhou Y. et al., 2017; Bash, Moorman, 2020] и, в частности, его языка [Brun et al., 2016, 2018; Mallalieu et al., 2017], определение баланса массы ледника [Brun et al., 2017], а также температуры его поверхности [Kraaijenbrink et al., 2018]. Применение ЦМР сверхвысокого разрешения и точности, полученных по результатам беспилотной аэрофотосъемки, позволяет выявлять высокую пространственную неравномерность движения ледника [Wigmore, Mark, 2017], неравномерность его таяния [Buri et al., 2016] и даже незначительные изменения геометрии его поверхности, происходящие за короткие (от 24 ч) промежутки времени [Bash et al., 2018]. При решении этих задач обычно используется расчет разности разновременных ЦМР. Вместе с тем, более тонкий геоморфометрический анализ позволяет изучать зависимость динамики ледников от геометрии склонов [Li et al., 2017; Sam et al., 2018].

Карты морфометрических величин, рассчитанных по ЦМР ледниковой поверхности высокого разрешения, позволяет выявлять слабовыраженные, замаскированные снегом ледниковые трещины, которые представляют опасность для полярников и гляциологов [Florinsky, Bliakharskii, 2019a; Foroutan et al., 2019]. Оперативная беспилотная аэрофотосъемка и геоморфометрическое моделирование обеспечивают возможность исследования риска гляциологических катастроф [Fugazza et al., 2018], например, проседание участка ледника Долк (Восточная Антарктида) в январе 2017 г. [Florinsky, Bliakharskii, 2019b].

В отличие от других приложений геоморфометрии, ЦМР и морфометрические модели редко используются при машинном обучении для решения гляциологических задач. В частности, этот подход применялся для выявления и классификации ледников, покрытых плотной поверхностной мореной, которые на снимках сливаются с прилегающими долинами [Alifu et al., 2016, 2020], а также для выявления ледяных утесов

и заград на ледниках такого типа [*Kraaijenbrink et al.*, 2016b].

Очевидно, что задачи, решаемые ледниковой геоморфометрией, частично пересекаются с работами по изучению перигляциальных процессов и форм рельефа (см. *Геоморфология*). К этому же направлению геоморфометрии можно отнести популярную задачу по определению толщины снежного покрова [*Bühler et al.*, 2016, 2017; *De Michele et al.*, 2016; *Cimoli et al.*, 2017; *Avanzi et al.*, 2018], которая решается с помощью анализа ЦМР, полученных в разные сезоны (обычно осенью и весной). Математическая модель Snow_Blow, использующая в качестве одного из входных параметров ЦМР, позволяет рассчитывать накопление и перераспределение снега под действием ветра [*Mills et al.*, 2019].

Спелеология

Пещеры обладают рядом свойств, затрудняющих моделирование их рельефа: объемная замкнутость пространства, сложность форм рельефа, наличие спелеоскульптур и др. Для создания ЦМР пещер используют технологии наземного лазерного сканирования [*Idrees, Pradhan*, 2016].

Геоморфометрическое моделирование пещер применяется для выявления подземной гидрографической сети, фреатических каналов, минеральных корок на стенах и др. [*Gallay et al.*, 2016; *Fabbri et al.*, 2017; *De Waele et al.*, 2018]. Однако теория геоморфометрии разработана в приближении топографической поверхности, одним из ограничений которой является однозначность функции [*Shary et al.*, 2002; *Florinsky*, 2016]: одной плановой координате соответствует одно значение высоты. В случае пещеры функция многозначна: одной плановой координате соответствует не менее двух значений высоты. Поэтому не все морфометрические величины могут корректно использоваться для анализа рельефа пещер. Для этих целей без ограничений подходят атрибуты форм [*Gallay et al.*, 2016]. Атрибуты потоков могут применяться только для анализа рельефа пола пещеры и нижней части ее стен.

Геоботаника и лесоведение

Рельеф оказывает как прямое, так и косвенное влияние на растительный покров в целом и отдельные растительные сообщества, так как контролирует гидрологический и тепловой режим склонов, а также свойства почвы. Существенно влияние рельефа на показатели плодородия почвы, от которого, в свою очередь, зависит функционирование лесных экосистем [*Scholten et al.*, 2017]. В геоботанике геоморфометрия применяется, в основном, при прогнозном картографировании свойств растительного покрова на основе статистических и обучающих моделей, в которых предикторами являются рассчитанные по ЦМР морфометрические модели, а также спектральные и текстурные характеристики спутниковых изображений [*Franklin*, 1995; *Wilson*, 2018]. Для моделирования широко применяется алгоритм случайного леса.

Морфометрические величины являются хорошими предикторами характеристик структуры тропического дождевого леса (базальная площадь деревьев) даже на равнинных территориях [*Bispo et al.*, 2016]. Морфометрические модели совместно со спектральными и текстурными характеристиками спутниковых снимков применяются для прогноза объема древостоя на плантациях эвкалипта [*Dos Reis et al.*, 2019], картографирования доминирующих растительных сообществ смешанных лесов [*Liu et al.*, 2018] и саванны [*Hurskainen et al.*, 2019]. Георазнообразие как функция морфометрических величин является контролирующим фактором богатства видового разнообразия сосудистых растений [*Bailey et al.*, 2017, 2018]. Построена модель надземной биомассы бореальной зоны Норвегии, для чего использовались модель высоты лесного полога

(разность ArcticDEM и ЦМР Норвегии), мозаика Sentinel-2 и данные лесного кадастра [Puliti et al., 2020]. Анализ связи распределения кустарников аридного редколесья с зонами трещиноватости, выделенными по картам отмывки рельефа, позволяет выявлять зависящие от подземных вод экосистемы аридных территорий [Guirado et al., 2018].

Отметим, что использование морфометрических и других предикторов для объяснения и прогноза пространственной вариабельности характеристик древесного сообщества дает хорошие результаты только для сообщества в целом и для распространенных видов; для редких же видов прогноз затруднен [Bispo et al., 2017]. При этом прогнозные карты степных травянистых сообществ могут быть получены на основе анализа лишь морфометрических моделей [Alexander et al., 2016].

Сравнение трех методов статистического моделирования (усиленной регрессии дерева решений, обобщенной аддитивной модели и случайного леса), показало, что при прогножном картографировании пожарной опасности лесов необходимо использовать морфометрические величины, контролирующие пространственное распределение влаги в ландшафте [Pourtaghi et al., 2016].

Зоогеография

Известны единичные примеры использования геоморфометрии в зоогеографии для изучения влияния рельефа суши на пространственное распределение или поведение животных. Редкость таких работ связана со сложностью получения статистически репрезентативных зоологических выборок, мобильностью объектов исследования и высоким уровнем адаптивности животных к условиям окружающей среды: чем выше организация вида, тем меньше на его представителей влияет рельеф (за очевидным исключением высотной зональности).

Так, были изучены связи между характеристиками рельефа и выживаемостью в зимний сезон популяций пятнистокрылой дрозофилы на северо-западном побережье Северной Америки [Thistlewood et al., 2018], а также между характеристиками рельефа и местообитаниями южноамериканских плодоядных копытных, грызунов и птиц [Nagy-Reis et al., 2017a], а также мелких кошек [Nagy-Reis et al., 2017b]. Если для дрозофилы была найдена некоторая зависимость от высоты над уровнем моря и топографического индекса (мера степени увлажнения почвы), то в случае с плодоядными и кошачьими зависимость от рельефа оказалась пренебрежимо мала.

Океанология

Развитию морской геоморфометрии [Lecours et al., 2016a] способствовало начало работ по международному проекту Nippon Foundation–GEBCO Seabed 2030 по созданию глобальной общедоступной батиметрической ЦМР высокого разрешения и точности [Wölfl et al., 2019], а также развитие технологии автономных подводных аппаратов [González-García et al., 2020]. Анализ батиметрических ЦМР востребован в морских геоморфологических и биологических исследованиях.

Разработаны методики классификации форм подводного рельефа [Dekavalla, Argialas, 2017] и иерархического картографирования рельефа континентальных окраин [Sowers et al., 2020], в основе которых лежит метод сегментации ЦМР геоморфон (см. *Геоморфология*). Применение метода усиленной регрессии дерева решений (предикторы – локальные морфометрические величины) позволяет строить прогнозные карты распределения донных осадков с подразделением на иловую, песчаную и гравийную фракции [Misiuk et al., 2018]. Другой подход классификации рельефа, основанный на индексе относительного превышения, позволил составить прогнозные карты бентических местообитаний авандельты Амазонки [Lavagnino et al., 2020] и средиземноморских

водорослевых рифов [Marchese et al., 2020]. Использование моделей локальных величин и индексов шероховатости позволяет прогнозировать распределение колоний холодноводных кораллов [Tong et al., 2016; Bargain et al., 2017].

Для Северного Ледовитого океана показана роль рельефа дна в контроле глубинных течений (там они имеют решающее значение для распределения тепла), а также свойств морской воды: даже незначительные элементы подводного рельефа оказывают влияние на водообмен между соседними бассейнами с различной плотностью и соленостью [Björk et al., 2018].

Геоморфометрический анализ позволил установить причины скоплений китовых акул в некоторых прибрежных районах [Copping et al., 2018]. Эти участки значительно мельче, чем соседние, но при этом они располагаются гораздо ближе к глубоководным зонам, а склоны значительно круче, чем в других местах. Такие особенности подводного рельефа вызывают апвеллинг (подъем обогащенных питательными веществами холодных вод), развитие планктона и, потому, привлекают виды с фильтрационным типом питания, к которым относятся и китовые акулы.

Геоморфометрическое моделирование данных разновременных батиметрических съемок пролива Лидо, соединяющего Адриатическое море с Венецианской лагуной, позволил изучить изменения рельефа морского дна, вызванные строительством и эксплуатацией гидротехнических сооружений для защиты Венеции от наводнений, в частности – эволюцию подводных дюн в канале пролива и промоин у оконечностей волноломов [Toso et al., 2019].

Планетология

В планетологии аппарат геоморфометрии применяется для решения следующих разномасштабных задач: 1) Выявление геологических структур и изучение геологического строения. 2) Анализ шероховатости рельефа как косвенного признака генезиса и относительного возраста территории и подстилающих пород [Fa et al., 2016]. 3) Анализ морфометрии кратеров, которая дает информацию о возрасте, реологических свойствах пород и скорости эрозии [Robbins et al., 2017; Wang et al., 2020; Villaça et al., 2021]. 4) Анализ строения палеодельт и конусов выноса [Goudge et al., 2017], овражной сети [Conway et al., 2016], миграции дюн [Cardinale et al., 2016; Runyon et al., 2017; Vaz et al., 2017] и эрозионных паттернов [Brusnikin et al., 2016] при изучении флювиальных, эоловых и склоновых процессов на Марсе. 5) Анализ и картографирование мест прошлых и планируемых посадок космических аппаратов [Karachevtseva et al., 2017; Bhardwaj et al., 2019a]. 6) Геоморфологическое картографирование [Wang et al., 2017]. При этом используются известные общедоступные глобальные ЦМР небесных тел и ЦМР высокого разрешения, которые составляются фотограмметрическим методом.

Интригующей работой последних лет было изучение углеводородного озера Онтарио Лакус на спутнике Сатурна Титане [Dhingra et al., 2018]. Было неясно, по какой причине в южном полушарии Титана существует только одно крупное озеро, а соседние более глубокие депрессии остаются сухими. Расчет модели водосборной площади по ЦМР Титана показал, что водосбор Онтарио Лакус составляет 5,5% площади поверхности Титана, причем отношение площадей водосбор/озеро равно 83. После углеводородных дождей этот водосбор может обеспечить поверхностных сток такого объема метана и этана, которого вполне достаточно, чтобы заполнить Онтарио Лакус меньше, чем за полгода Титана (14,5 земных лет). Сухие депрессии могли быть сформированы карстоподобными процессами растворения пород [Hayes et al., 2017].

Оползневедение

Аппарат геоморфометрии давно и систематически применяется для выявления и прогнозного картографирования оползней и оползневой опасности [Zhong et al., 2020], а также для инвентаризации и классификации оползней [Niculiță, 2016; Migoń et al., 2017; Ránek et al., 2019], так как при прочих равных условиях (характеристики грунтов и горных пород, гидрологический режим, количество осадков, антропогенная нагрузка), решающую роль в формировании оползней, как правило, играет геометрия склонов. Даже если основным фактором развития оползней являются свойства пород (напр., моноклиналильных флишевых пластов), анализ ЦМР остается необходимым элементом изучения таких объектов [Břežný et al., 2017].

Отличительной чертой работ этого направления в 2016–2021 гг. стало широкое использование методов машинного обучения, в которых одной из групп предикторов являются цифровые морфометрические модели (крутизна и экспозиция склона, горизонтальная и вертикальная кривизна, топографический индекс и др.), рассчитываемые по ЦМР преимущественно лидарного происхождения. Помимо них используется информация о других факторах формирования оползней (литологии, гидрологии, осадках, растительном покрове).

Для прогнозного картографирования оползневой опасности используются логистическая регрессия [Chen et al., 2017; Chang et al., 2019; Tanyas et al., 2019; Jacobs et al., 2020], нейронные сети [Ghorbanzadeh et al., 2019], алгоритмы случайного леса [Chen et al., 2017; Chang et al., 2019; Ghorbanzadeh et al., 2019; Sirbu et al., 2019; Maxwell et al., 2020] и дерева решений [Chen et al., 2017], методы опорных векторов [Chang et al., 2019; Ghorbanzadeh et al., 2019; Hu Q. et al., 2020], нечеткой логики [Feizizadeh et al., 2017; Hong et al., 2017] и анализа иерархий [Nicu, Asăndulesei, 2018; Nachappa et al., 2020], объектно-ориентированный анализ изображений [Feizizadeh et al., 2017] и его разновидность «геон» [Nachappa et al., 2020]. Также применяются метод горячих точек [Shi W. et al., 2018] и метод сегментации ЦМР геоморфон (см. *Геоморфология*) [Luo, Liu, 2018].

В тех случаях, когда лидарная съемка участка проводилась до и после смещения масс горных пород и имеется серия разновременных ЦМР, возможен детальный анализ произошедших изменений рельефа и распределения перемещенных масс по склону [Gatter et al., 2018]. Совместный анализ карт отмывки рельефа, по которым выделяются древние неактивные оползни, и данных об археологических памятниках, расположенных на этих оползнях, позволяет определять хронологию активности оползней и устанавливать этапы их развития [Niculiță et al., 2019].

Близкой к задаче выявления оползней является прогноз лавинной опасности: геометрия склонов во многом контролирует накопление снежных масс, а сход лавины можно рассматривать как гравитационный склоновый процесс. В этой связи методы выявления лавиноопасных участков с использованием морфометрических моделей сходны с рассмотренными выше подходами к выявлению и прогнозному картографированию оползней [Veitinger et al., 2016; Bühler et al., 2018; Rahmati et al., 2019].

Дистанционное зондирование

Причины использования ЦМР и морфометрических моделей при анализе ДДЗ очевидны: 1) рельеф влияет на формирование дистанционных изображений; 2) геометрия земной поверхности определяет сложность распределения яркостных и спектральных характеристик ландшафта, что повышает вероятность ошибок дешифрирования; 3) для удовлетворительного дешифрирования дистанционных изображений природных объектов не всегда достаточно только ДДЗ; 4) учет известных связей между характеристиками

рельефа и других компонентов геосистем позволяет повышать качество тематического дешифрирования [Florinsky, 1998].

ЦМР и морфометрические модели много лет рутинно используются в технологиях обработки ДДЗ для коррекции топографического эффекта и дисторсии снимков, при 3D моделировании ландшафта (драпировка ЦМР дистанционными изображениями), а также при автоматизированном дешифрировании ДДЗ (прежде всего – в геоботанике, лесоведении, и в других приложениях, рассмотренных в этом обзоре) [Franklin, 2020].

Урбанистика

Использование аппарата геоморфометрии в урбанистике сопряжено со сложностями. Естественный рельеф в городе изменен и дополнен искусственными элементами с различным покрытием [Łajczak et al., 2021]. Роль «рельефа» играют строения, дорожная сеть и другие объекты. Все это оказывает влияние на тепловой и гидрологический режим территории. Поэтому в качестве исходных данных должны использоваться не ЦМР, а цифровые модели поверхности (ЦМП), включающей в себя огибающую поверхность построек. Хотя получение ЦМП и 3D моделей города стало рутинной процедурой [Liang et al., 2017], их геоморфометрический анализ нетривиален хотя бы из-за насыщенности этих моделей разрывами функции высоты (стены домов), что неизбежно приводит к появлению артефактов из-за явления Гиббса [Florinsky, 2016].

Основными направлениями городской геоморфометрии являются анализ рельефа при размещении новых строений и дорог с целью минимизации воздействия на ландшафт [Loro et al., 2017], моделирование поверхностных водных потоков [Leitão et al., 2016; Qin et al., 2018] и наводнений [Huang et al., 2019; Muthusamy et al., 2021], ветрового [Shi et al., 2017; García-Romero et al., 2019] и температурного [Shi Y. et al., 2018; Hofierka et al., 2020; Chang et al., 2021] режима, а также их влияния на показатели комфорта проживания в городе. Начаты работы по адаптации к городским условиям методов прогнозного почвенного картографирования [Mohamed, 2020]. Развитию городской геоморфометрии способствует модное направление урбанистики – т.н. «концепция умного города».

В рамках оценки эстетических и рекреационных свойств городского ландшафта предложен метод картографирования реабилитационного потенциала пейзажей парков [Tabrizian et al., 2020]. По текстурированной ЦМП высокого разрешения проводится анализ полей обзора, а также рассчитываются морфометрические показатели композиции пейзажей. Прогнозная карта строится на основе статистической модели, рассчитанной по результатам сравнения показателей для выборки пейзажей и субъективных оценок их реабилитационного потенциала, полученных путем опроса с использованием технологии виртуальной реальности.

Археология

В археологии аппарат геоморфометрии применяется, прежде всего, для поиска следов деятельности человека (погребенных под наносами руин поселений и фортификационных сооружений, заброшенных дорог и т.п.), которые, как правило, слабо выражены в микрорельефе [Luo L. et al., 2019; Gillings et al., 2020]. Решение этой задачи возможно благодаря чувствительности частных производных высоты, которые используются для расчета по ЦМР локальных морфометрических величин. Даже обычная отмывка рельефа [Horn, 1981] позволяет выявлять руины поселений [Canuto et al., 2018; Masini et al., 2018] и храмов [Evans, 2016], заброшенные горные выработки [Gallwey et al., 2019], погребальные курганы [Freeland et al., 2016; Wang et al., 2017], следы боевых действий (траншеи, взрывные воронки, блиндажи и т.п.) [Gheyle et al., 2018] и пр.

При проведении археологических работ на суше обычно используются ЦМР, полученные по данным воздушной лидарной съемки, что дает возможность изучать территории с плотным лесным покровом [Evans, 2016; Freeland et al., 2016; Wang et al., 2017; Canuto et al., 2018; Guyot et al., 2018; Inomata et al., 2018; Masini et al., 2018; Gallwey et al., 2019; Luo L. et al., 2019]. Для анализа рассчитанных по ЦМР морфометрических моделей применяют не только традиционные методы обработки изображений и распознавания образов [Wang et al., 2017; Masini et al., 2018], но все чаще – методы машинного обучения [Guyot et al., 2018]. Так, для автоматического выявления погребальных курганов культур бронзового века был применен алгоритм случайного леса [Niculiță, 2020], а для картографирования пробных шурфов и неглубоких выработок заброшенных оловянных и медных рудников – свёрточная нейронная сеть, ранее обученная выявлять лунные кратеры [Gallwey et al., 2019].

Вместе с тем, для археологических разведок территорий, находящихся под сильным антропогенным давлением, могут быть полезны ЦМР, полученные фотограмметрическим путем по архивным аэрофотоснимкам [Papworth et al., 2016; Sevara et al., 2018]. Для документирования ведущихся раскопок и их доразведки проще работать с ЦМР по данным беспилотной аэрофотосъемки [Waagen, 2019].

При планировании подводных археологических работ оптимально использовать батиметрические ЦМР высокого разрешения, полученные по данным многолучевого эхолотирования [Menna et al., 2018]. Для документирования подводных раскопок и 3D визуализации изучаемых объектов (затопленных строений и затонувших кораблей) могут применяться ЦМР, полученные фотограмметрическим методом по материалам подводной фотосъемки [Yamafune et al., 2017; Pacheco-Ruiz et al., 2018].

Моделирование и визуализация рельефа археологических памятников и прилегающих территорий помогает реконструкции социальных и хозяйственных отношений в древних обществах [Evans, 2016; Chase, Chase, 2017; O'Reilly et al., 2017; Richards-Rissetto, 2017; Inomata et al., 2018; Garrison et al., 2019], палеоусловий среды обитания [Popa, Knitter, 2016; Tapete et al., 2017], а также восприятия палеоландшафта населением [Knitter et al., 2019]. Частной задачей является анализ влияния рельефа на выбор мест поселения в древности. Так, для минойской цивилизации (Крит) показано, что связь между местами поселений и рельефом в раннеминойский период отсутствовала, но возникла в поздние периоды, когда уровень организации общества повысился [Argyriou et al., 2017a].

Методы моделирования и 3D визуализации рельефа применяются также в работах для документирования, музеефикации и анализа геометрии и текстуры археологических артефактов (напр., керамики [Garstki, 2017] и петроглифов [Horn et al., 2021]). Это направление смыкается с работами, в которых аппарат геоморфометрии используется для метрологического и дефектоскопического контроля микро- и нанорельефа поверхностей различных материалов и деталей [Pike, 2001]. Однако эти приложения геоморфометрии лежат уже за пределами нашего обзора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Последние 5,5 лет ознаменовались развитием технологий беспилотной аэрофотосъемки и батиметрической съемки, а также методов обработки ДДЗ, что привело к распространению новых, более качественных ЦМР. Эти факторы, а также адаптация методов машинного обучения привели к стремительному росту количества и качества работ с использованием аппарата геоморфометрии для решения разномасштабных задач многих наук.

Лидирующие позиции в геоморфометрии занимают США, Канада, Австралия, Италия, Словакия, Германия, Нидерланды, Румыния, Бразилия и (количественно) Китай.

Из 485 работ, опубликованных в 2016–2021 гг. в ведущих международных изданиях, в России или с участием российских ученых выполнены 27 работ (6 %), причем 16 из них (~2/3) – представителями Пушинской школы геоморфометрии в ИМПБ РАН – филиале ИПМ им. М.В. Келдыша РАН [Florinsky, 2016, 2017a, 2017b, 2018; Florinsky, Pankratov, 2016; Florinsky et al., 2018a, 2018b, 2019; Bliakharskii et al., 2019; Florinsky, Bliakharskii, 2019a, 2019b; Florinsky, Filippov, 2019, 2021; Skrypitsyna et al., 2020], ИФХиБПП РАН [Shary et al., 2017] и ИФПБ РАН [Mitsov et al., 2017] (часть – в соавторстве с сотрудниками Кафедры фотограмметрии МИИГАиК [Florinsky et al., 2018a; Bliakharskii et al., 2019; Florinsky et al., 2018b, 2019; Skrypitsyna et al., 2020] и Кафедры картографии и геоинформатики СПбГУ [Florinsky et al., 2018a; Bliakharskii et al., 2019; Florinsky, Bliakharskii, 2019a, 2019b]). Точки роста есть на Географическом факультете МГУ [Blomdin et al., 2018; Kizyakov et al., 2017, 2018; Samsonov et al., 2019], в Комплексной лаборатории исследования внеземных территорий МИИГАиК [Brusnikin et al., 2016; Karachevtseva et al., 2017; Wang et al., 2020], Лаборатории геоморфологии и тектоники дна океанов ГИН РАН [Jakobsson et al., 2020; Zwolak et al., 2020], ИГ РАН [Medvedev et al., 2020] и ИО РАН [Danchenkov et al., 2019].

Теория и методы геоморфометрии достигли уровня, который соответствует ее статусу самостоятельного междисциплинарного направления. Однако еще требуется разработка строгой математической теории структурных линий рельефа, а также переход к строгим алгоритмам расчета нелокальных морфометрических величин, которые уже существуют, но не реализованы в распространенном программном обеспечении.

Дальнейшее развитие геоморфометрии во многом связано с появлением новых ЦМР высокого разрешения и точности. В геоморфологии, почвоведении, гидрологии и лесоведении уже сложно себе представить работы по пространственному моделированию, которые проводились бы без применения методов геоморфометрии. В этом отношении наибольшие перспективы в ближайшие 5 лет имеют морская, городская и подземная геоморфометрия.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-17-50036.

ACKNOWLEDGMENTS

The study was funded by the Russian Foundation for Basic Research, project # 20-17-50036.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Abdel-Fattah M., Saber M., Kantoush S.A., Khalil M.F., Sumi T., Sefelnasr A.M.* A hydrological and geomorphometric approach to understanding the generation of wadi flash floods. *Water*, 2017. V. 9. No 7. # 553. DOI: 10.3390/w9070553.
2. *Abrams M., Crippen R., Fujisada H.* ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM) and ASTER Global Water Body Dataset (ASTWBD). *Remote Sensing*, 2020. V. 12. No 7. # 1156. DOI: 10.3390/rs12071156.
3. *Agrafiotis P., Skarlatos D., Georgopoulos A., Karantzas K.* DepthLearn: learning to correct the refraction on point clouds derived from aerial imagery for accurate dense shallow water bathymetry based on SVMs-fusion with LiDAR point clouds. *Remote Sensing*, 2019. V. 11. No 19. # 2225. DOI: 10.3390/rs11192225.

4. Akpa S.I.C., Odeh I.O.A., Bishop T.F.A., Hartemink A.E., Amapu I.Y. Total soil organic carbon and carbon sequestration potential in Nigeria. *Geoderma*, 2016. V. 271. P. 202–215. DOI: 10.1016/j.geoderma.2016.02.021.
5. Alexander C., Deák B., Heilmeyer H. Micro-topography driven vegetation patterns in open mosaic landscapes. *Ecological Indicators*, 2016. V. 60. P. 906–920. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.08.030.
6. Alifu H., Johnson B.A., Tateishi R. Delineation of debris-covered glaciers based on a combination of geomorphometric parameters and a TIR/NIR/SWIR band ratio. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2016. V. 9. No 2. P. 781–792. DOI: 10.1109/JSTARS.2015.2500906.
7. Alifu H., Vuillaume J.-F., Johnson B.A., Hirabayashi Y. Machine-learning classification of debris-covered glaciers using a combination of Sentinel-1/-2 (SAR/optical), Landsat 8 (thermal) and digital elevation data. *Geomorphology*, 2020. V. 369. # 107365. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107365.
8. Alonso-Sarría F., Gomariz-Castillo F., Cánovas-García F. A new approach to the openness index for landform characterisation. *Computers and Geosciences*, 2018. V. 119. P. 68–79. DOI: 10.1016/j.cageo.2018.06.010.
9. Alvarez L., Moreno H., Segales A., Pham T., Pillar-Little E., Chilson P. Merging unmanned aerial systems (UAS) imagery and echo soundings with an adaptive sampling technique for bathymetric surveys. *Remote Sensing*, 2018. V. 10. No 9. # 1362. DOI: 10.3390/rs10091362.
10. Alvioli M., Guzzetti F., Marchesini I. Parameter-free delineation of slope units and terrain subdivision of Italy. *Geomorphology*, 2020. V. 358. # 107124. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107124.
11. Amatulli G., Domisch S., Tuanmu M.N., Parmentier B., Ranipeta A., Malczyk J., Jetz W. A suite of global, cross-scale topographic variables for environmental and biodiversity modeling. *Scientific Data*, 2018. V. 5. # 180040. DOI: 10.1038/sdata.2018.40.
12. Amatulli G., McInerney D., Sethi T., Strobl P., Domisch S. Geomorpho90m, empirical evaluation and accuracy assessment of global high-resolution geomorphometric layers. *Scientific Data*, 2020. V. 7. # 162. DOI: 10.1038/s41597-020-0479-6.
13. Anderson K., Westoby M.J., James M.R. Low-budget topographic surveying comes of age: structure from motion photogrammetry in geography and the geosciences. *Progress in Physical Geography*, 2019. V. 43. No 2. P. 163–173. DOI: 10.1177/0309133319837454.
14. Andreani L., Gloaguen R. Geomorphic analysis of transient landscapes in the Sierra Madre de Chiapas and Maya Mountains (northern Central America): implications for the North American–Caribbean–Cocos plate boundary. *Earth Surface Dynamics*, 2016. V. 4. No 2. P. 71–102. DOI: 10.5194/esurf-4-71-2016.
15. Angelini M.E., Heuvelink G.B.M., Kempen B., Morrás H.J.M. Mapping the soils of an Argentine Pampas region using structural equation modelling. *Geoderma*, 2016. V. 281. P. 102–118. DOI: 10.1016/j.geoderma.2016.06.031.
16. Angelini M.E., Heuvelink G.B.M., Kempen B. Multivariate mapping of soil with structural equation modelling. *European Journal of Soil Science*, 2017. V. 68. No 5. P. 575–591. DOI: 10.1111/ejss.12446.
17. Argyriou A.V., Sarris A., Teeuw R.M. Using geoinformatics and geomorphometrics to quantify the geodiversity of Crete, Greece. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2016. V. 51. P. 47–59. DOI: 10.1016/j.jag.2016.04.006.

18. *Argyriou A.V., Teeuw R.M., Rust D., Sarris A.* GIS multi-criteria decision analysis for assessment and mapping of neotectonic landscape deformation: a case study from Crete. *Geomorphology*, 2016. V. 253. P. 262–274. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.10.018.
19. *Argyriou A.V., Teeuw R.M., Sarris A.* GIS-based landform classification of Bronze Age archaeological sites on Crete Island. *PLoS ONE*, 2017a. V. 12. No 2. # e0170727. DOI: 10.1371/journal.pone.0170727.
20. *Argyriou A.V., Teeuw R.M., Soupios P., Sarris A.* Neotectonic control on drainage systems: GIS-based geomorphometric and morphotectonic assessment for Crete, Greece. *Journal of Structural Geology*, 2017b. V. 104. P. 93–111. DOI: 10.1016/j.jsg.2017.10.002.
21. *Arundel S.T., Sinha G.* Validating the use of object-based image analysis to map commonly recognized landform features in the United States. *Cartography and Geographic Information Science*, 2019. V. 46. No 5. P. 441–455. DOI: 10.1080/15230406.2018.1526652.
22. *Arundel S.T., Thiem P.T., Constance E.W.* Automated extraction of hydrographically corrected contours for the conterminous United States: the US Geological Survey US Topo product. *Cartography and Geographic Information Science*, 2018. V. 45. No 1. P. 31–55. DOI: 10.1080/17538947.2020.1754936.
23. *Atkinson J., de Clercq W., Rozanov A.* Multi-resolution soil-landscape characterisation in KwaZulu Natal: using geomorphons to classify local soils for improved digital geomorphological modelling. *Geoderma Regional*, 2020. V. 22. # e00291. DOI: 10.1016/j.geodrs.2020.e00291.
24. *Avanzi F., Bianchi A., Cina A., de Michele C., Maschio P., Pagliari D., Passoni D., Pinto L., Piras M., Rossi L.* Centimetric accuracy in snow depth using unmanned aerial system photogrammetry and a MultiStation. *Remote Sensing*, 2018. V. 10. No 5. # 765. DOI: 10.3390/rs10050765.
25. *Bailey J.J., Boyd D.S., Hjort J., Lavers C.P., Field R.* Modelling native and alien vascular plant species richness: at which scales is geodiversity most relevant? *Global Ecology and Biogeography*, 2017. V. 26. No 7. P. 763–776. DOI: 10.1111/geb.12574.
26. *Bailey J.J., Boyd D.S., Field R.* Models of upland species' distributions are improved by accounting for geodiversity. *Landscape Ecology*, 2018. V. 33. No 12. P. 2071–2087. DOI: 10.1007/s10980-018-0723-z.
27. *Bakker M., Lane S.N.* Archival photogrammetric analysis of river-floodplain systems using Structure from Motion (SfM) methods. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2017. V. 42. No 8. P. 1274–1286. DOI: 10.1002/esp.4085.
28. *Baldwin D., Naithani K.J., Lin H.* Combined soil-terrain stratification for characterizing catchment-scale soil moisture variation. *Geoderma*, 2017. V. 285. P. 260–269. DOI: 10.1016/j.geoderma.2016.09.031.
29. *Ballabio C., Panagos P., Monatanarella L.* Mapping topsoil physical properties at European scale using the LUCAS database. *Geoderma*, 2016. V. 261. P. 110–123. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.07.006.
30. *Bargain A., Marchese F., Savini A., Taviani M., Fabri M.-C.* Santa Maria di Leuca Province (Mediterranean Sea): identification of suitable mounds for cold-water coral settlement using geomorphometric proxies and maxent methods. *Frontiers in Marine Science*, 2017. V. 4. # 338. DOI: fmars.2017.00338.
31. Parallel Priority-Flood depression filling for trillion cell digital elevation models on desktops or clusters. *Computers and Geosciences*, 2016. V. 96. P. 56–68. DOI: 10.1016/j.cageo.2016.07.001.

32. *Bash E.A., Moorman B.J.* Surface melt and the importance of water flow – an analysis based on high-resolution unmanned aerial vehicle (UAV) data for an Arctic glacier. *Cryosphere*, 2020. V. 14. No 2. P. 549–563. DOI: 10.5194/tc-14-549-2020.
33. *Bash E.A., Moorman B.J., Gunther A.* Detecting short-term surface melt on an Arctic glacier using UAV surveys. *Remote Sensing*, 2018. V. 10. No 10. # 1547. DOI: 10.3390/rs 10101547.
34. *Behrens T., MacMillan R.A., Rossel R.A.V., Schmidt K., Lee J.* Teleconnections in spatial modelling. *Geoderma*, 2019. V. 354. # 113854. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.07.012.
35. *Behrens T., Schmidt K., Macmillan R.A., Viscarra Rossel R.A.* Multiscale contextual spatial modelling with the Gaussian scale space. *Geoderma*, 2018a. V. 310. P. 128–137. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.09.015.
36. *Behrens T., Schmidt K., MacMillan R.A., Viscarra Rossel R.A.* Multi-scale digital soil mapping with deep learning. *Scientific Reports*, 2018b. V. 8. # 15244. DOI: 10.1038/s41598-018-33516-6.
37. *Belgiu M., Drăguț L.* Random forest in remote sensing: a review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2016. V. 114. P. 24–31. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011.
38. *Bernhardson M., Alexanderson H.* Early Holocene dune field development in Dalarna, central Sweden: a geomorphological and geophysical case study. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2017. V. 42. No 12. P. 1847–1859. DOI: 10.1002/esp.4141.
39. *Bergonse R., Reis E.* Controlling factors of the size and location of large gully systems: a regression-based exploration using reconstructed pre-erosion topography. *Catena*, 2016. V. 147. P. 621–631. DOI: 10.1016/j.catena.2016.08.014.
40. *Beven K.J., Kirkby M.J., Freer J.E., Lamb R.* A history of TOPMODEL. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2021. V. 25. No 2. P. 527–549. DOI: 10.5194/hess-25-527-2021.
41. *Bhardwaj A., Sam L., Bhardwaj A., Martín-Torres F.J.* LiDAR remote sensing of the cryosphere: present applications and future prospects. *Remote Sensing of Environment*, 2016a. V. 177. P. 125–143. DOI: 10.1016/j.rse.2016.02.031.
42. *Bhardwaj A., Sam L., Akanksha, Martín-Torres F.J., Kumar R.* UAVs as remote sensing platform in glaciology: present applications and future prospects. *Remote Sensing of Environment*, 2016b. V. 175. P. 196–204. DOI: 10.1016/j.rse.2015.12.029.
43. *Bhardwaj A., Sam L., Martín-Torres F.J., Zorzano M.-P.* Distribution and morphologies of transverse aeolian ridges in ExoMars 2020 Rover landing site. *Remote Sensing*, 2019a. V. 11. No 8. # 912. DOI: 10.3390/rs11080912.
44. *Bhardwaj A., Sam L., Martín-Torres F.J., Zorzano M.-P., Ramírez Luque J.A.* UAV imaging of a Martian brine analogue environment in a fluvio-aeolian setting. *Remote Sensing*, 2019b. V. 11. No 18. # 2104. DOI: 10.3390/rs11182104.
45. *Bigelow P., Benda L., Pearce S.* Delineating incised stream sediment sources within a San Francisco Bay tributary basin. *Earth Surface Dynamics*, 2016. V. 4. No 2. P. 531–547. DOI: 10.5194/esurf-4-531-2016.
46. *Bispo P.d.C., dos Santos J.R., Valeriano M.d.M., Graça P.M.L.d.A., Balzter H., França H., Bispo P.d.C.* Predictive models of primary tropical forest structure from geomorphometric variables based on SRTM in the Tapajós Region, Brazilian Amazon. *PLoS ONE*, 2016. V. 11. No 6. # e0152009. DOI: 10.1371/journal.pone.0152009.
47. *Bispo P.d.C., Balzter H., Malhi Y., Slik J.W.F., dos Santos J.R., Rennó C.D., Espírito-Santo F.D., Aragão L.E.O.C., Ximenes A.C., Bispo P.d.C.* Drivers of metacommunity structure diverge for common and rare Amazonian tree species. *PLoS ONE*, 2017. V. 12. No 11. # e0188300. DOI: 10.1371/journal.pone.0188300.
48. *Björk G., Jakobsson M., Assmann K., Andersson L.G., Nilsson J., Stranne C., Mayer L.* Bathymetry and oceanic flow structure at two deep passages crossing the Lomonosov

- Ridge. *Ocean Science*, 2018. V. 14. No 1. P. 1–13. DOI: 10.5194/os-14-1-2018.
49. *Bladin K., Axelsson E., Broberg E., Emmart C., Ljung P., Bock A., Ynnerman A.* Globe browsing: contextualized spatio-temporal planetary surface visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2018. V. 24. No 1. P. 802–811. DOI: 10.1109/TVCG.2017.2743958.
 50. *Bliakharskii D.P., Florinsky I.V., Skrypitsyna T.N.* Modelling glacier topography in Antarctica using unmanned aerial survey: assessment of opportunities. *International Journal of Remote Sensing*, 2019. V. 40. No 7. P. 2517–2541. DOI: 10.1080/01431161.2019.1584926.
 51. *Blomdin R., Stroeven A.P., Harbor J.M., Gribenski N., Caffee M.W., Heyman J., Rogozhina I., Ivanov M.N., Petrakov D.A., Walther M., Rudoy A.N., Zhang W., Orkhonselenge A., Hättestrand C., Lifton N.A., Jansson K.N.* Timing and dynamics of glaciation in the Ikh Turgen Mountains, Altai region, High Asia. *Quaternary Geochronology*, 2018. V. 47. P. 54–71. DOI: 10.1016/j.quageo.2018.05.008.
 52. *Bock M., Conrad O., Günther A., Gehrt E., Baritz R., Böhner J.* SaLEM (v1.0) – the Soil and Landscape Evolution Model (SaLEM) for simulation of regolith depth in periglacial environments. *Geoscientific Model Development*, 2018. V. 11. P. 1641–1652. DOI: 10.5194/gmd-11-1641-2018.
 53. *Bonetti S., Bragg A.D., Porporato A.* On the theory of drainage area for regular and non-regular points. *Proceedings of the Royal Society A – Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 2018. V. 474. No 2211. # 20170693. DOI: 10.1098/rspa.2017.0693.
 54. *Booyesen R., Zimmerman R., Lorenz S., Gloaguen R., Nex P.A.M., Andreani L., Mockel R.* Towards multiscale and multisource remote sensing mineral exploration using RPAS: a case study in the Lofdal carbonatite-hosted REE deposit, Namibia. *Remote Sensing*, 2019. V. 11. No 21. # 2500. DOI: 10.3390/rs11212500.
 55. *Boulton S.J., Stokes M.* Which DEM is best for analyzing fluvial landscape development in mountainous terrains? *Geomorphology*, 2018. V. 310. P. 168–187. DOI: 10.1016/J.GEOMORPH.2018.03.002.
 56. *Brecheisen Z.S., Cook C.W., Heine P.R., Richter D. deB.* Micro-topographic roughness analysis (MTRA) highlights minimally eroded terrain in a landscape severely impacted by historic agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 2019. V. 222. P. 78–89. DOI: 10.1016/j.rse.2018.12.025.
 57. *Břežný M., Pánek T.* Deep-seated landslides affecting monoclinical flysch morphostructure: Evaluation of LiDAR-derived topography of the highest range of the Czech Carpathians. *Geomorphology*, 2017. V. 285. P. 44–57. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.02.007.
 58. *Brun F., Berthier E., Wagnon P., Käab A., Treichler D.* A spatially resolved estimate of High Mountain Asia glacier mass balances from 2000 to 2016. *Nature Geoscience*, 2017. V. 10, 9. P. 668–673. DOI: 10.1038/ngeo2999.
 59. *Brun F., Buri P., Miles E.S., Wagnon P., Steiner J., Berthier E., Ragetti S., Kraaijenbrink P., Immerzeel W.W., Pellicciotti F.* Quantifying volume loss from ice cliffs on debris-covered glaciers using high-resolution terrestrial and aerial photogrammetry. *Journal of Glaciology*, 2016. V. 62. No 234. P. 684–695. DOI: 10.1017/jog.2016.54.
 60. *Brun F., Wagnon P., Berthier E., Shea J.M., Immerzeel W.W., Kraaijenbrink P.D.A., Vincent C., Reverchon C., Shrestha D., Arnaud Y.* Ice cliffs contribution to the tongue-wide ablation of Changri Nup Glacier, Nepal, central Himalaya. *Cryosphere*, 2018. V. 12. No 11. P. 3439–3457. DOI: 10.5194/tc-12-3439-2018.
 61. *Brunier G., Fleury J., Anthony E.J., Gardel A., Dussouillez P.* Close-range airborne structure-from-motion photogrammetry for high-resolution beach morphometric surveys:

- examples from an embayed rotating beach. *Geomorphology*, 2016. V. 261. P. 76–88. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.02.025.
62. *Brusnikin E.S., Kreslavsky M.A., Zubarev A.E., Patratiy V.D., Krasilnikov S.S., Head J.W., Karachevtseva I.P.* Topographic measurements of slope streaks on Mars. *Icarus*, 2016. V. 278. P. 52–61. DOI: 10.1016/j.icarus.2016.06.005.
 63. *Bugnicourt P., Guitet S., Santos V.F., Blanc L., Sotta E.D., Barbier N., Couteron P.* Using textural analysis for regional landform and landscape mapping, Eastern Guiana Shield. *Geomorphology*, 2018. V. 317. P. 23–44. DOI: 10.1016/j.geomorph.2018.03.017.
 64. *Bühler Y., Adams M.S., Bösch R., Stoffel A.* Mapping snow depth in alpine terrain with unmanned aerial systems (UASs): potential and limitations. *Cryosphere*, 2016. V. 10. No 3. P. 1075–1088. DOI: 10.5194/tc-10-1075-2016.
 65. *Bühler Y., Adams M., Stoffel A., Boesch R.* Photogrammetric reconstruction of homogeneous snow surfaces in alpine terrain applying near-infrared UAS imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 2017. V. 38. No 8/10. P. 3135–3158. DOI: 10.1080/01431161.2016.1275060.
 66. *Bühler Y., von Rickenbach D., Stoffel A., Margreth S., Stoffel L., Christen M.* Automated snow avalanche release area delineation – validation of existing algorithms and proposition of a new object-based approach for large scale hazard indication mapping. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2018. V. 18. No 12. P. 3235–3251. DOI: 10.5194/nhess-18-3235-2018.
 67. *Buri P., Pellicciotti F., Steiner J.F., Miles E.S., Immerzeel W.W.* A grid-based model of backwasting of supraglacial ice cliffs on debris-covered glaciers. *Annals of Glaciology*, 2016. V. 57. No 71. P. 199–211. DOI: 10.3189/2016AoG71A059.
 68. *Caglar B., Becek K., Mekik C., Ozendi M.* On the vertical accuracy of the ALOS World 3D-30m digital elevation model. *Remote Sensing Letters*, 2018. V. 9. No 6. P. 607–615. DOI: 10.1080/2150704X.2018.1453174.
 69. *Canuto M.A., Estrada-Belli F., Garrison T.G., Houston S.D., Acuna M.J., Kovac M., Marken D., Nondedeo P., Auld-Thomas L., Castanet C., Chatelain D., Chiriboga C.R., Drapela T., Lieskovsky T., Tokovinine A., Velasquez A., Fernandez-Diaz J.C., Shrestha R.* Ancient lowland Maya complexity as revealed by airborne laser scanning of northern Guatemala. *Science*, 2018. V. 361. No 6409. # eaau0137. DOI: 10.1126/science.aau0137.
 70. *Cao W., Sofia G., Tarolli P.* Geomorphometric characterisation of natural and anthropogenic land covers. *Progress in Earth and Planetary Science*, 2020. V. 7. # 2. DOI: 10.1186/s40645-019-0314.
 71. *Cardinale M., Silvestro S., Vaz D.A., Michaels T., Bourke M.C., Komatsu G., Marinangeli L.* Present-day aeolian activity in Herschel Crater, Mars. *Icarus*, 2016. V.265. P. 139–148. DOI: 10.1016/j.icarus.2015.10.022.
 72. *Carless D., Kulessa B., Booth A.D., Drocourt Y., Sinnadurai P., Street-Perrott F.A., Jansson P.* An integrated geophysical and GIS based approach improves estimation of peatland carbon stocks. *Geoderma*, 2021. V. 402. # 115176. DOI: 10.1016/j.geoderma.2021.115176.
 73. *Carreno-Luengo H., Luzi G., Crosetto M.* First evaluation of topography on GNSS-R: an empirical study based on a digital elevation model. *Remote Sensing*, 2019. V. 11. No 21. # 2556. DOI: 10.3390/rs11212556.
 74. *Caubet M., Dobarco M.R., Arrouays D., Minasny B., Saby N.P.* Merging country, continental and global predictions of soil texture: lessons from ensemble modelling in France. *Geoderma*, 2019. V. 337. P. 99–110. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.09.007.
 75. *Cavalli M., Goldin B., Comiti F., Brardinoni F., Marchi L.* Assessment of erosion and

- deposition in steep mountain basins by differencing sequential digital terrain models. *Geomorphology*, 2017. V. 291. P. 4–16. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.04.009.
76. Čeru T., Šegina E., Gosar A. Geomorphological dating of pleistocene conglomerates in central Slovenia based on spatial analyses of dolines using LiDAR and ground penetrating radar. *Remote Sensing*, 2017. V. 9. No 12. # 1213. DOI: 10.3390/rs9121213.
 77. Cervilla A.R., Tabik S., Vias J., Mérida M., Romero L.F. Total 3D-viewshed map: quantifying the visible volume in digital elevation models. *Transactions in GIS*, 2017. V. 21. No 3. P. 591–607. DOI: 10.1111/tgis.12216.
 78. Chaney N.W., Wood E.F., McBratney A.B., Hempel J.W., Nauman T.W., Brungard C.W., Odgers N.P. POLARIS: a 30-meter probabilistic soil series map of the contiguous United States. *Geoderma*, 2016. V. 274. P. 54–67. DOI: 10.1016/j.geoderma.2016.03.025.
 79. Chang J.M.-H., Lam Y.F., Lau S.P.-W., Wong W.-K. Development of fine-scale spatiotemporal temperature forecast model with urban climatology and geomorphometry in Hong Kong. *Urban Climate*, 2021. V. 37. # 100816. DOI: j.uclim.2021.100816.
 80. Chang K.-T., Merghadi A., Yunus A.P., Pham B.T., Dou J. Evaluating scale effects of topographic variables in landslide susceptibility models using GIS-based machine learning techniques. *Scientific Reports*, 2019. V. 9. # 12296. DOI: 10.1038/s41598-019-48773-2.
 81. Chase D.Z., Chase A.F. Caracol, Belize, and changing perceptions of Ancient Maya society. *Journal of Archaeological Research*, 2017. V. 25. No 3. P. 185–249. DOI: 10.1007/s10814-016-9101-z.
 82. Chen Q., Liu G., Ma X., Mariethoz G., He Z., Tian Y., Weng Z. Local curvature entropy-based 3D terrain representation using a comprehensive Quadtree. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2018. V. 139. P. 30–45. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2018.03.001.
 83. Chen W., Xie X., Wang J., Pradhan B., Hong H., Tien Bui D., Duan Z., Ma J. A comparative study of logistic model tree, random forest, and classification and regression tree models for spatial prediction of landslide susceptibility. *Catena*, 2017. V. 151. P. 147–160. DOI: 10.1016/j.catena.2016.11.032.
 84. Chu H.-J., Chen Y.-C., Ali M.Z., Höfle B. Multi-parameter relief map from high-resolution DEMs: a case study of mudstone badland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019. V. 16. No 7. # 1109. DOI: 10.3390/ijerph16071109.
 85. Chudley T.R., Christoffersen P., Doyle S.H., Abellan A., Snooke N. High accuracy UAV photogrammetry of ice sheet dynamics with no ground control. *Cryosphere*, 2019. V. 13. No 3. P. 955–968. DOI: 10.5194/tc-2018-256.
 86. Cimoli E., Marcer M., Vandecrux B., Bøggild C.E., Williams G., Simonsen S.B. Application of low-cost UASs and digital photogrammetry for high-resolution snow depth mapping in the Arctic. *Remote Sensing*, 2017. V. 9. No 11. # 1144. DOI: 10.3390/rs9111144.
 87. Clapuyt F., Vanacker V., van Oost K. Reproducibility of UAV-based earth topography reconstructions based on Structure-from-Motion algorithms. *Geomorphology*, 2016. V. 260. P. 4–15. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.05.011.
 88. Clarke K.C., Romero B.E. On the topology of topography: a review. *Cartography and Geographic Information Science*, 2017. V. 44. No 3. P. 271–282. DOI: 10.1080/15230406.2016.1164625.
 89. Clubb F.J., Mudd S.M., Attal M., Milodowski D.T., Grieve S.W.D. The relationship between drainage density, erosion rate, and hilltop curvature: implications for sediment transport processes. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2016. V. 121. No 10. P. 1724–1745. DOI: 10.1002/2015JF003747.

90. *Clubb F.J., Mudd S.M., Milodowski D.T., Valters D.A., Slater L.J., Hurst M.D., Limaye A.B.* Geomorphometric delineation of floodplains and terraces from objectively defined topographic thresholds. *Earth Surface Dynamics*, 2017. V. 5. P. 369–385. DOI: 10.5194/esurf-5-369-2017.
91. *Collin A., Hench J.L., Pastol Y., Planes S., Thiault L., Schmitt R.J., Holbrook S.J., Davies N., Troyer M.* High resolution topobathymetry using a Pleiades-1 triplet: Moorea Island in 3D. *Remote Sensing of Environment*, 2018. V. 208. P. 109–119. DOI: 10.1016/j.rse.2018.02.015.
92. *Colucci R.R., Boccali C., Žebre M., Guglielmin M.* Rock glaciers, protalus ramparts and pronival ramparts in the south-eastern Alps. *Geomorphology*, 2016. V. 269. P. 112–121. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.06.039.
93. *Conway S.J., Balme M.R.* A novel topographic parameterization scheme indicates that martian gullies display the signature of liquid water. *Earth and Planetary Science Letters*, 2016. V. 454. P. 36–45. DOI: 10.1016/j.epsl.2016.08.031.
94. *Copping J.P., Stewart B.D., McClean C.J., Hancock J., Rees R.* Does bathymetry drive coastal whale shark (*Rhincodon typus*) aggregations? *PeerJ*, 2018. V. 6. # e4904. DOI: 10.7717/peerj.4904.
95. *Cucchiario S., Cazorzi F., Marchi L., Crema S., Beinat A., Cavalli M.* Multi-temporal analysis of the role of check dams in a debris-flow channel: linking structural and functional connectivity. *Geomorphology*, 2019. V. 345. # 106844. DOI: 10.1016/j.geomorph.2019.106844.
96. *Cucchiario S., Maset E., Cavalli M., Crema S., Marchi L., Beinat A.* How does co-registration affect geomorphic change estimates in multi-temporal surveys? *GIScience and Remote Sensing*, 2020. V. 57. No 5. P. 611–632. DOI: 10.1080/15481603.2020.1763048.
97. *Cunha N.S., Magalhães M.R., Domingos T., Abreu M.M., Küpfer C.* The land morphology approach to flood risk mapping: an application to Portugal. *Journal of Environmental Management*, 2017. V. 193. P. 172–187. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.01.077.
98. *Cunha N.S., Magalhães M.R., Domingos T., Abreu M.M., Withing K.* The land morphology concept and mapping method and its application to mainland Portugal. *Geoderma*, 2018. V. 325. P. 72–89. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.03.
99. *Dąbski M., Zmarz A., Pabjanek P., Korczak-Abshire M., Karsznia I., Chwedorzewska K.J.* UAV-based detection and spatial analyses of periglacial landforms on Demay Point (King George Island, South Shetland Islands, Antarctica). *Geomorphology*, 2017. V. 290. P. 29–38. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.03.033.
100. *Dai C., Durand M., Howat I.M., Altenau E.H., Pavelsky T.M.* Estimating river surface elevation from ArcticDEM. *Geophysical Research Letters*, 2018. V. 45. No 7. P. 3107–3114. DOI: 10.1002/2018GL077379.
101. *Dai C., Howat I.M.* Measuring lava flows with ArcticDEM: application to the 2012–2013 eruption of Tolbachik, Kamchatka. *Geophysical Research Letters*, 2017. V. 44. No 24. P. 12133–12140. DOI: 10.1002/2017GL075920.
102. *Dai C., Howat I.M., Freymueller J.T., Vijay S., Jia Y.* Characterization of the 2008 phreatomagmatic eruption of Okmok from ArcticDEM and InSAR: deposition, erosion, and deformation. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2020. V. 125. No 6. # e2019JB018977. DOI: 10.1029/2019JB018977.
103. *Dai W., Hu G., Huang N., Zhang P., Yang X., Tang G.* A contour-directional detection for deriving terrace ridge from open source images and digital elevation models. *IEEE Access*, 2019a. V. 7. P. 129215–129224. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2940437.

104. *Dai W., Na J., Huang N., Hu G., Yang X., Tang G., Xiong L., Li F.* Integrated edge detection and terrain analysis for agricultural terrace delineation from remote sensing images. *International Journal of Geographical Information Science*, 2020. V. 34. No 3. P. 484–503. DOI: 10.1080/13658816.2019.1650363.
105. *Dai W., Yang X., Na J., Li J., Brus D., Xiong L., Tang G., Huang X.* Effects of DEM resolution on the accuracy of gully maps in loess hilly areas. *Catena*, 2019b. V. 177. P. 114–125. DOI: 10.1016/j.catena.2019.02.010.
106. *Dall'Asta E., Forlani G., Roncella R., Santise M., Diotri F., Morra di Cella U.* Unmanned aerial systems and DSM matching for rock glacier monitoring. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2017. V. 127. P. 102–114. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2016.10.003.
107. *Danchenkov A., Belov N., Stont Z.* Using the terrestrial laser scanning technique for aeolian sediment transport assessment in the coastal zone in seasonal scale. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2019. V. 223. P. 105–114. DOI: 10.1016/j.ecss.2019.04.044.
108. *De Michele C., Avanzi F., Passoni D., Barzaghi R., Pinto L., Dosso P., Ghezzi A., Gianatti R., Della Vedova G.* Using a fixed-wing UAS to map snow depth distribution: an evaluation at peak accumulation. *Cryosphere*, 2016. V. 10. No 2. P. 511–522. DOI: 10.5194/tc-10-511-2016.
109. *De Waele J., Fabbri S., Santagata T., Chiarini V., Columbu A., Pisani L.* Geomorphological and speleogenetical observations using terrestrial laser scanning and 3D photogrammetry in a gypsum cave (Emilia Romagna, N. Italy). *Geomorphology*, 2018. V. 319. P. 47–61. DOI: 10.1016/j.geomorph.2018.07.012.
110. *Dehecq A., Millan R., Berthier E., Gourmelen N., Trouve E.* Elevation changes inferred from TanDEM-X data over the Mont-Blanc area: impact of the X-band interferometric bias. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2016. V. 9. No 8. P. 3870–3882. DOI: 10.1109/JSTARS.2016.2581482.
111. *Dekavalla M., Argialas D.* Evaluation of a spatially adaptive approach for land surface classification from digital elevation models. *International Journal of Geographical Information Science*, 2017. V. 31. No 10. P. 1978–2000. DOI: 10.1080/13658816.2017.1344984.
112. *Dekavalla M., Argialas D.* Object-based classification of global undersea topography and geomorphological features from the SRTM30_PLUS data. *Geomorphology*, 2017. V. 288. P. 66–82. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.03.026.
113. *Deng Y.* New trends in digital terrain analysis: landform definition, representation, and classification. *Progress in Physical Geography*, 2007. V. 31. No 4. P. 405–419. DOI: 10.1177/0309133307081291.
114. *Dharumarajan S., Hegde R., Singh S.K.* Spatial prediction of major soil properties using Random Forest techniques – a case study in semi-arid tropics of South India. *Geoderma Regional*, 2017. V. 10. P. 154–162. DOI: 10.1016/j.geodrs.2017.07.005.
115. *Dhingra R.D., Barnes J.W., Yanites B.J., Kirk R.L.* Large catchment area recharges Titan's Ontario Lacus. *Icarus*, 2018. V. 299. P. 331–338. DOI: 10.1016/j.icarus.2017.08.009.
116. *Dirscherl M., Rossi C.* Geomorphometric analysis of the 2014–2015 Bárðarbunga volcanic eruption, Iceland. *Remote Sensing of Environment*, 2018. V. 204. P. 244–259. DOI: 10.1016/j.rse.2017.10.027.
117. *Dornik A., Drăguț L., Urdea P.* Classification of soil types using geographic object-based image analysis and random forests. *Pedosphere*, 2018. V. 28. No 6. P. 913–925. DOI: 10.1016/S1002-0160(17)60377-1.
118. *Dos Reis A.A., Franklin S.E., de Mello J.M., Acerbi F.W. Jr.* Volume estimation in a

- Eucalyptus* plantation using multi-source remote sensing and digital terrain data: a case study in Minas Gerais State, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, 2019. V. 40. No 7. P. 2683–2702. DOI: 10.1080/01431161.2018.1530808.
119. *Drăguț L., Dornik A.* Land-surface segmentation as a method to create strata for spatial sampling and its potential for digital soil mapping. *International Journal of Geographical Information Science*, 2016. V. 30. No 7. P. 1359–1376. DOI: 10.1080/13658816.2015.1131828.
 120. *Duan X., Li L., Zhu H., Shen Y.* A high-fidelity multiresolution digital elevation model for Earth systems. *Geoscientific Model Development*, 2017. V. 10. No 1. P. 239–253. DOI: 10.5194/gmd-10-239-2017.
 121. *Duszyński F., Jancewicz K., Kasprzak M., Migoń P.* The role of landslides in downslope transport of caprock-derived boulders in sedimentary tablelands, Stołowe Mts, SW Poland. *Geomorphology*, 2017. V. 295. P. 84–101. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.06.016.
 122. *Elez J., Silva P.G., Huerta P., Perucha M.Á., Civis J., Roquero E., Rodríguez-Pascu M.A., Bardají T., Giner-Robles J.L., Martínez-Graña A.* Quantitative paleotopography and paleogeography around the Gibraltar Arc (South Spain) during the Messinian Salinity Crisis. *Geomorphology*, 2016. V. 275. P. 26–45. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.09.023.
 123. *Eltner A., Kaiser A., Castillo C., Rock G., Neugirg F., Abellán A.* Image-based surface reconstruction in geomorphometry – merits, limits and developments. *Earth Surface Dynamics*, 2016. V. 4. No 2. P. 359–389. DOI: 10.5194/esurf-4-359-2016.
 124. *Ely J.C., Graham C., Barr I.D., Rea B.R., Spagnolo M., Evans J.* Using UAV acquired photography and structure from motion techniques for studying glacier landforms: application to the glacial flutes at Isfallsglaciären. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2017. V. 42. No 6. P. 877–888. DOI: 10.1002/esp.4044.
 125. *Evans D.* Airborne laser scanning as a method for exploring long-term socioecological dynamics in Cambodia. *Journal of Archaeological Science*, 2016. V. 74. P. 164–175. DOI: 10.1016/j.jas.2016.05.009.
 126. *Evans I.S.* General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. *Spatial Analysis in Geomorphology*. London: Methuen, 1972. P. 17–90. DOI: 10.4324/9780429273346-2.
 127. *Ewertowski M.W., Tomczyk A.M., Evans D.J.A., Roberts D.H., Ewertowski W.* Operational framework for rapid, very-high resolution mapping of glacial geomorphology using low-cost unmanned aerial vehicles and structure-from-motion approach. *Remote Sensing*, 2019. V. 11. No 1. # 65. DOI: 10.3390/rs11010065.
 128. *Fa W., Cai Y., Xiao Z., Tian W.* Topographic roughness of the northern high latitudes of Mercury from MESSENGER Laser Altimeter data. *Geophysical Research Letters*, 2016. V. 43. No 7. P. 3078–3087. DOI: 10.1002/2016GL068120.
 129. *Fabbri S., Sauro F., Santagata T., Rossi G., de Waele J.* High-resolution 3-D mapping using terrestrial laser scanning as a tool for geomorphological and speleogenetical studies in caves: an example from the Lessini mountains (North Italy). *Geomorphology*, 2017. V. 280. P. 16–29. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.12.001.
 130. *Fan B., Tao W., Qin G., Hopkins I., Zhang Y., Wang Q., Lin H., Guo L.* Soil micro-climate variation in relation to slope aspect, position, and curvature in a forested catchment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2020. V. 290. # 107999. DOI: 10.1016/j.agrformet.2020.107999.
 131. *Favalli M., Fornaciai A.* Visualization and comparison of DEM-derived parameters: application to volcanic areas. *Geomorphology*, 2017. V. 290. P. 69–84. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.02.029.

132. *Feizizadeh B., Blaschke T., Tiede D., Moghaddam M.H.R.* Evaluating fuzzy operators of an object-based image analysis for detecting landslides and their changes. *Geomorphology*, 2017. V. 293. Pt. A. P. 240–254. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.06.002.
133. *Fissore C., Dalzell B.J., Berhe A.A., Voegtle M., Evans M., Wu A.* Influence of topography on soil organic carbon dynamics in a Southern California grassland. *Catena*, 2017. V. 149, 1. P. 140–149. DOI: 10.1016/j.catena.2016.09.016.
134. *Florinsky I.V.* Combined analysis of digital terrain models and remotely sensed data in landscape investigations. *Progress in Physical Geography*, 1998. V. 22. No 1. P. 33–60. DOI: 10.1177/030913339802200102.
135. *Florinsky I.V.* *Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology*. 2nd ed. Amsterdam: Academic Press, 2016. 486 p.
136. *Florinsky I.V.* An illustrated introduction to general geomorphometry. *Progress in Physical Geography*, 2017a. V. 41. No 6. P. 723–752. DOI: 10.1177/0309133317733667.
137. *Florinsky I.V.* Spheroidal equal angular DEMs: the specificity of morphometric treatment. *Transactions in GIS*, 2017b. V. 21. No 6. P. 1115–1129. DOI: 10.1111/tgis.12269.
138. *Florinsky I.V.* Geomorphometry on the surface of a triaxial ellipsoid: towards the solution of the problem. *International Journal of Geographical Information Science*, 2018. V. 32. No 8. P. 1558–1571. DOI: 10.1080/13658816.2018.1461220.
139. *Florinsky I.V., Bliakharskii D.P.* Detection of crevasses by geomorphometric treatment of data from unmanned aerial surveys. *Remote Sensing Letters*, 2019a. V. 10, 4. P. 323–332. DOI: 10.1080/2150704X.2018.1552809.
140. *Florinsky I.V., Bliakharskii D.P.* The 2017 catastrophic subsidence in the Dalk Glacier, East Antarctica: unmanned aerial survey and terrain modelling. *Remote Sensing Letters*, 2019b. V. 10. No 4. P. 333–342. DOI: 10.1080/2150704X.2018.1552810.
141. *Florinsky I.V., Filippov S.V.* Three-dimensional terrain modeling with multiple-source illumination. *Transactions in GIS*, 2019. V. 23. No 5. P. 937–959. DOI: 10.1111/tgis.12546.
142. *Florinsky I.V., Filippov S.V.* Three-dimensional geomorphometric modeling of the Arctic Ocean submarine topography: a low-resolution desktop application. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2021. V. 46. No 1. P. 88–101. DOI: 10.1109/JOE.2020.2969283.
143. *Florinsky I.V., Kurkov V.M., Bliakharskii D.P.* Geomorphometry from unmanned aerial surveys. *Transactions in GIS*, 2018a. V. 22. No 1. P. 58–81. DOI: 10.1111/tgis.12296.
144. *Florinsky I.V., Pankratov A.N.* A universal spectral analytical method for digital terrain modeling. *International Journal of Geographical Information Science*, 2016. V. 30. No 12. P. 2506–2528. DOI: 10.1080/13658816.2016.1188932.
145. *Florinsky I.V., Skrypitsyna T.N., Luschikova O.S.* Comparative accuracy of the AW3D30 DSM, ASTER GDEM, and SRTM1 DEM: a case study on the Zaosky testing ground, Central European Russia. *Remote Sensing Letters*, 2018b. V. 9. No 7. P. 706–714. DOI: 10.1080/2150704X.2018.1468098.
146. *Florinsky I.V., Skrypitsyna T.N., Trevisani S., Romaikin S.V.* Statistical and visual quality assessment of nearly-global and continental digital elevation models of Trentino, Italy. *Remote Sensing Letters*, 2019. V. 10. No 8. P. 726–735. DOI: 10.1080/2150704X.2019.1602790.
147. *Flynn T., Rozanov A., de Clercq W., Warr B., Clarke C.* Semi-automatic disaggregation of a national resource inventory into a farm-scale soil depth class map. *Geoderma*, 2019. V. 337. P. 1136–1145. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.11.003.
148. *Foroutan M., Marshall S.J., Menounos B.* Automatic mapping and geomorphometry extraction technique for crevasses in geodetic mass-balance calculations at Haig Glacier,

- Canadian Rockies. *Journal of Glaciology*, 2019. V. 65. No 254. P. 971–982. DOI: 10.1017/jog.2019.71.
149. *Franklin J.* Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in Physical Geography*, 1995. V. 19. No 4. P. 474–499. DOI: 10.1177/030913339501900403.
150. *Franklin S.E.* Interpretation and use of geomorphometry in remote sensing: a guide and review of integrated applications. *International Journal of Remote Sensing*, 2020. V. 41. No 19. P. 7700–7733. DOI: 10.1080/01431161.2020.1792577.
151. *Freeland T., Heung B., Burley D.V., Clark G., Knudby A.* Automated feature extraction for prospection and analysis of monumental earthworks from aerial LiDAR in the Kingdom of Tonga. *Journal of Archaeological Science*, 2016. V. 69. P. 64–74. DOI: 10.1016/j.jas.2016.04.011.
152. *Freitas H.R.A., Freitas C.D.C., Rosim S., Oliveira J.R.F.* Drainage networks and watersheds delineation derived from TIN-based digital elevation models. *Computers and Geosciences*, 2016. V. 92. P. 21–37. DOI: 10.1016/j.cageo.2016.04.003.
153. *Fugazza D., Scaioni M., Corti M., d'Agata C., Azzoni R.S., Cernuschi M., Smiraglia C., Diolaiuti G.A.* Combination of UAV and terrestrial photogrammetry to assess rapid glacier evolution and conditions of glacier hazards. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2018. V. 18. No 4, P. 1055–1071. DOI: 10.5194/nhess-18-1055-2018.
154. *Fuss C.E., Berg A.A., Lindsay J.B.* DEM fusion using a modified *k*-means clustering algorithm. *International Journal of Digital Earth*, 2016. V. 9. No 12. P. 1242–1255. DOI: 10.1080/17538947.2016.1208685.
155. *Gabrlík P., La Cour-Harbo A., Zalud L., Janata P.* Calibration and accuracy assessment in a direct georeferencing system in UAS photogrammetry. *International Journal of Remote Sensing*, 2018. V. 39. No 15/16. P. 4931–4959. doi:10.1080/01431161.2018.1434331.
156. *Gaffey C., Bhardwaj A.* Applications of unmanned aerial vehicles in cryosphere: latest advances and prospects. *Remote Sensing*, 2020. V. 12. No 6. # 948. DOI: 10.3390/rs12060948.
157. *Gallant J.C., Hutchinson M.F.* A differential equation for specific catchment area. *Water Resources Research*, 2011. V. 47. No 5. # W05535. DOI: 10.1029/2009WR008540.
158. *Gallay M., Hochmuth Z., Kaňuk J., Hofierka J.* Geomorphometric analysis of cave ceiling channels mapped with 3D terrestrial laser scanning. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2016. V. 20. No 5. P. 1827–1849. DOI: 10.5194/hess-2016-74.
159. *Gallwey J., Eyre M., Tonkins T., Coggan J.* Bringing Lunar LiDAR back down to Earth: mapping our industrial heritage through deep transfer learning. *Remote Sensing*, 2019. V. 11. No 17. # 1994. DOI: 10.3390/rs11171994.
160. *Gao Y., Wang W., Yao T., Lu N., Lu A.* Hydrological network and classification of lakes on the Third Pole. *Journal of Hydrology*, 2018. V. 560. P. 582–594. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.03.062.
161. *García-Romero L., Delgado-Fernández I., Hesp P.A., Hernández-Calvento L., Viera-Pérez M., Hernández-Cordero A.I., Cabrera-Gámez J., Domínguez-Brito A.C.* Airflow dynamics, vegetation and aeolian erosive processes in a shadow zone leeward of a resort in an arid transgressive dune system. *Aeolian Research*, 2019. V. 38. P. 48–59. DOI: 10.1016/J.AEOLIA.2019.03.006.
162. *Garosi Y., Sheklabadi M., Besalatpour A.A., Pourghasemi H.R., Conoscenti C., van Oost K.* Comparison of the different resolution and source of controlling factors for gully erosion susceptibility mapping. *Geoderma*, 2018. V. 330. P. 65–78. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.05.027.

163. *Garrison T.G., Houston S., Alcover Firpi O.* Recentring the rural: lidar and articulated landscapes among the Maya. *Journal of Anthropological Archaeology*, 2019. V. 53. P. 133–146. DOI: 10.1016/j.jaa.2018.11.005.
164. *Garstki K.* Virtual representation: the production of 3D digital artifacts. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 2017. V. 24. No 3. P. 726–750. DOI: 10.1007/s10816-016-9285-z.
165. *Gatter R., Cavalli M., Crema S., Bossi G.* Modelling the dynamics of a large rock landslide in the Dolomites (eastern Italian Alps) using multi-temporal DEMs. *PeerJ*, 2018. V. 6. # e5903. DOI: 10.7717/peerj.5903.
166. *Gaucherel C., Frelat R., Salomon L., Rouy B., Pandey N., Cudennec C.* Regional watershed characterization and classification with river network analyses. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2017. V. 42. No 13. P. 2068–2081. DOI: 10.1002/esp.4172.
167. *Gevaert C., Persello C., Nex F., Vosselman G.* A deep learning approach to DTM extraction from imagery using rule-based training labels. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2018. V. 142. P. 106–123. DOI: 10.1016/j.isprs.2018.06.001.
168. *Gheyle W., Stichelbaut B., Saey T., Note N., van den Berghe H., van Eetvelde V., van Meirvenne M., Bourgeois J.* Scratching the surface of war. Airborne laser scans of the Great War conflict landscape in Flanders (Belgium). *Applied Geography*, 2018. V. 90. P. 55–68. DOI: 10.1016/j.apgeog.2017.11.011.
169. *Ghorbanzadeh O., Blaschke T., Gholamnia K., Meena S., Tiede D., Aryal J.* Evaluation of different machine learning methods and deep-learning convolutional neural networks for landslide detection. *Remote Sensing*, 2019. V. 11. No 2. # 196. DOI: 10.3390/rs11020196.
170. *Gibson M.J., Glasser N.F., Quincey D.J., Mayer C., Rowan A.V., Irvine-Fynn T.D.* Temporal variations in supraglacial debris distribution on Baltoro Glacier, Karakoram between 2001 and 2012. *Geomorphology*, 2017. V. 295. P. 572–585. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.08.012.
171. *Gillings M., Hacigüzeller P., Lock G. (eds.)* *Archaeological Spatial Analysis: A Methodological Guide*. London: Routledge, 2020. 512 p. DOI: 10.4324/9781351243858.
172. *Gindraux S., Boesch R., Farinotti D.* Accuracy assessment of digital surface models from unmanned aerial vehicles' imagery on glaciers. *Remote Sensing*, 2017. V. 9. No 2. # 186. DOI: 10.3390/rs9020186.
173. *Gomez C.* Understanding volcanic geomorphology from derivatives and wavelet analysis: a case study at Miyakejima Volcano, Izu Islands, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2018. V. 354. P. 57–66. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2018.02.007.
174. *Gonzalez C., Rizzoli P.* Landcover-dependent assessment of the relative height accuracy in TanDEM-X DEM products. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2018. V. 15. No 12. P. 1892–1896. DOI: 10.1109/LGRS.2018.2864774.
175. *González-García J., Gómez-Espinosa A., Cuan-Urquiza E., García-Valdovinos L.G., Salgado-Jiménez T., Cabello J.A.E.* Autonomous underwater vehicles: localization, navigation, and communication for collaborative missions. *Applied Sciences*, 2020. V. 10. No 4. # 1256. DOI: 10.3390/app10041256.
176. *González-Moradas M.d.R., Viveen W.* Evaluation of ASTER GDEM2, SRTMv3.0, ALOS AW3D30 and TanDEM-X DEMs for the Peruvian Andes against highly accurate GNSS ground control points and geomorphological-hydrological metrics. *Remote Sensing of Environment*, 2020. V. 237. # 111509. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111509.
177. *Gorini M.A.V., Mota G.L.A.* Dealing with double vagueness in DEM morphometric analysis. *International Journal of Geographical Information Science*, 2016. V. 30. No 8. P. 1644–1666. DOI: 10.1080/13658816.2016.1150484.

178. *Goudge T.A., Milliken R.E., Head J.W., Mustard J.F., Fassett C.I.* Sedimentological evidence for a deltaic origin of the western fan deposit in Jezero crater, Mars and implications for future exploration. *Earth and Planetary Science Letters*, 2017. V. 458. P. 357–365. DOI: 10.1016/J.EPSL.2016.10.056.
179. *Grieve S.W.D., Mudd S.M., Hurst M.D., Milodowski D.T.* A nondimensional framework for exploring the relief structure of landscapes. *Earth Surface Dynamics*, 2016. V. 4. No2. P. 309–325. DOI: 10.5194/esurf-4-309-2016.
180. *Grimm K., Tahmasebi Nasab M., Chu X.* TWI computations and topographic analysis of depression-dominated surfaces. *Water*, 2018. V. 10. No 5. # 663. DOI: 10.3390/w10050663.
181. *Grohmann C.H.* Evaluation of TanDEM-X DEMs on selected Brazilian sites: comparison with SRTM, ASTER GDEM and ALOS AW3D30. *Remote Sensing of Environment*, 2018. V. 212. P. 121–133. DOI: 10.1016/j.rse.2018.04.043.
182. *Grohmann C.H., Garcia G.P.B., Affonso A.A., Albuquerque R.W.* Dune migration and volume change from airborne LiDAR, terrestrial LiDAR and Structure from Motion–Multi View Stereo. *Computers and Geosciences*, 2020. V. 143. # 104569. DOI: 10.1016/j.cageo.2020.104569.
183. *Groom J., Bertin S., Friedrich H.* Evaluation of DEM size and grid spacing for fluvial patch-scale roughness parameterisation. *Geomorphology*, 2018. V. 320. P. 98–110. DOI: 10.1016/J.GEOMORPH.2018.08.017.
184. *Gruber F.E., Baruck J., Geitner C.* Algorithms vs. surveyors: a comparison of automated landform delineations and surveyed topographic positions from soil mapping in an Alpine environment. *Geoderma*, 2017. V. 308. P. 9–25. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.08.017.
185. *Guida D., Cuomo A., Palmieri V.* Using object-based geomorphometry for hydro-geomorphological analysis in a Mediterranean research catchment. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2016. V. 20. No 9. P. 3493–3509. DOI: 10.5194/hess-20-3493-2016.
186. *Guirado E., Alcaraz-Segura D., Rigol-Sánchez J.P., Gisbert J., Martínez-Moreno F.J., Galindo-Zaldivar J., González-Castillo L., Cabello J.* Remote-sensing-derived fractures and shrub patterns to identify groundwater dependence. *Ecohydrology*, 2018. V. 11. No 6. # e1933. DOI: 10.1002/eco.1933.
187. *Guisado-Pintado E., Jackson D.W.T., Rogers D.* 3D mapping efficacy of a drone and terrestrial laser scanner over a temperate beach-dune zone. *Geomorphology*, 2019. V. 328. P. 157–172. DOI: 10.1016/j.geomorph.2018.12.013.
188. *Guo Y., Liu Y., Oerlemans A., Lao S., Wu S., Lew M.S.* Deep learning for visual understanding: a review. *Neurocomputing*, 2016. V. 187. P. 27–48. DOI: 10.1016/j.neucom.2015.09.116.
189. *Guo Z., Adhikari K., Chellasamy M., Greve M.B., Owens P.R., Greve M.H.* Selection of terrain attributes and its scale dependency on soil organic carbon prediction. *Geoderma*, 2019. V. 340. P. 303–312. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.01.023.
190. *Guevara M., Arroyo C., Brunsell N., Cruz C.O., Domke G., Equihua J., Etchevers J., Hayes D., Hengl T., Ibelles A., Johnson K., de Jong B., Libohova Z., Llamas R., Nave L., Ornelas J.L., Paz F., Ressler R., Schwartz A., Victoria A., Wills S., Vargas R.* Soil organic carbon across Mexico and the conterminous United States (1991–2010). *Global Biogeochemical Cycles*, 2020. V. 34. No 3. # e2019GB006219. DOI: 10.1029/2019GB006219.
191. *Guevara M., Vargas R.* Downscaling satellite soil moisture using geomorphometry and machine learning. *PLoS ONE*, 2019. V. 14. No 9. # e0219639. DOI: 10.1371/journal.pone.0219639.

192. *Guyot A., Hubert-Moy L., Lorho T.* Detecting neolithic burial mounds from LiDAR-derived elevation data using a multi-scale approach and machine learning techniques. *Remote Sensing*, 2018. V. 10. No 2. # 225. DOI: 10.3390/rs10020225.
193. *Hayes A.G., Birch S.P.D., Dietrich W.E., Howard A.D., Kirk R.L., Poggiali V., Mastrogiuseppe M., Michaelides R.J., Corlies P.M., Moore J.M., Malaska M.J., Mitchell K.L., Lorenz R.D., Wood C.A.* Topographic constraints on the evolution and connectivity of Titan's lacustrine basins. *Geophysical Research Letters*, 2017. V. 44. No 23. P. 11745–11753. DOI: 10.1002/2017GL075468.
194. *Heckmann T., Cavalli M., Cerdan O., Foerster S., Javaux M., Lode E., Smetanova A., Vericat D., Brardinoni F.* Indices of sediment connectivity: opportunities, challenges and limitations. *Earth-Science Reviews*, 2018. V. 187. P. 77–108. DOI: 10.1016/j.earscirev. 2018.08.004.
195. *Hendrickx H., Vivero S., de Cock L., de Wit B., de Maeyer P., Lambiel C., Delaloye R., Nyssen J., Frankl A.* The reproducibility of SfM algorithms to produce detailed digital surface models: the example of PhotoScan applied to a high-alpine rock glacier. *Remote Sensing Letters*, 2019. V. 10. No 1. P. 11–20. DOI: 10.1080/2150704X.2018.1519641.
196. *Hengl T., Reuter H.I. (eds.)* *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications.* Amsterdam: Elsevier, 2009. 765 p.
197. *Hengl T., Leenaars J.G.B., Shepherd K.D., Walsh M.G., Heuvelink G.B.M., Mamo T., Tilahun H., Berkhout E., Cooper M., Fegraus E., Wheeler I., Kwabena N.A.* Soil nutrient maps of Sub-Saharan Africa: assessment of soil nutrient content at 250 m spatial resolution using machine learning. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2017a. V. 109. No 1. P. 77–102. DOI: 10.1007/s10705-017-9870-x.
198. *Hengl T., Mendes de Jesus J., Heuvelink G.B.M., Ruiperez Gonzalez M., Kilibarda M., Blagotić A., Wei S., Wright M.N., Geng X., Bauer-Marschallinger B., Guevara M.A., Varga R., MacMillan R.A., Batjes N.H., Leenaars J.G.B., Ribeiro E., Wheeler I., Mantel S., Kempen B.* SoilGrids250m: global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE*, 2017b. V. 12. No 2. # e0169748. DOI: 10.1371/journal.pone.0169748.
199. *Hengl T., Miller M.A.E., Križan J., Shepherd K.D., Sila A., Kilibarda M., Antonijević O., Glušica L., Dobermann A., Haefele S.M., McGrath S.P., Acquah G.E., Collinson J., Parente L., Sheykhmousa M., Saito K., Johnson J.-M., Chamberlin J., Silatsa F.B.T., Yemefack M., Wendt J., MacMillan R.A., Wheeler I., Crouch J.* African soil properties and nutrients mapped at 30 m spatial resolution using two-scale ensemble machine learning. *Scientific Reports*, 2021. V. 11. # 6130. DOI: 10.1038/s41598-021-85639-y.
200. *Hengl T., Nussbaum M., Wright M.N., Heuvelink G.B.M., Gräler B.* Random forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables. *PeerJ*, 2018. V. 6. # e5518. DOI: 10.7717/peerj.5518.
201. *Hergarten S., Robl J., Stüwe K.* Tectonic geomorphology at small catchment sizes – extensions of the stream-power approach and the χ method. *Earth Surface Dynamics*, 2016. V. 4. No 2. P. 1–9. DOI: 10.5194/esurf-4-1-2016.
202. *Heung B., Ho H.C., Zhang J., Knudby A., Bulmer C.E., Schmidt M.G.* An overview and comparison of machine-learning techniques for classification purposes in digital soil mapping. *Geoderma*, 2016. V. 265. P. 62–77. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.11.014.
203. *Hodul M., Bird S., Knudby A., Chénier R.* Satellite derived photogrammetric bathymetry. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2018. V. 142. P. 268–277. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2018.06.015.
204. *Hofierka J., Gally M., Bandura P., Šašak J.* Identification of karst sinkholes in a forested karst landscape using airborne laser scanning data and water flow analysis. *Geomorphology*, 2018. V. 308. P. 265–277. DOI: 10.1016/j.geomorph.2018.02.004.

205. *Hofierka J., Gallay M., Onačillová K., Hofierka J. Jr.* Physically-based land surface temperature modeling in urban areas using a 3-D city model and multispectral satellite data. *Urban Climate*, 2020. V. 31. # 100566. DOI: 10.1016/j.uclim.2019.100566.
206. *Hong H., Llia L., Tsangaratos P., Chen W., Xu C.* A hybrid fuzzy weight of evidence method in landslide susceptibility analysis on the Wuyuan area, China. *Geomorphology*, 2017. V. 290. P. 1–16. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.04.002.
207. *Hooshyar M., Wang D., Kim S., Medeiros S.C., Hagen S.C.* Valley and channel networks extraction based on local topographic curvature and *k*-means clustering of contours. *Water Resources Research*, 2016. V. 52. No 10. P. 8081–8102. DOI: 10.1002/2015WR018479.
208. *Horáček M., Samec P., Minár J.* The mapping of soil taxonomic units via fuzzy clustering – a case study from the Outer Carpathians, Czechia. *Geoderma*, 2018. V. 326. P. 111–122. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.04.012.
209. *Horn B.K.P.* Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of the IEEE*, 1981. V. 69. No 1. P. 14–47. DOI: 10.1109/PROC.1981.11918.
210. *Horn C., Ivarsson O., Lindhé C., Potter R., Green A., Ling J.* Artificial intelligence, 3D documentation, and rock art – approaching and reflecting on the automation of identification and classification of rock art images. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 2021. V. 28. DOI: 10.1007/s10816-021-09518-6.
211. *Houser C., Bishop M., Wernette P.* Multi-scale topographic anisotropy patterns on a barrier island. *Geomorphology*, 2017. V. 297. P. 153–158. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.09.026.
212. *Howat I.M., Porter C., Smith B.E., Noh M.-J., Morin P.* The reference elevation model of Antarctica. *Cryosphere*, 2019. V. 13. No 2. P. 665–674. DOI: 10.5194/tc-13-665-2019.
213. *Hu G., Dai W., Li S., Xiong L., Tang G.* A vector operation to extract second-order terrain derivatives from digital elevation models. *Remote Sensing*, 2020. V. 12. No 19. # 3134. DOI: 10.3390/rs12193134.
214. *Hu G., Dai W., Li S., Xiong L., Tang G., Strobl J.* Quantification of terrain plan concavity and convexity using aspect vectors from digital elevation models. *Geomorphology*, 2021. V. 375. # 107553. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107553.
215. *Hu Q., Zhou Y., Wang S., Wang F.* Machine learning and fractal theory models for landslide susceptibility mapping: case study from the Jinsha River Basin. *Geomorphology*, 2020. V. 351. # 106975. DOI: 10.1016/j.geomorph.2019.106975.
216. *Huang H., Chen X., Wang X., Wang X., Liu L.* A depression-based index to represent topographic control in urban pluvial flooding. *Water*, 2019. V. 11. No 10. # 2115. DOI: 10.3390/w11102115.
217. *Huang P.-C., Lee K.T.* Distinctions of geomorphological properties caused by different flow-direction predictions from digital elevation models. *International Journal of Geographical Information Science*, 2016. V. 30. No 2. P. 168–185. DOI: 10.1080/13658816.2015.1079913.
218. *Hurskainen P., Adhikari H., Siljander M., Pellikka P., Hemp A.* Auxiliary datasets improve accuracy of object-based land use/landcover classification in heterogeneous savanna landscapes. *Remote Sensing of Environment*, 2019. V. 233. # 111354. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111354.
219. *Ibanez D.M., Almeida-Filho R., Miranda F.P.* Analysis of SRTM data as an aid to hydrocarbon exploration in a frontier area of the Amazonas Sedimentary Basin, northern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, 2016. V. 73. P. 528–538. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2016.03.024.
220. *Idrees M.O., Pradhan B.* A decade of modern cave surveying with terrestrial laser

- scanning: a review of sensors, method and application development. *International Journal of Speleology*, 2016. V. 45. No 1. P. 71–88. DOI: 10.5038/1827-806X.45.1.1923.
221. *Inomata T., Triadan D., Pinzón F., Burham M., Ranchos J.L., Aoyama K., Haraguchi T.* Archaeological application of airborne LiDAR to examine social changes in the Ceibal region of the Maya lowlands. *PLoS ONE*, 2018. V. 13. No 2. # e0191619. DOI: 10.1371/journal.pone.0191619.
222. *Iwahashi J., Kamiy I., Matsuoka M., Yamazaki D.* Global terrain classification using 280m DEMs: segmentation, clustering and reclassification. *Progress in Earth and Planetary Science*, 2018. V. 5. # 1. DOI: 10.1186/s40645-017-0157-2.
223. *Jacobs L., Dewitte O., Poesen J., Sekajugo J., Nobile A., Rossi M., Thiery W., Kervyn M.* Field-based landslide susceptibility assessment in a data-scarce environment: the populated areas of the Rwenzori Mountains. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2018. V. 18. P. 105–124. DOI: 10.5194/nhess-18-105-2018.
224. *Jacobs L., Kervyn M., Reichenbach P., Rossi M., Marchesini I., Alvioli M., Dewitte O.* Regional susceptibility assessments with heterogeneous landslide information: slope unit- vs. pixel-based approach. *Geomorphology*, 2020. V. 356. # 107084. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107084.
225. *Jain A.O., Thaker T., Chaurasia A., Patel P., Singh A.K.* Vertical accuracy evaluation of SRTM-GL1, GDEM-V2, AW3D30 and CartoDEM-V3.1 of 30-m resolution with dual frequency GNSS for lower Tapi Basin India. *Geocarto International*, 2018. V. 33. No 11. P. 1237–1256. DOI: 10.1080/10106049.2017.1343392.
226. *Jakobsson M., Mayer L.A., Bringensparr C., Castro C.F., Mohammad R., Johnson P., Ketter T., Accettella D., Amblas D., An L., Arndt J.E., Canals M., Casamor J.L., Chauché N., Coakley B., Danielson S., Demarte M., Dickson M.-L., Dorschel B., Dowdeswell J.A., Dreutter S., Fremant A.C., Gallant D., Hall J.K., Hehemann L., Hodnesdal H., Hong J., Ivaldi R., Kane E., Klaucke I., Krawczyk D.W., Kristoffersen Y., Kuipers B.R., Millan R., Masetti G., Morlighem M., Noormets R., Prescott M.M., Rebesco M., Rignot E., Semiletov I., Tate A.J., Travaglini P., Velicogna I., Weatherall P., Weinrebe W., Willis J.K., Wood M., Zarayskaya Y., Zhang T., Zimmermann M., Zinglersen K.B.* The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean version 4.0. *Scientific Data*, 2020. V. 7. No 176. # 14. DOI: 10.1038/s41597-020-0520-9.
227. *James M.R., Robson S., d'Oleire-Oltmanns S., Niethammer U.* Optimising UAV topographic surveys processed with structure-from-motion: ground control quality, quantity and bundle adjustment. *Geomorphology*, 2017. V. 280. P. 51–66. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.11.021.
228. *Jancewicz K., Migoń P., Kasprzak M.* Connectivity patterns in contrasting types of tableland sandstone relief revealed by Topographic Wetness Index. *Science of the Total Environment*, 2019. V. 656. P. 1046–1062. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.467.
229. *Jenčo M., Fulajtár E., Bobáľová H., Matečný I., Saksa M., Kožuch M., Gally M., Kaňuk J., Piš V., Oršulová V.* Mapping soil degradation on arable land with aerial photography and erosion models, case study from Danube Lowland, Slovakia. *Remote Sensing*, 2020. V. 12. No 24. # 4047. DOI: 10.3390/rs12244047.
230. *Jenny B.* Terrain generalization with line integral convolution. *Cartography and Geographic Information Science*, 2020. V. 48. No 1. P. 78–92. DOI: 10.1080/15230406.2020.1833762.
231. *Jenny B., Heitzler M., Singh D., Farmakis-Serebryakova M., Liu J.C., Hurni L.* Cartographic relief shading with neural networks. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2020. V. 27. No 2. P. 1225–1235. DOI: 10.1109/TVCG.2020.3030456.

232. *Karachevtseva I.P., Kozlova N.A., Kokhanov A.A., Zubarev A.E., Nadezhdina I.E., Patraty V.D., Konopikhin A.A., Basilevsky A.T., Abdrakhimov A.M., Oberst J., Haase I., Jolliff B.L., Plescia J.B., Robinson M.S.* Cartography of the Luna-21 landing site and Lunokhod-2 traverse area based on Lunar Reconnaissance Orbiter Camera images and surface archive TV-panoramas. *Icarus*, 2017. V. 283. P. 104–121. DOI: 10.1016/j.icarus.2016.05.021.
233. *Karátson D., Yepes J., Favalli M., Rodríguez-Peces M.J., Fornaciai A.* Reconstructing eroded paleovolcanoes on Gran Canaria, Canary Islands, using advanced geomorphometry. *Geomorphology*, 2016. V. 253. P. 123–134. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.10.004.
234. *Kasprak A., Bransky N.D., Sankey J.B., Caster J., Sankey T.T.* The effects of topographic surveying technique and data resolution on the detection and interpretation of geomorphic change. *Geomorphology*, 2019. V. 333. P. 1–15. DOI: 10.1016/J.GEOMORPH.2019.02.020.
235. *Kasprak A., Caster J., Bangen S.G., Sankey J.B.* Geomorphic process from topographic form: automating the interpretation of repeat survey data in river valleys. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2017. V. 42. No 12. P. 1872–1883. DOI: 10.1002/esp.4143.
236. *Kasvi E., Salmela J., Lotsari E., Kumpula T., Lane S.N.* Comparison of remote sensing based approaches for mapping bathymetry of shallow, clear water rivers. *Geomorphology*, 2019. V. 333. P. 180–197. DOI: 10.1016/j.geomorph.2019.02.017.
237. *Kennelly P.J., Patterson T., Jenny B., Huffman D.P., Marston B.E., Bell S., Tait A.M.* Elevation models for reproducible evaluation of terrain representation. *Cartography and Geographic Information Science*, 2021. V. 48. No 1. P. 63–77. DOI: 10.1080/15230406.2020.1830856.
238. *Keylock C.J., Singh A., Passalacqua P., Foufoula-Georgiou E.* Evaluating landscape complexity and the contribution of non-locality to geomorphometry. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2021. V. 126. No 4. # e2020JF005765. DOI: 10.1029/2020JF005765.
239. *Khosravi K., Pham B.T., Chapi K., Shirzadi A., Shahabi H., Revhaug I., Prakash I., Tien Bui D.* A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling at Haraz watershed, northern Iran. *Science of the Total Environment*, 2018. V. 627. P. 744–755. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.266.
240. *Kim Y.J., Nam B.H., Youn H.* Sinkhole detection and characterization using LiDAR-derived DEM with logistic regression. *Remote Sensing*, 2019. V. 11. No 13. # 1592. DOI: 10.3390/rs11131592.
241. *Kizyakov A., Khomutov A., Zimin M., Khairullin R., Babkina E., Dvornikov Y., Leibman M.* Microrelief associated with gas emission craters: remote-sensing and field-based study. *Remote Sensing*, 2018. V. 10. No 5. # 677. DOI: 10.3390/rs10050677.
242. *Kizyakov A., Zimin M., Sonyushkin A., Dvornikov Y., Khomutov A., Leibman M.* Comparison of gas emission crater geomorphodynamics on Yamal and Gydan Peninsulas (Russia), based on repeat very-high-resolution stereopairs. *Remote Sensing*, 2017. V. 9. No 10. # 1023. DOI: 10.3390/rs9101023.
243. *Knitter D., Braun R., Clare L., Nykamp M., Schütt B.* Göbekli Tepe: a brief description of the environmental development in the surroundings of the UNESCO World Heritage Site. *Land*, 2019. V. 8. No 4. # 72. DOI: 10.3390/land8040072.
244. *Koriche S.A., Rientjes T.H.M.* Application of satellite products and hydrological modelling for flood early warning. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2016. V. 93. P. 12–23. DOI: 10.1016/j.pce.2016.03.007.
245. *Korzeniowska K., Pfeifer N., Landtwing S.* Mapping gullies, dunes, lava fields, and

- landslides via surface roughness. *Geomorphology*, 2018. V. 301. P. 53–67. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.10.011.
246. *Kraaijenbrink P.D.A., Meijer S.W., Shea J.M., Pellicciotti F., De Jong S.M., Immerzeel W.W.* Seasonal surface velocities of a Himalayan glacier derived by automated correlation of unmanned aerial vehicle imagery. *Annals of Glaciology*, 2016a. V. 57. No 71. P. 103–113. DOI: 10.3189/2016AoG71A072.
247. *Kraaijenbrink P.D.A., Shea J.M., Litt M., Steiner J.F., Treichler D., Koch I., Immerzeel W.W.* Mapping surface temperatures on a debris-covered glacier with an unmanned aerial vehicle. *Frontiers in Earth Science*, 2018. V. 6. # 64. DOI: 10.3389/feart.2018.00064.
248. *Kraaijenbrink P.D.A., Shea J.M., Pellicciotti F., de Jong S.M., Immerzeel W.W.* Object-based analysis of unmanned aerial vehicle imagery to map and characterise surface features on a debris-covered glacier. *Remote Sensing of Environment*, 2016b. V. 186. P. 581–595. DOI: 10.1016/j.rse.2016.09.013.
249. *Lajczak A., Zarychta R., Walek G.* Changes in the topography of Krakow city centre, Poland, during the last millennium. *Journal of Maps*, 2021. V. 17. DOI: 10.1080/17445647.2020.1823253.
250. *Lane B.A., Pasternack G.B., Dahlke H.E., Sandoval-Solis S.* The role of topographic variability in river channel classification. *Progress in Physical Geography*, 2017. V. 41. No 5. P. 570–600. DOI: 10.1177/0309133317718133.
251. *Lavagnino A.C., Bastos A.C., Amado Filho G.M., de Moraes F.C., Araujo L.S., de Moura R.L.* Geomorphometric seabed classification and potential megahabitat distribution in the Amazon continental margin. *Frontiers in Marine Science*, 2020. V. 7. # 190. DOI: 10.3389/fmars.2020.00190.
252. *Lecours V., Dolan M.F.J., Micallef A., Lucieer V.L.* A review of marine geomorphometry, the quantitative study of the seafloor. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2016a. V. 20. No 8. P. 3207–3244. DOI: 10.5194/hess-20-3207-2016.
253. *Lecours V., Brown C.J., Devillers R., Lucieer V.L., Edinger E.N.* Comparing selections of environmental variables for ecological studies: a focus on terrain attributes. *PLoS ONE*, 2016b. V. 11. No 12. # e0167128. DOI: 10.1371/journal.pone.0167128.
254. *Lecours V., Devillers R., Edinger E.N., Brown C.J., Lucieer V.L.* Influence of artefacts in marine digital terrain models on habitat maps and species distribution models: a multiscale assessment. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2017a. V. 3. No 4. P. 232–246. DOI: 10.1016/j.envsoft.2016.11.027.
255. *Lecours V., Devillers R., Lucieer V.L., Brown C.J.* Artefacts in marine digital terrain models: a multiscale analysis of their impact on the derivation of terrain attributes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2017b. V. 55. No 9. P. 5391–5406. DOI: 10.1109/TGRS.2017.2707303.
256. *Lecours V., Devillers R., Simms A.E., Lucieer V.L., Brown C.J.* Towards a framework for terrain attribute selection in environmental studies. *Environmental Modelling and Software*, 2017c. V. 89. P. 19–30. DOI: 10.1016/j.envsoft.2016.11.027.
257. *Legleiter C.J., Harrison L.R.* Remote sensing of river bathymetry: evaluating a range of sensors, platforms, and algorithms on the Upper Sacramento River, California, USA. *Water Resources Research*, 2019. V. 55, 3. P. 2142–2169. DOI: 10.1029/2018WR023586.
258. *Lei S., Chen H., Bian Z., Liu Z.* Evaluation of integrating topographic wetness index with backscattering coefficient of TerraSAR-X image for soil moisture estimation in a mountainous region. *Ecological Indicators*, 2016. V. 61. No 2. P. 624–633. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.10.013.
259. *Leitão J.P., Moy de Vitry M., Scheidegger A., Rieckermann J.* Assessing the quality of digital elevation models obtained from mini unmanned aerial vehicles for overland flow

- modelling in urban areas. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2016. V. 20. No 4. P. 1637–1653. DOI: 10.5194/hess-20-1637-2016.
260. *Li H., Zhao J.* Evaluation of the newly released worldwide AW3D30 DEM over typical landforms of China using two global DEMs and ICESat/GLAS data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2018. V. 11. No 11. P. 4430–4440. DOI: 10.1109/JSTARS.2018.2874361.
261. *Li S., Xiong L., Tang G., Strobl J.* Deep learning-based approach for landform classification from integrated data sources of digital elevation model and imagery. *Geomorphology*, 2020. V. 354. # 107045. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107045.
262. *Li Y., Li Y., Lu X., Harbor J.* Geomorphometric controls on mountain glacier changes since the Little Ice Age in the Eastern Tien Shan, Central Asia. *Annals of the American Association of Geographers*, 2017. V. 107. No 2. P. 284–298. DOI: 10.1080/24694452.2016.1248552.
263. *Li Z., Zhu Q., Gold C.* *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*. New York: CRC Press, 2005. 323 p.
264. *Liang J., Shen S., Gong J., Liu J., Zhang J.* Embedding user-generated content into oblique airborne photogrammetry-based 3D city model. *International Journal of Geographical Information Science*, 2017. V. 31. No 1. P. 1–16. DOI: 10.1080/13658816.2016.1180389.
265. *Libohova Z., Winzeler H.E., Lee B., Schoeneberger P.J., Datta J., Owens P.R.* Geomorphons: landform and property predictions in a glacial moraine in Indiana landscapes. *Catena*, 2016. V. 142. P. 66–76. DOI: 10.1016/j.catena.2016.01.002.
266. *Lin Y., Prentice S.E., Tran T., Bingham N.L., King J.Y., Chadwick O.A.* Modeling deep soil properties on California grassland hillslopes using LiDAR digital elevation models. *Geoderma Regional*, 2016. V. 7. P. 67–75. DOI: 10.1016/J.GEODRS.2016.01.005.
267. *Lindsay J.B.* Efficient hybrid breaching-filling sink removal methods for flow path enforcement in digital elevation models. *Hydrological Processes*, 2016a. V. 30. No 6. P. 846–857. DOI: 10.1002/hyp.10648.
268. *Lindsay J.B.* The practice of DEM stream burning revisited. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2016b. V. 41. No 5. P. 658–668. DOI: 10.1002/esp.3888.
269. *Lindsay J.B.* Whitebox GAT: a case study in geomorphometric analysis. *Computers and Geosciences*, 2016c. V. 95. P. 75–84. DOI: 10.1016/j.cageo.2016.07.003.
270. *Liu K., Ding H., Tang G., Song C., Liu Y., Jiang L., Zhao B., Gao Y., Ma R.* Large-scale mapping of gully-affected areas: an approach integrating Google Earth images and terrain skeleton information. *Geomorphology*, 2018. V. 314. P. 13–26. DOI: 10.1016/j.geomorph.2018.04.011.
271. *Liu K., Song C., Ke L., Jiang L., Ma R.* Automatic watershed delineation in the Tibetan endorheic basin: a lake-oriented approach based on digital elevation models. *Geomorphology*, 2020a. V. 358. # 107127. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107127.
272. *Liu K., Song C., Ke L., Jiang L., Pan Y., Ma R.* Global open-access DEM performances in Earth's most rugged region High Mountain Asia: a multi-level assessment. *Geomorphology*, 2019. V. 338. P. 16–26. DOI: 10.1016/j.geomorph.2019.04.012.
273. *Liu K., Song C., Wang J., Ke L., Zhu Y., Zhu J., Ma R., Luo Z.* Remote sensing-based modeling of the bathymetry and water storage for channel-type reservoirs worldwide. *Water Resources Research*, 2020b. V. 56. No 11. # e2020WR027147. DOI: 10.1029/2020WR027147.
274. *Liu Y., Gong W., Hu X., Gong J.* Forest type identification with random forest using Sentinel-1A, Sentinel 2A, multi-temporal Landsat-8 and DEM data. *Remote Sensing*, 2018. V. 10. No 6. # 946. DOI: 10.3390/rs10060946.

275. *Loro M., Arce R.M., Ortega E.* Identification of optimal landforms to reduce impacts on the landscape using LiDAR for hosting a new highway. *Environmental Impact Assessment Review*, 2017. V. 66. P. 99–114. DOI: 10.1016/j.eiar.2017.06.006.
276. *Loye A., Jaboyedoff M., Theule J.I., Liébault F.* Headwater sediment dynamics in a debris flow catchment constrained by high-resolution topographic surveys. *Earth Surface Dynamics*, 2016. V. 4. No 2. P. 489–513. DOI: 10.5194/esurf-4-489-2016.
277. *Lu S., Liu B., Hu Y., Fu S., Cao Q., Shi Y., Huang T.* Soil erosion topographic factor (LS): accuracy calculated from different data sources. *Catena*, 2020. V. 187. # 104334. DOI: 10.1016/j.catena.2019.104334.
278. *Lu X., Yang K., Lu Y., Gleason C.J., Smith L.C., Li M.* Small Arctic rivers mapped from Sentinel-2 satellite imagery and ArcticDEM. *Journal of Hydrology*, 2020. V. 584. # 124689. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.124689.
279. *Luo L., Wang X., Guo H., Lasaponara R., Zong X., Masini N., Wang G., Shi P., Khatteli H., Chen F., Tariq S., Shao J., Bachagha N., Yang R., Yao Y.* Airborne and spaceborne remote sensing for archaeological and cultural heritage applications: a review of the century (1907–2017). *Remote Sensing of Environment*, 2019. V. 232. # 111280. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111280.
280. *Luo W., Jasiewicz J., Stepinski T., Wang J., Xu C., Cang X.* Spatial association between dissection density and environmental factors over the entire conterminous United States. *Geophysical Research Letters*, 2016. V. 43. No 2. P. 692–700. DOI: 10.1002/2015GL066941.
281. *Luo W., Liu C.-C.* Innovative landslide susceptibility mapping supported by geomorphon and geographical detector methods. *Landslides*, 2018. V. 15. No 3. P. 465–474. DOI: 10.1007/s10346-017-0893-9.
282. *Luo W., Xu X., Liu W., Liu M., Li Z., Peng T., Xu C., Zhang Y., Zhang R.* UAV based soil moisture remote sensing in a karst mountainous catchment. *Catena*, 2019. V. 174. P. 478–489. DOI: 10.1016/j.catena.2018.11.017.
283. *Lv G., Xiong L., Chen M., Tang G., Sheng Y., Liu X., Song Z., Lu Y., Yu Z., Zhang K., Wang M.* Chinese progress in geomorphometry. *Journal of Geographical Sciences*, 2017. V. 27. No 11. P. 1389–1412. DOI: 10.1007/s11442-017-1442-0.
284. *Ma L., Liu Y., Zhang X., Ye Y., Yin G., Johnson B.A.* Deep learning in remote sensing applications: a meta-analysis and review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2019. V. 152. P. 166–177. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2019.04.015.
285. *Mallalieu J., Carrivick J., Quincey D., Smith M., James W.* An integrated Structure-from-Motion and time-lapse technique for quantifying ice-margin dynamics. *Journal of Glaciology*, 2017. V. 63. No 242. P. 937–949. DOI: 10.1017/jog.2017.48.
286. *Mallet F., Marc V., Douvinet J., Rossello P., Joly D., Ruy S.* Assessing soil water content variation in a small mountainous catchment over different time scales and land covers using geographical variables. *Journal of Hydrology*, 2020. V. 591. # 125593. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125593.
287. *Malone B.P., Jha S.K., Minasny B., McBratney A.B.* Comparing regression-based digital soil mapping and multiple-point geostatistics for the spatial extrapolation of soil data. *Geoderma*, 2016. V. 262. P. 243–253. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.08.037.
288. *Malone B.P., Styc Q., Minasny B., McBratney A.B.* Digital soil mapping of soil carbon at the farm scale: a spatial downscaling approach in consideration of measured and uncertain data. *Geoderma*, 2017. V. 290. P. 91–99. DOI: 10.1016/j.geoderma.2016.12.008.
289. *Marchese F., Bracchi V.A., Lisi G., Basso D., Corselli C., Savini A.* Assessing fine-scale distribution and volume of Mediterranean algal reefs through terrain analysis of multi-

- beam bathymetric data. A case study in the Southern Adriatic continental shelf. *Water*, 2020. V. 12. No 1. # 157. DOI: 10.3390/w12010157.
290. *Marchi L., Comiti F., Crema S., Cavalli M.* Channel control works and sediment connectivity in the European Alps. *Science of the Total Environment*, 2019. V. 668. P. 389–399. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.416.
291. *Marques K., Demattê J., Miller B.A., Lepsch I.* Geomorphometric segmentation of complex slope elements for detailed digital soil mapping in Southeast Brazil. *Geoderma Regional*, 2018. V. 14. # e00175. DOI: 10.1016/j.geodrs.2018.e00175.
292. *Martini L., Picco L., Iroumé A., Cavalli M.* Sediment connectivity changes in an Andean catchment affected by volcanic eruption. *Science of the Total Environment*, 2019. V. 692. P. 1209–1222. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.303.
293. *Masini N., Gizzi F.T., Biscione M., Fundone V., Sedile M., Sileo M., Pecci A., Lacovara B., Lasaponara R.* Medieval archaeology under the canopy with LiDAR. The (re)discovery of a medieval fortified settlement in Southern Italy. *Remote Sensing*, 2018. V. 10. No 10. # 1598. DOI: 10.3390/rs10101598.
294. *Mather A.E., Fyfe R.M., Clason C.C., Stokes M., Mills S., Barrows T.T.* Automated mapping of relict patterned ground: an approach to evaluate morphologically subdued landforms using unmanned-aerial-vehicle and structure-from-motion technologies. *Progress in Physical Geography*, 2019. V. 43. No 2. P. 174–192. DOI: 10.1177/0309133318788966.
295. *Maxwell A.E., Sharma M., Kite J.S., Donaldson K.A., Thompson J.A., Bell M.L., Maynard S.M.* Slope failure prediction using random forest machine learning and LiDAR in an eroded folded mountain belt. *Remote Sensing*, 2020. V. 12. No 3. # 486. DOI: 10.3390/rs12030486.
296. *Maxwell A.E., Warner T.A.* Is high spatial resolution DEM data necessary for mapping palustrine wetlands? *International Journal of Remote Sensing*, 2019. V. 40. No 1. P. 118–137. DOI: 10.1080/01431161.2018.1506184.
297. *McBratney A.B., Minasny B., Stockmann U. (eds.)* *Pedometrics*. Cham: Springer, 2018. 720 p. DOI: 10.1007/978-3-319-63439-5.
298. *Meddens A.J.H., Vierling L.A., Eitel J.U.H., Jennewein J.S., White J.C., Wulder M.A.* Developing 5 m resolution canopy height and digital terrain models from WorldView and ArcticDEM data. *Remote Sensing of Environment*, 2018. V. 218. P. 174–188. DOI: 10.1016/j.rse.2018.09.010.
299. *Medvedev A., Telnova N., Alekseenko N., Koshkarev A., Kuznetchenko P., Asmaryan S., Narykov A.* UAV-derived data application for environmental monitoring of the coastal area of Lake Sevan, Armenia with a changing water level. *Remote Sensing*, 2020. V. 12. No 22. # 3821. DOI: 10.3390/rs12223821.
300. *Meles M.B., Younger S.E., Jackson C.R., Du E., Drover D.* Wetness index based on landscape position and topography (WILT): modifying TWI to reflect landscape position. *Journal of Environmental Management*, 2020. V. 255. # 109863. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109863.
301. *Menna F., Agrafiotis P., Georgopoulos A.* State of the art and applications in archaeological underwater 3D recording and mapping. *Journal of Cultural Heritage*, 2018. V. 33. P. 231–248. DOI: 10.1016/j.culher.2018.02.017.
302. *Mertes J.R., Gulley J.D., Benn D.I., Thompson S.S., Nicholson L.I.* Using structure-from-motion to create glacier DEMs and orthoimagery from historical terrestrial and oblique aerial imagery. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2017. V. 42. No 14. P. 2350–2364. DOI: 10.1002/esp.4188.
303. *Middleton M., Heikkonen J., Nevalainen P., Hyvönen E., Sutinen R.* Machine learning-

- based mapping of micro-topographic earthquake-induced paleo-Pulju moraines and liquefaction spreads from a digital elevation model acquired through laser scanning. *Geomorphology*, 2020. V. 358. # 107099. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107099.
304. *Midgley N.G., Tonkin T.N., Graham D.J., Cook S.J.* Evolution of high-Arctic glacial landforms during deglaciation. *Geomorphology*, 2018. V. 311. P. 63–75. DOI: 10.1016/j.geomorph.2018.03.027.
305. *Migoń P., Jancewicz K., Różycka M., Duszyński F., Kasprzak M.* Large-scale slope remodelling by landslides – geomorphic diversity and geological controls, Kamienne Mts., Central Europe. *Geomorphology*, 2017. V. 289. P. 134–151. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.09.037.
306. *Migoń P., Kasprzak M.* Pathways of geomorphic evolution of sandstone escarpments in the Góry Stołowe tableland (SW Poland) – insights from LiDAR-based high-resolution DEM. *Geomorphology*, 2016. V. 260. P. 51–63. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.08.022.
307. *Mills S.C., Le Brocq A.M., Winter K., Smith M., Hillier J., Ardakova E., Boston C.M., Sugden D., Woodward J.* Testing and application of a model for snow redistribution (Snow_Blow) in the Ellsworth Mountains, Antarctica. *Journal of Glaciology*, 2019. V. 65. No 254. P. 957–970. DOI: 10.1017/jog.2019.70.
308. *Minár J., Evans I.S., Jenčo M.* A comprehensive system of definitions of land surface (topographic) curvatures, with implications for their application in geoscience modelling and prediction. *Earth-Science Reviews*, 2020. V. 211. # 103414. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103414.
309. *Minár J., Krcho J., Evans I.S.* Geomorphometry: quantitative land-surface analysis. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Amsterdam: Elsevier, 2016. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10260-X.
310. *Minasny B., McBratney A.B.* Digital soil mapping: a brief history and some lessons. *Geoderma*, 2016. V. 264. Pt. B. P. 301–311. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.07.017.
311. *Misiuk B., Lecours V., Bell T.* A multiscale approach to mapping seabed sediments. *PLoS ONE*, 2018. V. 13. No 2. # e0193647. DOI: 10.1371/journal.pone.0193647.
312. *Mithan H.T., Hales T.C., Cleall P.J.* Supervised classification of landforms in Arctic mountains. *Permafrost and Periglacial Processes*, 2019. V. 30. No 3. P. 131–145. DOI: 10.1002/ppp.2015.
313. *Mitusov A.V., Burian L., Khrisanov V.R.* Distribution of local landforms at head and end points of gullies on different grid spacing. *Catena*, 2017. V. 159. P. 159–170. DOI: 10.1016/j.catena.2017.08.010.
314. *Mohamed M.A.* Classification of landforms for digital soil mapping in urban areas using LiDAR data derived terrain attributes: a case study from Berlin, Germany. *Land*, 2020. V. 9. No 9. # 319. DOI: 10.3390/land9090319.
315. *Mölg N., Bolch T.* Structure-from-motion using historical aerial images to analyse changes in glacier surface elevation. *Remote Sensing*, 2017. V. 9. No 10. # 1021. DOI: 10.3390/rs9101021.
316. *Mondal A., Khare D., Kundu S., Mukherjee S., Mukhopadhyay A., Mondal S.* Uncertainty of soil erosion modelling using open source high resolution and aggregated DEMs. *Geoscience Frontiers*, 2017. V. 8. No 3. P. 425–436. DOI: 10.1016/j.gsf.2016.03.004.
317. *Moon S., Perron J.T., Martel S.J., Holbrook W.S., St. Clair J.* A model of three-dimensional topographic stresses with implications for bed-rock fractures, surface processes, and landscape evolution. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2017. V. 122. No 4, 823–846. DOI: 10.1002/2016JF004155.
318. *Moore I.D., Grayson R.B., Ladson A.R.* Digital terrain modelling: a review of

- hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological Processes*, 1991. V. 5. No 1. P. 3–30. DOI: 10.1002/hyp.3360050103.
319. *Moreno-Gómez M., Liedl R., Stefan C., Moreno-Gómez M., Liedl R., Stefan C.* A new GIS-based model for karst dolines mapping using LiDAR; application of a multidepth threshold approach in the Yucatan Karst, Mexico. *Remote Sensing*, 2019. V. 11. No 10. # 1147. DOI: 10.3390/rs11101147.
320. *Morlighem M., Williams C.N., Rignot E., An L., Arndt J.E., Bamber J.L., Catania G., Chauché N., Dowdeswell J.A., Dorschel B., Fenty I., Hogan K., Howat I., Hubbard A., Jakobsson M., Jordan T.M., Kjeldsen K.K., Millan R., Mayer L., Mouginot J., Noël B.P.Y., O’Cofaigh C., Palmer S., Rysgaard S., Seroussi H., Siegert M.J., Slabon P., Straneo F., van den Broeke M.R., Weinrebe W., Wood M., Zinglensen K.B.* BedMachine v3: complete bed topography and ocean bathymetry mapping of Greenland from multibeam echo sounding combined with mass conservation. *Geophysical Research Letters*, 2017. V. 44. P. 11051–11061. DOI: 10.1002/2017GL074954.
321. *Moudrý V., Lecours V., Gdulová K., Gábor L., Moudrá L., Kropáček J., Wild J.* On the use of global DEMs in ecological modelling and the accuracy of new bare-earth DEMs. *Ecological Modelling*, 2018. V. 383. P. 3–9. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2018.05.006.
322. *Mulder V.L., Lacoste M., Richer-de-Forges A.C., Arrouays D.* GlobalSoilMap France: high-resolution spatial modelling the soils of France up to two meter depth. *Science of the Total Environment*, 2016a. V. 573. P. 1352–1369. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.07.066.
323. *Mulder V.L., Lacoste M., Richer-de-Forges A.C., Martin M.P., Arrouays D.* National versus global modelling the 3D distribution of soil organic carbon in mainland France. *Geoderma*, 2016b. V. 263. P. 16–34. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.08.035.
324. *Müller R.D., Qin X., Sandwell D.T., Dutkiewicz A., Williams S.E., Flament N., Maus S., Seton M.* The GPLates Portal: cloud-based interactive 3D visualization of global geophysical and geological data in a web browser. *PLoS ONE*, 2016. V. 11. No 3. # e0150883, DOI: 10.1371/journal.pone.0150883.
325. *Muthusamy M., Rivas Casado M., Butler D., Leinster P.* Understanding the effects of digital elevation model resolution in urban fluvial flood modelling. *Journal of Hydrology*, 2021. V. 596. # 126088. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.126088.
326. *Nachappa T.G., Kienberger S., Meena S.R., Hölbling D., Blaschke T.* Comparison and validation of per-pixel and object-based approaches for landslide susceptibility mapping. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2020. V. 11. No 1. P. 572–600. DOI: 10.1080/19475705.2020.1736190.
327. *Nagy-Reis M.B., Estevo C.A., Setz E.Z.F., Ribeiro M.C., Chiarello A.G., Nichols J.D.* Relative importance of anthropogenic landscape characteristics for Neotropical frugivores at multiple scales. *Animal Conservation*, 2017a. V. 20. No 6. P. 520–531. DOI: 10.1111/acv.12346.
328. *Nagy-Reis M.B., Nichols J.D., Chiarello A.G., Ribeiro M.C., Setz E.Z.F.* Landscape use and co-occurrence patterns of neotropical spotted cats. *PLoS ONE*, 2017b. V. 12. No 1. # e0168441. DOI: 10.1371/journal.pone.0168441.
329. *Nevalainen P., Middleton M., Sutinen R., Heikkonen J., Pahikkala T.* Detecting terrain stoniness from airborne laser scanning data. *Remote Sensing*, 2016. V. 8. No 9. # 720. DOI: 10.3390/rs8090720.
330. *Newman D.R., Lindsay J.B., Cockburn J.M.H.* Evaluating metrics of local topographic position for multiscale geomorphometric analysis. *Geomorphology*, 2018. V. 312. P. 40–50. DOI: 10.1016/j.geomorph.2018.04.003.
331. *Nicoll T., Brierley G.* Within-catchment variability in landscape connectivity measures in

- the Garang catchment, upper Yellow River. *Geomorphology*, 2017. V. 277. P. 197–209. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.03.014.
332. *Nicu I.C., Asăndulesei A.* GIS-based evaluation of diagnostic areas in landslide susceptibility analysis of Bahluiet River Basin (Moldavian Plateau, NE Romania): are Neolithic sites in danger? *Geomorphology*, 2018. V. 314. P. 27–41. DOI: 10.1016/j.geomorph.2018.04.010.
333. *Niculiță M.* Automatic landslide length and width estimation based on the geometric processing of the bounding box and the geomorphometric analysis of DEMs. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2016. V. 16. No 8. P. 2021–2030. DOI: 10.5194/nhess-16-2021-2016.
334. *Niculiță M.* Geomorphometric methods for burial mound recognition and extraction from high-resolution LiDAR DEMs. *Sensors*, 2020. V. 20. No 4. # 1192. DOI: 10.3390/s20041192.
335. *Niculiță M., Mărgărint M.C., Cristea A.I.* Using archaeological and geomorphological evidence for the establishment of a relative chronology and evolution pattern for Holocene landslides. *PLoS ONE*, 2019. V. 14. No 12. # e0227335. DOI: 10.1371/journal.pone.0227335.
336. *Noriega-Londoño S., Restrepo-Moreno S.A., Vinasco C., Bermúdez M.A., Min K.* Thermochronologic and geomorphometric constraints on the Cenozoic landscape evolution of the Northern Andes: Northwestern Central Cordillera, Colombia. *Geomorphology*, 2020. V. 351. # 106890. DOI: 10.1016/j.geomorph.2019.106890.
337. *Novaczek E., Devillers R., Edinger E.* Generating higher resolution regional seafloor maps from crowd-sourced bathymetry. *PLoS ONE*, 2019. V. 14. No 6. # e0216792. DOI: 10.1371/journal.pone.0216792.
338. *Nussbaum M., Spiess K., Baltensweiler A., Grob U., Keller A., Greiner L., Schaepman M.E., Papritz A.* Evaluation of digital soil mapping approaches with large sets of environmental covariates. *Soil*, 2018. V. 4. No 1. P. 1–22. DOI: 10.5194/soil-4-1-2018.
339. *O'Loughlin F.E., Paiv R.C.D., Durand M., Alsdorf D.E., Bates P.D.* A multi-sensor approach towards a global vegetation corrected SRTM DEM product. *Remote Sensing of Environment*, 2016. V. 182. P. 49–59. DOI: 10.1016/j.rse.2016.04.018.
340. *O'Neil G.L., Goodall J.L., Watson L.T.* Evaluating the potential for site-specific modification of LiDAR DEM derivatives to improve environmental planning-scale wetland identification using Random Forest classification. *Journal of Hydrology*, 2018. V. 559. P. 192–208. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.02.009.
341. *O'Neil G.L., Saby L., Band L.E., Goodall J.L.* Effects of LiDAR DEM smoothing and conditioning techniques on a topography-based wetland identification model. *Water Resources Research*, 2019. V. 55. No 5. P. 4343–4363. DOI: 10.1029/2019WR024784.
342. *O'Reilly D., Evans D., Shewan L.* Airborne LiDAR prospection at Lovea, an Iron Age moated settlement in central Cambodia. *Antiquity*, 2017. V. 91. No 358. P. 947–965. DOI: 10.15184/aqy.2017.69.
343. *Orti M.V., Negussie K., Corral-Pazos-de-Provens E., Höfle B., Bubenzer O.* Comparison of three algorithms for the evaluation of TanDEM-X data for gully detection in Krumhuk Farm (Namibia). *Remote Sensing*, 2019. V. 11. No 11. # 1327. DOI: 10.3390/rs11111327.
344. *Owono F.M., Ntamak-Nida M.-J., Dauteuil O., Guillocheau F., Njom B.* Morphology and long-term landscape evolution of the South African plateau in South Namibia. *Catena*, 2016. V. 142. P. 47–65. DOI: 10.1016/j.catena.2016.02.012.
345. *Pacheco-Ruiz R., Adams J., Pedrotti F.* 4D modelling of low visibility underwater archaeological excavations using multi-source photogrammetry in the Bulgarian Black

- Sea. *Journal of Archaeological Science*, 2018. V. 100. P. 120–129. DOI: 10.1016/j.jas.2018.10.005.
346. *Padarian J., Minasny B., McBratney A.B.* Using deep learning for digital soil mapping. *Soil*, 2019. V. 5. No 1. P. 79–89. DOI: 10.5194/soil-5-79-2019.
347. *Pánek T., Břežný M., Kapustová V., Lenart J., Chalupa V.* Large landslides and deep-seated gravitational slope deformations in the Czech Flysch Carpathians: new LiDAR-based inventory. *Geomorphology*, 2019. V. 346. # 106852. DOI: 10.1016/j.geomorph.2019.106852.
348. *Papageorgaki I., Nalbantis I.* Classification of drainage basins based on readily available information. *Water Resources Management*, 2016. V. 30. No 15. P. 5559–5574. DOI: 10.1007/s11269-016-1410-y.
349. *Papworth H., Ford A., Welham K., Thackray D.* Assessing 3D metric data of digital surface models for extracting archaeological data from archive stereo-aerial photographs. *Journal of Archaeological Science*, 2016. V. 72. P. 85–104. DOI: 10.1016/j.jas.2016.05.005.
350. *Patton N.R., Ellerton D., Shulmeister J.* High-resolution remapping of the coastal dune fields of south East Queensland, Australia: a morphometric approach. *Journal of Maps*, 2019. V. 15. No 2. P. 578–589. DOI: 10.1080/17445647.2019.1642246.
351. *Patton N.R., Lohse K.A., Godsey S.E., Crosby B.T., Seyfried M.S.* Predicting soil thickness on soil mantled hillslopes. *Nature Communications*, 2018. V. 9. # 3329. DOI: 10.1038/s41467-018-05743-y.
352. *Peckham S.D., Stoica M., Jafarov E., Endalamaw A., Bolton W.R.* Reproducible, component-based modeling with TopoFlow, a spatial hydrologic modeling toolkit. *Earth and Space Science*, 2017. V. 4. No 6. P. 377–394. DOI: 10.1002/2016ea000237.
353. *Pedersen G.B.M.* Semi-automatic classification of glaciovolcanic landforms: an object-based mapping approach based on geomorphometry. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2016. V. 311. P. 29–40. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2015.12.015.
354. *Pedersen G.B.M., Grosse P., Gudmundsson M.T.* Morphometry of glaciovolcanic edifices from Iceland: types and evolution. *Geomorphology*, 2020. V. 370. # 107334. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107334.
355. *Pejović M., Nikolić M., Heuvelink G.B.M., Hengl T., Kilibarda M., Bajat B.* Sparse regression interaction models for spatial prediction of soil properties in 3D. *Computers and Geosciences*, 2018. V. 118. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.cageo.2018.05.008.
356. *Penížek V., Zádorová T., Kodešová R., Vaněk A.* Influence of elevation data resolution on spatial prediction of colluvial soils in a Luvisol region. *PLoS ONE*, 2016. V. 11. No 11. # e0165699. DOI: 10.1371/journal.pone.0165699.
357. *Petrasova A., Harmon B., Petras V., Tabrizian P., Mitasova H.* *Tangible Modeling with Open Source GIS*. 2nd ed. Cham: Springer, 2018. 202 p. DOI: 10.1007/978-3-319-89303-7.
358. *Piccini C., Marchetti A., Riviuccio R., Napoli R.* Multinomial logistic regression with soil diagnostic features and land surface parameters for soil mapping of Latium (Central Italy). *Geoderma*, 2019. V. 352. P. 385–394. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.09.037.
359. *Piermattei L., Carturan L., de Blasi F., Tarolli P., Dalla Fontana G., Vettore A., Pfeifer N.* Suitability of ground-based SfM–MVS for monitoring glacial and periglacial processes. *Earth Surface Dynamics*, 2016. V. 4. No 2. P. 425–443. DOI: 10.5194/esurf-4-425-2016.
360. *Pijl A., Bailly J.-S., Feurer D., El Maaoui M.A., Boussema M.R., Tarolli P.* TERRA: Terrain Extraction from elevation Rasters through Repetitive Anisotropic filtering. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2020. V. 84. # 101977. DOI: 10.1016/J.JAG.2019.101977.

361. *Pike R.J.* Geomorphometry – diversity in quantitative surface analysis. *Progress in Physical Geography*, 2000. V. 24. No 1. P. 1–20. DOI: 10.1177/030913330002400101.
362. *Pike R.J.* Digital terrain modeling and industrial surface metrology: converging realms. *Professional Geographer*, 2001. V. 53. No 2. P. 263–274. DOI: 10.1111/0033-0124.00284.
363. *Podgórski J., Kinnard C., Pełlicki M., Urrutia R.* Performance assessment of TanDEM-X DEM for mountain glacier elevation change detection. *Remote Sensing*, 2019. V. 11. No 2. # 187. DOI: 10.3390/rs11020187.
364. *Polidori L., El Hage M.* Digital elevation model quality assessment methods: a critical review. *Remote Sensing*, 2020. V. 12. No 21. # 3522. DOI: 10.3390/rs12213522.
365. *Popa C.N., Knitter D.* From environment to landscape. Reconstructing environment perception using numerical data. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 2016. V. 23. No 4. P. 1285–1306. DOI: 10.1007/s10816-015-9264-9.
366. *Porter C., Morin P., Howat I., Noh M.-J., Bates B., Peterman K., Keeseey S., Schlenk M., Gardiner J., Tomko K., Willis M., Kelleher C., Cloutier M., Husby E., Foga S., Nakamura H., Platson M., Wethington M. Jr., Williamson C., Bauer G., Enos J., Arnold G., Kramer W., Becker P., Doshi A., D'Souza C., Cummens P., Laurier F., Bojesen M.* ArcticDEM. Harvard Dataverse, 2018. DOI: 10.7910/DVN/OHHUKH.
367. *Pourtaghi Z.S., Pourghasemi H.R., Aretano R., Semeraro T.* Investigation of general indicators influencing on forest fire and its susceptibility modelling using different data mining techniques. *Ecological Indicators*, 2016. V. 64. P. 72–84. DOI: 10.1016/j.ecoind.2015.12.030.
368. *Puliti S., Hauglin M., Breidenbach J., Montesano P., Neigh C.S.R., Rahlf J., Solberg S., Klingenberg T.F., Astrup R.* Modelling above-ground biomass stock over Norway using national forest inventory data with ArcticDEM and Sentinel-2 data. *Remote Sensing of Environment*, 2020. V. 236. # 111501. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111501.
369. *Purinton B., Bookhagen B.* Validation of digital elevation models (DEMs) and comparison of geomorphic metrics on the southern Central Andean Plateau. *Earth Surface Dynamics*, 2017. V. 5. No 2. P. 211–237. DOI: 10.5194/esurf-5-211-2017.
370. *Qin C.-Z., Wu X.-W., Jiang J.-C., Zhu A.-X.* Case-based formalization and reasoning method for knowledge in digital terrain analysis: application to extracting drainage networks. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2016. V. 20. No 8. P. 3379–3392. DOI: 10.5194/hess-20-3379-2016.
371. *Qin C.-Z., Ai B.-B., Zhu A.-X., Liu J.-Z.* An efficient method for applying a differential equation to deriving the spatial distribution of specific catchment area from gridded digital elevation models. *Computers and Geosciences*, 2017. V. 100. P. 94–102. DOI: 10.1016/j.cageo.2016.12.009.
372. *Qin L., Xu W., Tian Y., Chen B., Wang S.* A river channel extraction method for urban environments based on terrain transition lines. *Water Resources Research*, 2018. V. 54. No 7. P. 4887–4900. DOI: 10.1029/2018WR023095.
373. *Queen C.W., Nelson F.E., Gunn G.E., Nyland K.E.* A characteristic periglacial landform: automated recognition and delineation of cryoplanation terraces in eastern Beringia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 2021. V. 32, No 1. P. 46–35. DOI: 10.1002/ppp.2083.
374. *Ragetti S., Bolch T., Pellicciotti F.* Heterogeneous glacier thinning patterns over the last 40 years in Langtang Himal, Nepal. *Cryosphere*, 2016. V. 10. No 5. P. 2075–2097. DOI: 10.5194/tc-10-2075-2016.
375. *Rahmati O., Ghorbanzadeh O., Teimurian T., Mohammadi F., Tiefenbacher J.P., Falah F., Pirasteh S., Ngo P.-T.T., Tien Bui D.* Spatial modeling of snow avalanche using

- machine learning models and geo-environmental factors: comparison of effectiveness in two mountain regions. *Remote Sensing*, 2019. V. 11. No 24. # 2995. DOI: 10.3390/rs11242995.
376. *Rahmati O., Pourghasemi H.R., Melesse A.M.* Application of GIS-based data driven random forest and maximum entropy models for groundwater potential mapping: a case study at Mehran Region, Iran. *Catena*, 2016. V. 137. P. 360–372. DOI: 10.1016/j.catena.2015.10.010.
377. *Ramcharan A., Hengl T., T Nauman., Brungard C., Waltman S., Wills S., Thompson J.* Soil property and class maps of the conterminous United States at 100-meter spatial resolution. *Soil Science Society of America Journal*, 2018. V. 82. No 1. P. 186–201. DOI: 10.2136/sssaj2017.04.0122.
378. *Ren Z., Zielke O., Yu J.* Active tectonics in 4D high-resolution. *Journal of Structural Geology*, 2018. V. 117. P. 264–271. DOI: 10.1016/j.jsg.2018.09.015.
379. *Richards-Rissetto H.* What can GIS + 3D mean for landscape archaeology? *Journal of Archaeological Science*, 2017. V. 84. P. 10–21. DOI: 10.1016/j.jas.2017.05.005.
380. *Riza S., Sekine M., Kanno A., Yamamoto K., Imai T., Higuchi T.* Modeling soil landscapes and soil textures using hyperscale terrain attributes. *Geoderma*, 2021. V. 402. # 115177. DOI: 10.1016/j.geoderma.2021.115177.
381. *Rizzoli P., Martone M., Gonzalez C., Wecklich C., Borla Tridon D., Bräutigam B., Bachmann M., Schulze D., Fritz T., Huber M., Wessel B., Krieger G., Zink M., Moreira A.* Generation and performance assessment of the global TanDEM-X digital elevation model. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2017. V. 132. P. 119–139. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2017.08.008.
382. *Robbins S.J., Watters W.A., Chappelow J.E., Bray V.J., Daubar I.J., Craddock R.A., Beyer R.A., Landis M.E., Ostrach L.R., Tornabene L., Riggs J.D., Weaver B.P.* Measuring impact crater depth throughout the Solar system. *Meteoritics and Planetary Science*, 2017. V. 53. No 4. P. 583–637. DOI: 10.1111/maps.12956.
383. *Romero B.E., Clarke K.C.* Exploring uncertainties in terrain feature extraction across multi-scale, multi-feature, and multi-method approaches for variable terrain. *Cartography and Geographic Information Science*, 2018. V. 45. No 5. P. 381–399. DOI: 10.1080/15230406.2017.1335235.
384. *Rossini M., Di Mauro B., Garzonio R., Baccolo G., Cavallini G., Mattavelli M., De Amicis M., Colombo R.* Rapid melting dynamics of an alpine glacier with repeated UAV photogrammetry. *Geomorphology*, 2018. V. 304. P. 159–172. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.12.039.
385. *Rotnicka J., Dłużewski M., Dąbski M., Rodzewicz M., Włodarski W., Zmarz A.* Accuracy of the UAV-based DEM of beach–foredune topography in relation to selected morphometric variables, land cover, and multitemporal sediment budget. *Estuaries and Coasts*, 2020. V. 43. No 8. P. 1939–1955. DOI: 10.1007/s12237-020-00752-x.
386. *Roudier P., Malone B.P., Hedley C.B., Minasny B., McBratney A.B.* Comparison of regression methods for spatial downscaling of soil organic carbon stocks maps. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2017. V. 142. Pt. A. P. 91–100. DOI: 10.1016/j.compag.2017.08.021.
387. *Różycka M., Jancewicz K., Migoń P., Szymanowski M.* Tectonic versus rock-controlled mountain fronts – geomorphometric and geostatistical approach (Sowie Mts., Central Europe). *Geomorphology*, 2021. V. 373. # 107485. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107485.
388. *Runyon K.D., Bridges N.T., Ayoub F., Newman C.E., Quade J.J.* An integrated model for dune morphology and sand fluxes on Mars. *Earth and Planetary Science Letters*, 2017. V. 457. P. 204–212. DOI: 10.1016/J.EPSL.2016.09.054.

389. *Sam L., Bhardwaj A., Kumar R., Buchroithner M.F., Martín-Torres F.J.* Heterogeneity in topographic control on velocities of Western Himalayan glaciers. *Scientific Reports*, 2018. V. 8. # 12843. DOI: 10.1038/s41598-018-31310-y.
390. *Samsonov T., Koshel S., Walther D., Jenny B.* Automated placement of supplementary contour lines. *International Journal of Geographical Information Science*, 2019. V. 33. No 10. P. 2072–2093. DOI: 10.1080/13658816.2019.1610965.
391. *Sărășan A., Józsa E., Ardelean A.C., Drăguț L.* Sensitivity of geomorphons to mapping specific landforms from a digital elevation model: a case study of drumlins. *Area*, 2019. V. 51. No 2. P. 257–267. DOI: 10.1111/area.12451.
392. *Sarmiento E.C., Giasson E., Webster E.J., Flores C.A., Hasenack H.* Regional disaggregating conventional soil maps with limited descriptive data: a knowledge-based approach in Serra Gaúcha, Brazil. *Geoderma Regional*, 2017. V. 8. P. 12–23. DOI: 10.1016/j.geodrs.2016.12.004.
393. *Šašak J., Gallay M., Kaňuk J., Hofierka J., Minár J.* Combined use of terrestrial laser scanning and UAV photogrammetry in mapping alpine terrain. *Remote Sensing*, 2019. V. 11. No 18. # 2154. DOI: 10.3390/rs11182154.
394. *Scholten T., Goebes P., Kühn P., Seitz S., Assmann T., Bauhus J., Bruelheide H., Buscot F., Erfmeier A., Fischer M., Härdtle W., He J.-S., Ma K., Niklaus P.A., Scherer-Lorenzen M., Schmid B., Shi X., Song Z., von Oheimb G., Wirth C., Wubet T., Schmidt K.* On the combined effect of soil fertility and topography on tree growth in subtropical forest ecosystems – a study from SE China. *Journal of Plant Ecology*, 2017. V. 10. No 1. P. 111–127. DOI: 10.1093/jpe/rtw065.
395. *Schumann G.J.-P., Bates P.D.* The need for a high-accuracy, open-access global DEM. *Frontiers in Earth Science*, 2018. V. 6. # 225. DOI: 10.3389/feart.2018.00225.
396. *Seier G., Kellerer-Pirklbauer A., Wecht M., Hirschmann S., Kaufmann V., Lieb G.K., Sulzer W.* UAS-based change detection of the glacial and proglacial transition zone at Pasterze Glacier, Austria. *Remote Sensing*, 2017. V. 9. No 6. # 549. DOI: 10.3390/rs9060549.
397. *Sevara C., Verhoeven G., Doneus M., Draganits E.* Surfaces from the visual past: recovering high-resolution terrain data from historic aerial imagery for multitemporal landscape analysis. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 2018. V. 25. No 2. P. 611–642. DOI: 10.1007/s10816-017-9348-9.
398. *Shary P.A.* Land surface in gravity points classification by a complete system of curvatures. *Mathematical Geology*, 1995. V. 27. No 3. P. 373–390. DOI: 10.1007/BF 02084608.
399. *Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V.* Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma*, 2002. V. 107. No 1/2. P. 1–32. DOI: 10.1016/S0016-7061(01)00136-7.
400. *Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V.* Predictive modeling of slope deposits and comparisons of two small areas in Northern Germany. *Geomorphology*, 2017. V. 290. P. 222–235. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.04.018.
401. *Shen Q., Wang Y., Wang X., Liu X., Zhang X., Zhang S.* Comparing interpolation methods to predict soil total phosphorus in the Mollisol area of Northeast China. *Catena*, 2019. V. 174. P. 59–72. DOI: 10.1016/j.catena.2018.10.052.
402. *Shi W., Deng S., Xu W.* Extraction of multi-scale landslide morphological features based on local G_i^* using airborne LiDAR-derived DEM. *Geomorphology*, 2018. V. 303. P. 229–242. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.12.005.
403. *Shi Y., Katzschner L., Ng E.* Modelling the fine-scale spatiotemporal pattern of urban heat island effect using land use regression approach in a megacity. *Science of the Total Environment*, 2018. V. 618. P. 891–904. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.252.

404. *Shi Y., Lau K.K.-L., Ng E.* Incorporating wind availability into land use regression modelling of air quality in mountainous high-density urban environment. *Environmental Research*, 2017. V. 157. P. 17–29. DOI: 10.1016/j.envres.2017.05.007.
405. *Silva O.L., Bezerra F.H.R., Maia R.P., Cazarin C.L.* Karst landforms revealed at various scales using LiDAR and UAV in semi-arid Brazil: consideration on karstification processes and methodological constraints. *Geomorphology*, 2017. V. 295. P. 611–630. DOI: 10.1016/J.GEOMORPH.2017.07.025.
406. *Silva S.H.G., de Menezes M.D., Owens P.R., Curi N.* Retrieving pedologist’s mental model from existing soil map and comparing data mining tools for refining a larger area map under similar environmental conditions in Southeastern Brazil. *Geoderma*, 2016. V. 267. P. 65–77. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.12.025.
407. *Singh K.K., Frazier A.E.* A meta-analysis and review of unmanned aircraft system (UAS) imagery for terrestrial applications. *International Journal of Remote Sensing*, 2018. V. 39. No 15/16. P. 5078–5098. DOI: 10.1080/01431161.2017.1420941.
408. *Sîrbu F., Drăguț L., Oguchi T., Hayakawa Y., Micu M.* Scaling land-surface variables for landslide detection. *Progress in Earth and Planetary Science*, 2019. V. 6. # 44. DOI: 10.1186/s40645-019-0290-1.
409. *Skrypitsyna T.N., Florinsky I.V., Beloborodov D.E., Gaydalenok O.V.* Mud volcanism at the Taman Peninsula: multiscale analysis of remote sensing and morphometric data. *Remote Sensing*, 2020. V. 12. No 22. # 3763. DOI: 10.3390/rs12223763.
410. *Smith M.W., Carrivick J.L., Quincey D.J.* Structure from motion photogrammetry in physical geography. *Progress in Physical Geography*, 2016. V. 40. No 2. P. 247–275. DOI: 10.1177/0309133315615805.
411. *Sofia G.* Combining geomorphometry, feature extraction techniques and earth-surface processes research: the way forward. *Geomorphology*, 2020. V. 355. # 107055. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107055.
412. *Song X.-D., Brus D.J., Liu F., Li D.-C., Zhao Y.-G., Yang J.-L., Zhang G.-L.* Mapping soil organic carbon content by geographically weighted regression: a case study in the Heihe River Basin, China. *Geoderma*, 2016. V. 261. P. 11–22. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.06.024.
413. *Sowers D.C., Masetti G., Mayer L.A., Johnson P., Gardner J.V., Armstrong A.A.* Standardized geomorphic classification of seafloor within the United States Atlantic canyons and continental margin. *Frontiers in Marine Science*, 2020. V. 7. No 9. DOI: 10.3389/fmars.2020.00009.
414. *Strobl P.* The new Copernicus digital elevation model. *GSICS Quarterly*, 2020. V. 14. No 1. P. 17–18. DOI: 10.25923/enp8-6w06.
415. *Stumpf F., Schmidt K., Goebes P., Behrens T., Schönbrodt-Stittc S., Wadoux A., Wei X., Scholten T.* Uncertainty-guided sampling to improve digital soil maps. *Catena*, 2017. V. 153. P. 30–38. DOI: 10.1016/j.catena.2017.01.033.
416. *Sun X.-L., Wang H.-L., Zhao Y.-G., Zhang C., Zhang G.-L.* Digital soil mapping based on wavelet decomposed components of environmental covariates. *Geoderma*, 2017. V. 303. P. 118–132. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.05.017.
417. *Szymanowski M., Jancewicz K., Różycka M., Migoń P.* Geomorphometry-based detection of enhanced erosional signal in polygenetic medium-altitude mountain relief and its tectonic interpretation, the Sudetes (Central Europe). *Geomorphology*, 2019. V. 341. P. 115–129. DOI: 10.1016/j.geomorph.2019.05.022.
418. *Tabrizian P., Baran P.K., van Berkel D., Mitsova H., Meentemeyer R.* Modeling restorative potential of urban environments by coupling viewscape analysis of lidar data with experiments in immersive virtual environments. *Landscape and Urban Planning*, 2020. V. 195. # 103704. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2019.103704.

419. *Tadono T., Nagai H., Ishida H., Oda F., Naito S., Minakawa K., Iwamoto H.* Generation of the 30 m-mesh global digital surface model by ALOS PRISM. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2016. V. 41. Pt. B4. P. 157–162. DOI: 10.5194/isprsarchives-XLI-B4-157-2016.
420. *Tanyas H., Rossi M., Alvioli M., van Westena C.J., Marchesini I.* A global slope unit-based method for the near real-time prediction of earthquake-induced landslides. *Geomorphology*, 2019. V. 327. P. 126–146. DOI: 10.1016/j.geomorph.2018.10.022.
421. *Tapete D., Banks V., Jones L., Kirkham M., Garton D.* Contextualising archaeological models with geological, airborne and terrestrial LiDAR data: the Ice Age landscape in Farndon Fields, Nottinghamshire, UK. *Journal of Archaeological Science*, 2017. V. 81. P. 31–48. DOI: 10.1016/j.jas.2017.03.007.
422. *Tarolli P., Sofia G.* Human topographic signatures and derived geomorphic processes across landscapes. *Geomorphology*, 2016. V. 255. P. 140–161. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.12.007.
423. *Tarolli P., Cao W., Sofia G., Evans D., Ellis E.C.* From features to fingerprints: a general diagnostic framework for anthropogenic geomorphology. *Progress in Physical Geography*, 2019. V. 43. No 1. P. 95–128. DOI: 10.1177/0309133318825284.
424. *Tarolli P., Cavalli M., Masin R.* High-resolution morphologic characterization of conservation agriculture. *Catena*, 2019. V. 172. P. 846–856. DOI: 10.1016/j.catena.2018.08.026.
425. *Tesch P., Reece R.S., Pope M.C., Markello J.R.* Quantification of architectural variability and controls in an Upper Oligocene to Lower Miocene carbonate ramp, Browse Basin, Australia. *Marine and Petroleum Geology*, 2018. V. 91. P. 432–454. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2018.01.022.
426. *Theodoratos N., Seybold H., Kirchner J.W.* Scaling and similarity of a stream–power incision and linear diffusion landscape evolution model. *Earth Surface Dynamics*, 2018. V. 6. No 3. P. 79–808. DOI: 10.5194/esurf-6-779-2018.
427. *Thistlewood H.M.A., Gill P., Beers E.H., Shearer P.W., Walsh D.B., Rozema B.M., Acheampong S., Castagnoli S., Yee W.L., Smytheman P., Whitener A.B.* Spatial analysis of seasonal dynamics and overwintering of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in the Okanagan–Columbia Basin, 2010–2014. *Environmental Entomology*, 2018. V. 47. No 2. P. 221–232. DOI: 10.1093/ee/nvx178.
428. *Thompson S., Benn D., Mertes J., Luckman A.* Stagnation and mass loss on a Himalayan debris-covered glacier: processes, patterns and rates. *Journal of Glaciology*, 2016. V. 62. No 233. P. 467–485. DOI: 10.1017/jog.2016.37.
429. *Thornton J.M., Mariethoz G., Brunner P.* A 3D geological model of a structurally complex Alpine region as a basis for interdisciplinary research. *Scientific Data*, 2018. V. 5. # 180238. DOI: 10.1038/sdata.2018.238.
430. *Tien Bui D., Shirzadi A., Shahabi H., Chapi K., Omidavr E., Pham B.T., Asl D.T., Khaledian H., Pradhan B., Panahi M., Ahmad B.B., Rahmani H., Gróf G., Lee S.* A novel ensemble artificial intelligence approach for gully erosion mapping in a semi-arid watershed (Iran). *Sensors*, 2019. V. 19. No 11. # 2444. DOI: 10.3390/s19112444.
431. *Tomczyk A.M., Ewertowski M.W.* Surface morphological types and spatial distribution of fan-shaped landforms in the periglacial high-Arctic environment of Central Spitsbergen, Svalbard. *Journal of Maps*, 2017. V. 13. No 2. P. 239–251. DOI: 10.1080/17445647.2017.1294543.
432. *Tong R., Purser A., Guinan J., Unnithan V., Yu J., Zhang C.* Quantifying relationships between abundances of cold-water coral *Lophelia pertusa* and terrain features: a case study on the Norwegian margin. *Continental Shelf Research*, 2016. V. 116. P. 13–26. DOI: 10.1016/j.csr.2016.01.012.

433. *Tonkin T.N., Midgley N.G., Cook S.J., Graham D.J.* Ice-cored moraine degradation mapped and quantified using an unmanned aerial vehicle: a case study from a polythermal glacier in Svalbard. *Geomorphology*, 2016. V. 258. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.12.019.
434. *Toso C., Madricardo F., Molinaroli E., Fogarin S., Kruss A., Petrizzo A., Pizzeghello N.M., Sinapi L., Trincardi F.* Tidal inlet seafloor changes induced by recently built hard structures. *PLoS ONE*, 2019. V. 14. No 10. # e0223240. DOI: 10.1371/journal.pone.0223240.
435. *Toth C., Józków G.* Remote sensing platforms and sensors: a survey. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2016. V. 115. P. 22–36. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2015.10.004.
436. *Tozer B., Sandwell D.T., Smith W.H.F., Olson C., Beale J.R., Wessel P.* Global bathymetry and topography at 15 arc seconds: SRTM15+. *Earth and Space Science*, 2019. V. 6. No 10. P. 1847–1864. DOI: 10.1029/2019EA000658.
437. *Trevisani S., Cavalli M.* Topography-based flow-directional roughness: potential and challenges. *Earth Surface Dynamics*, 2016. V. 4. No 2. P. 343–358. DOI: 10.5194/esurf-4-343-2016.
438. *Vajedian S., Motagh M.* Extracting sinkhole features from time-series of TerraSAR-X/TanDEM-X data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2019. V. 150. P. 274–284. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2019.02.016.
439. *Valentine A.P., Kalnins L.M.* An introduction to learning algorithms and potential applications in geomorphometry and Earth surface dynamics. *Earth Surface Dynamics*, 2016. V. 4. P. 445–460. DOI: 10.5194/esurf-4-445-2016.
440. *Valeriano M.M., Rossetti D.F.* Regionalization of local geomorphometric derivations for geological mapping in the sedimentary domain of central Amazônia. *Computers and Geosciences*, 2017. V. 100. P. 46–56. DOI: 10.1016/j.cageo.2016.12.002.
441. *Van der Sluijs J., Kokelj S.V., Fraser R.H., Tunnicliffe J., Lacelle D.* Permafrost terrain dynamics and infrastructure impacts revealed by UAV photogrammetry and thermal imaging. *Remote Sensing*, 2018. V. 10. No 11. # 1734. DOI: 10.3390/rs10111734.
442. *Van Nieuwenhuizen N., Lindsay J.B., DeVries B.* Automated mapping of transportation embankments in fine-resolution LiDAR DEMs. *Remote Sensing*, 2021. V. 13. No 7. # 1308. DOI: 10.3390/rs13071308.
443. *Vassilaki D.I., Stamos A.A.* TanDEM-X DEM: comparative performance review employing LIDAR data and DSMs. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2020. V. 160. P. 33–50. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2019.11.015.
444. *Vaz D.A., Silvestro S., Sarmiento P.T.K., Cardinale M.* Migrating meter-scale bedforms on Martian dark dunes: are terrestrial aeolian ripples good analogs? *Aeolian Research*, 2017. V. 26. P. 101–116. DOI: 10.1016/j.aeolia.2016.08.003.
445. *Veitinger J., Purves R.S., Sovilla B.* Potential slab avalanche release area identification from estimated winter terrain: a multi-scale, fuzzy logic approach. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2016. V. 16. No 10. P. 2211–2225. DOI: 10.5194/nhess-16-2211-2016.
446. *Vermeulen D., van Niekerk A.* Machine learning performance for predicting soil salinity using different combinations of geomorphometric covariates. *Geoderma*, 2017. V. 299. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.03.013.
447. *Villaça C.V.N., Crósta A.P., Grohmann C.H.* Morphometric analysis of Pluto’s impact craters. *Remote Sensing*, 2021. V. 13. No 3. # 377. DOI: 10.3390/rs13030377.
448. *Viloria J.A., Viloria-Botello A., Pineda M.C., Valera A.* Digital modelling of landscape and soil in a mountainous region: a neuro-fuzzy approach. *Geomorphology*, 2016. V. 253. P. 199–207. DOI: 10.1016/J.GEOMORPH.2015.10.007.

449. *Wagnon P., Shea J.M., Immerzeel W.W., Kraaijenbrink P., Shrestha D., Soruco A., Arnaud Y., Brun F., Berthier E., Sherpa S.F.* Reduced melt on debris-covered glaciers: investigations from Changri Nup Glacier, Nepal. *Cryosphere*, 2016. V. 10. No 4. P. 1845–1858. DOI: 10.5194/tc-10-1845-2016.
450. *Vincent S., Lemerrier B., Berthier L., Walter C.* Spatial disaggregation of complex soil map units at the regional scale based on soil-landscape relationships. *Geoderma*, 2018. V. 311. P. 130–142. DOI: 10.1016/j.geoderma.2016.06.006.
451. *Waagen J.* New technology and archaeological practice. Improving the primary archaeological recording process in excavation by means of UAS photogrammetry. *Journal of Archaeological Science*, 2019. V. 101. P. 11–20. DOI: 10.1016/j.jas.2018.10.011.
452. *Wadoux A.M.J.-C.* Using deep learning for multivariate mapping of soil with quantified uncertainty. *Geoderma*, 2019. V. 351. P. 59–70. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.05.012.
453. *Wadoux A.M.J.-C., Brus D.J., Heuvelink G.B.M.* Accounting for non-stationary variance in geostatistical mapping of soil properties. *Geoderma*, 2018. V. 324. P. 138–147. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.03.010.
454. *Wadoux A.M.J.-C., Padarian J., Minasny B.* Multi-source data integration for soil mapping using deep learning. *Soil*, 2019. V. 5. No 1. P. 107–119. DOI: 10.5194/soil-5-107-2019.
455. *Walker S.J., Wilkinson S.N., van Dijk A.I.J.M., Hairsine P.B.* A multi-resolution method to map and identify locations of future gully and channel incision. *Geomorphology*, 2020. V. 358. # 107115. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107115.
456. *Wang J., Cheng W., Zhou C., Zheng X.* Automatic mapping of lunar landforms using DEM-derived geomorphometric parameters. *Journal of Geographical Sciences*, 2017. V. 27. No 11. P. 1413–1427. DOI: 10.1007/s11442-017-1443-z.
457. *Wang J., Kreslavsky M.A., Liu J., Head J.W., Zhang K., Kolenkina M.M., Zhang L.* Quantitative characterization of impact crater materials on the Moon: changes in topographic roughness and thermophysical properties with age. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 2020. V. 125. No 10. # e2019JE006091. DOI: 10.1029/2019JE 006091.
458. *Wang S., Hu Q., Wang F., Ai M., Zhong R.* A microtopographic feature analysis-based LiDAR data processing approach for the identification of Chu tombs. *Remote Sensing*, 2017. V. 9. No 9. # 880. DOI: 10.3390/rs9090880.
459. *Watson C.S., Quincey D.J., Smith M., Carrivick J., Rowan A.V., James M.* Quantifying ice cliff evolution with multi-temporal point clouds on the debris-covered Khumbu Glacier, Nepal. *Journal of Glaciology*, 2017. V. 63. No 241. P. 823–837. DOI: 10.1017/jog.2017.47.
460. *Wei H., Zhou G., Fu S.* Efficient Priority-Flood depression filling in raster digital elevation models. *International Journal of Digital Earth*, 2018. V. 12. No 4. P. 415–427. DOI: 10.1080/17538947.2018.1429503.
461. *Westoby M.J., Dunning S.A., Woodward J., Hein A.S., Marrero S.M., Winter K., Sugden D.E.* Interannual surface evolution of an Antarctic blue-ice moraine using multi-temporal DEMs. *Earth Surface Dynamics*, 2016. V. 4. No 2. P. 515–529. DOI: 10.5194/esurf-4-515-2016.
462. *Wiekenkamp I., Huisman J.A., Bogaen H.R., Lin H.S., Vereecken H.* Spatial and temporal occurrence of preferential flow in a forested headwater catchment. *Journal of Hydrology*, 2016. V. 534. P. 139–149. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.12.050.
463. *Wigmore O., Mark B.* Monitoring tropical debris-covered glacier dynamics from high-resolution unmanned aerial vehicle photogrammetry, Cordillera Blanca, Peru. *Cryosphere*, 2017. V. 11. No 6. P. 2463–2480. DOI: 10.5194/tc-11-2463-2017.

464. *Wilson J.P.* Digital terrain modeling. *Geomorphology*, 2012. V. 137. No 1. P. 107–121. DOI: j.geomorph.2011.03.012.
465. *Wilson J.P.* *Environmental Applications of Digital Terrain Modeling*. Chichester: Wiley-Blackwell, 2018. 360 p.
466. *Wilson J.P., Gallant J.C. (eds.)* *Terrain Analysis: Principles and Applications*. New York: Wiley, 2000. 479 p.
467. *Wing O.E.J., Bates P.D., Neal J.C., Sampson C.C., Smith A.M., Quinn N., Shustikova I., Domeneghetti A., Gilles D.W., Goska R., Krajewski W.F.* A new automated method for improved flood defense representation in large-scale hydraulic models. *Water Resources Research*, 2019. V. 55. P. 11007–11034. DOI: 2019WR025957.
468. *Wölfl A.-C., Snaith H., Amirebrahimi S., Devey C.W., Dorschel B., Ferrini V., Huvenne V.A.I., Jakobsson M., Jencks J., Johnston G., Lamarche G., Mayer L., Millar D., Pedersen T.H., Picard K., Reitz A., Schmitt T., Visbeck M., Weatherall P., Wigley R.* Seafloor mapping – the challenge of a truly global ocean bathymetry. *Frontiers in Marine Science*, 2019. V. 6. # 283. DOI: 10.3389/fmars.2019.00283.
469. *Woodrow K., Lindsay J.B., Berg A.A.* Evaluating DEM conditioning techniques, elevation source data, and grid resolution for field-scale hydrological parameter extraction. *Journal of Hydrology*, 2016. V. 540. P. 1022–1029. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.07.018.
470. *Wu Q., Chen Y., Wilson J.P., Liu X., Li H.* An effective parallelization algorithm for DEM generalization based on CUDA. *Environmental Modelling and Software*, 2019. V. 114. P. 64–74. DOI: 10.1016/j.envsoft.2019.01.002.
471. *Wu Q., Deng C., Chen Z.* Automated delineation of karst sinkholes from LiDAR-derived digital elevation models. *Geomorphology*, 2016. V. 266. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.05.006.
472. *Xiang J., Li S., Xiao K., Chen J., Sofia G., Tarolli P.* Quantitative analysis of anthropogenic morphologies based on multitemporal high-resolution topography. *Remote Sensing*, 2019. V. 11. No 12. # 1493. DOI: 10.3390/rs11121493.
473. *Xiang T.-Z., Xia G.-S., Zhang L.* Mini-unmanned aerial vehicle-based remote sensing: techniques, applications, and prospects. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 2019. V. 7. No 3. P. 29–63. DOI: 0.1109/MGRS.2019.2918840.
474. *Xiong L.-Y., Jiang R.-Q., Lu Q.-H., Yang B.-S., Li F.-Y., Tang G.-A.* Improved Priority-Flood method for depression filling by redundant calculation optimization in local micro-relief areas. *Transactions in GIS*, 2019. V. 23. No 2. P. 259–274. DOI: 10.1111/tgis.12516.
475. *Xiong L.-Y., Tang G.-A., Strobl J., Zhu A.-X.* Paleotopographic controls on loess deposition in the Loess Plateau of China. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2016. V. 41. No 9. P. 1155–1168. DOI: 10.1002/esp.3883.
476. *Xiong L.-Y., Tang G.-A., Zhu A.-X., Qian Y.-Q.* A peak-cluster assessment method for the identification of upland planation surfaces. *International Journal of Geographical Information Science*, 2017. V. 31. No 2. P. 387–404. DOI: 10.1080/13658816.2016.1205193.
477. *Xu H., van der Steeg S., Sullivan J., Shelley D., Cely J.E., Viparelli E., Lakshmi V., Torres R.* Intermittent channel systems of a low-relief, low-gradient floodplain: comparison of automatic extraction methods. *Water Resources Research*, 2020. V. 56. No 9. # e2020WR027603. DOI: 10.1029/2020WR027603.
478. *Xue Y., Jing Z., Kang S., He X., Li C.* Combining UAV and Landsat data to assess glacier changes on the central Tibetan Plateau. *Journal of Glaciology*, 2021. V. 67. DOI: 10.1017/jog.2021.37.
479. *Yamafune K., Torres R., Castro F.* Multi-image photogrammetry to record and

- reconstruct underwater shipwreck sites. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 2017. V. 24. No 3. P. 703–725. DOI 10.1007/s10816-016-9283-1.
480. *Yamazaki D., Ikeshima D., Tawatari R., Yamaguchi T., O'Loughlin F., Neal J.C., Sampson C.C., Kanae S., Bates P.D.* A high-accuracy map of global terrain elevations. *Geophysical Research Letters*, 2017. V. 44. No 11. P. 5844–5853. DOI: 10.1002/2017GL072874.
481. *Yang X., Tang G., Meng X., Xiong L.* Classification of karst Fenglin and Fengcong landform units based on spatial relations of terrain feature points from DEMs. *Remote Sensing*, 2019. V. 11, 16. # 1950. DOI: 10.3390/rs11161950.
482. *Yao H., Qin R., Chen X.* Unmanned aerial vehicle for remote sensing applications – a review. *Remote Sensing*, 2019. V. 11. No 12. # 1443. DOI: 10.3390/rs11121443.
483. *Yeomans C.M., Middleton M., Shail R.K., Grebby S., Lusty P.A.J.* Integrated object-based image analysis for semi-automated geological lineament detection in southwest England. *Computers and Geosciences*, 2019. V. 123. P. 137–148. DOI: 10.1016/j.cageo.2018.11.005.
484. *Yue L., Shen H., Zhang L., Zheng X., Zhang F., Yuan Q.* High-quality seamless DEM generation blending SRTM-1, ASTER GDEM v2 and ICESat/GLAS observations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2017. V. 123. P. 20–34. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2016.11.002.
485. *Zabihi M., Mirchooli F., Motevalli A., Darvishan A.K., Pourghasemi H.R., Zakeri M.A., Sadighi F.* Spatial modelling of gully erosion in Mazandaran Province, northern Iran. *Catena*, 2018. V. 161. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.catena.2017.10.010.
486. *Žabota B., Repe B., Kobal M.* Influence of digital elevation model resolution on rockfall modelling. *Geomorphology*, 2019. V. 328. P. 183–195. DOI: 10.1016/j.geomorph.2018.12.029.
487. *Zhai R., Lu K., Pan W., Dai S.* GPU-based real-time terrain rendering: design and implementation. *Neurocomputing*, 2016. V. 171. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.neucom.2014.08.108.
488. *Zhang F., Zhou Q., Li Q., Wu G., Liu J.* An enhanced approach for surface flow routing over drainage-constrained triangulated irregular networks. *Transactions in GIS*, 2018. V. 22. No 1. P. 43–57. DOI: 10.1111/tgis.12294.
489. *Zhang H., Yao Z., Yang Q., Li S., Baartman J.E.M., Gai L., Yao M., Yang X., Ritsema C.J., Geissen V.* An integrated algorithm to evaluate flow direction and flow accumulation in flat regions of hydrologically corrected DEMs. *Catena*, 2017. V. 151. P. 174–181. DOI: 10.1016/j.catena.2016.12.009.
490. *Zhang H., Zhang P., Prush V., Zheng D., Zheng W., Wang W., Liu C., Ren Z.* Tectonic geomorphology of the Qilian Shan in the northeastern Tibetan Plateau: insights into the plateau formation processes. *Tectonophysics*, 2017. V. 706–707. P. 103–115. DOI: 10.1016/j.tecto.2017.04.016.
491. *Zhang L., Zhang L., Du B.* Deep learning for remote sensing data: a technical tutorial on the state of the art. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 2016. V. 4. No 2. P. 22–40. DOI: 10.1109/MGRS.2016.2540798.
492. *Zhang S., Foerster S., Medeiros P., Araújo J.C., Motagh M., Waske B.* Bathymetric survey of water reservoirs in north-eastern Brazil based on TanDEM-X satellite data. *Science of the Total Environment*, 2016. V. 571. P. 575–593. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.07.024.
493. *Zhao D., Wu Z., Zhou J., Zhang K., Luo X., Wang M., Liu Y., Zhu C.* From 10 m to 11000 m, automatic processing multi-beam bathymetric data based on PGO method. *IEEE Access*, 2021. V. 9. P. 14516–14527. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3051909.

494. *Zhong C., Liu Y., Gao P., Chen W., Li H., Hou Y., Nuremanguli T., Ma H.* Landslide mapping with remote sensing: challenges and opportunities. *International Journal of Remote Sensing*, 2020. V. 41. No 4. P. 1555–1581. DOI: 10.1080/01431161.2019.1672904.
495. *Zhou G., Liu X., Fu S., Sun Z.* Parallel identification and filling of depressions in raster digital elevation models. *International Journal of Geographical Information Science*, 2017. V. 31. No 6. P. 1061–1078. DOI: 10.1080/13658816.2016.1262954.
496. *Zhou G., Sun Z., Fu S.* An efficient variant of the Priority-Flood algorithm for filling depressions in raster digital elevation models. *Computers and Geosciences*, 2016. V. 90. Pt. A. P. 87–96. DOI: 10.1016/j.cageo.2016.02.021.
497. *Zhou X., Li W., Arundel S.T.* A spatio-contextual probabilistic model for extracting linear features in hilly terrains from high-resolution DEM data. *International Journal of Geographical Information Science*, 2019. V. 33. No 4. P. 666–686. DOI: 10.1080/13658816.2018.1554814.
498. *Zhou Y., Li Z., Li J.* Slight glacier mass loss in the Karakoram region during the 1970s to 2000 revealed by KH-9 images and SRTM DEM. *Journal of Glaciology*, 2017. V. 63. # 238. P. 331–342. DOI: 10.1017/jog.2016.142.
499. *Zumpano V., Pisano L., Parise M.* An integrated framework to identify and analyze karst sinkholes. *Geomorphology*, 2019. V. 332. P. 213–225. DOI: 10.1016/j.geomorph.2019.02.013.
500. *Zwolak K., Wigley R., Bohan A., Zarayskaya Y., Bazhenova E., Dorshow W., Sumiyoshi M., Sattiabaruth S., Roperez J., Procto A., Wallace C., Sade H., Ketter T., Simpson B., Tinmouth N., Falconer R., Ryzhov I., Abou-Mahmoud M.E.* The autonomous underwater vehicle integrated with the unmanned surface vessel mapping the Southern Ionian Sea. The winning technology solution of the Shell Ocean Discovery XPRIZE. *Remote Sensing*, 2020. V. 12. No 8. # 1344. DOI: 10.3390/rs12081344.