Алувиалният конус на река Глазне, гр. Банско, ЮЗ България

Янко Герджиков¹, Зорница Доцева¹, Александър Гиков², Диан Вангелов¹,
Георги Янчовичин³

¹ Софийски университет „Св. Климент Охридски“, бул. „Цар Освободител“ №15, София 1504

² Институт за космически изследвания и технологии, БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“ №1113, София 1113

³ Гражданска защита – община Банско, пл. „Никола Вапцаров“ №1, Банско 2770

Alluvial fan of Glazne river, Bansko town, SW Bulgaria

Ianko Gerdjikov¹, Zornitsa Dotseva¹, Alexandar Gikov², Dian Vangelov¹, Georgi Yanchovichin³

¹ Sofia University “St. Kliment Ohridski”, 15, Tsar Osvooboditel Blvd, 1504 Sofia, Bulgaria; E-mail: janko@gea.uni-sofia.bg

² Institute for Space Research and Technology, BAS, Acad. G. Bonchev Str., 1113 Sofia, Bulgaria; E-mail: gikov@space.bas.bg

³ Civil protection – Municipality of Bansko, 1, “Nikola Vaptsarov” sq., 2770 Bansko, Bulgaria; E-mail: g.yanchovichin@bansko.bg

Abstract. At the place where Banderitsa and Demyanitsa rivers and their tributaries ceased to be confined to their narrow valleys one of the most impressive alluvial fans in South Bulgaria is formed – the one of Glazne river. The river valley morphology, as well as the evolution and the position of the Glazne fan, are controlled by the active normal faulting in the NE slopes and foot of Pirin Mountain. The Quaternary glaciations produced large volumes of debris in the river valleys. There is an agreement that the processes of sediment transfer from the mountain to the Razlog graben have been highly active at the time and immediately after the Pleistocene glaciations. As a result, in the Bulgarian geological and geomorphological reports and scientific papers, the age of the alluvial fans at the NE foot of Pirin Mountain is assumed to be Late Pleistocene–Early Holocene. The results of our studies require a re-evaluation of these ideas. Using widely accepted methods for natural hazard assessment, our field and historical research and analysis allow us to claim that the Glazne fan is active. Parts of Bansko, that are situated in the upper-middle parts of the alluvial fan, have been affected by at least two significant debris floods during the XX century. The conducted measures to control river behavior have an important effect on risk reduction, yet they lead to significant modification of the zones of active aggradation and this means that new actions against future events must be taken.

Keywords: alluvial fan, Glazne river, Bansko, river floods, Quaternary evolution.

Резюме. Реките Бъндерица и Демяница и техните притоци, излизайки от силно всечени речни долини, оформят един от най-впечатляващите в Южна България алувиални конуси – този на река Глазне. Долинната морфология, както и еволюцията и позицията на конуса, са в пряка зависимост от активните разломвания в североизточните склонове и подножие на Пирин. Кватернерните залеждания са източник на обилен кластичен материал в речните долини и процесите на седиментен пренос от планината към Разложкия грабен са били с най-висока активност по време и след плейстоценските залеждания. Неслучайно в българската геоложка и геоморфоложка литература се е наложила представата за късноплейстоцен–раннохолоценската възраст на алувиалните конуси в североизточното подножие на Пирин. Проведените от нас изследвания налагат оценка на тези виждания. Използвайки утвърдени методики за оценка на опасността от неблагоприятни природни явления, нашите теренни и исторически проучвания и анализ дават основание да се твърди, че конусът на р. Глазне е съвременен и активен. Части от гр. Банско, разположени върху горните и средните части на конуса, са засегнати от поне две значими дебитни прииждания през XX век. Предприетите мерки за укрепване на речното корито имат важен ефект за редуциране на опасността от речни прииждания, но водят до значително модифициране на зоните на съвременна аграция, което налага взимането на мерки за предотвратяване на щетите при бъдещи събития.

Ключови думи: алувиален конус, р. Глазне, гр. Банско, речни прииждания, кватернерни процеси.

Въведение

Кватернерните разломвания, издигане и залеждане водят не само до формирането на забеле-

жителния алпийски релеф на Северен Пирин, но и до генерирането на големи обеми кластичен материал, породени от различни денудационни процеси. Транспортирането на този материал

към Разложкия грабен се осъществява от гъстата речна система, която отлага материала в основата на планинския откос. По този начин се формират алувиални конуси, чието латерално сливане оформя дъното на котловината. Не само в България, но навсякъде в планинските райони по света (Kellerer-Pirklbauer, Eulenstein, 2019; Valjavec, Komac, 2019) покритите с алувий заравнени терени са обект на заселване, индустриална и селскостопанска дейност. В първите десетилетия на XX век гр. Банско е разположен в долната част на алувиалния конус на р. Глазне. Бързото развитие на града, особено след 1990 г., разширява неговите граници и към 2020 г. застрояването обхваща 69% от площта на конуса. Тази експанзия обаче не отчита съвременната геоложка ситуация и най-вече изобилието на кластичен материал в подхранващите р. Глазне водосбори. Кластичният материал, най-често представен от добре огладени валуни с диаметър 0,3–0,6 m, е обилен и на самата повърхност на конуса, т.е. в обхвата на града.

Проливните дъждове, както и придружаващите пролетното снеготопене валежи, водят до повишаване на нивото на р. Глазне и до периодични наводнения. Но това не е основната природна опасност за гр. Банско. Опасността е свързана с мобилизирането на обилния кластичен материал, който, при речните прииждания, се транспортира надолу в речното корито и по този начин значително увеличава разрушителната сила на водния поток. Последствията от речните прииждания и свързаните с тях ерозия, транспорт и отлагане на материал, са много сериозни – такива са събитията през 1957 и 2010 г. Предприетите инфраструктурни мерки за ограничаване на щетите от бъдещи прииждания (корекция на речното корито, изграждане на диги) облекчават частично проблема, но от своя страна влияят на речната система, която се адаптира към новите условия. Важно е да се отбележи, че тази антропогенна намеса не отчита изобилието на кластичен материал в речните долини.

В настоящата работа са представени резултати от проведените в последните години изследвания в района на гр. Банско (фиг. 1). Актуалността се определя от факта, че последните детайлни геоложки и геоморфоложки работи датират от 60-те години на XX век. За този период изучаването на съвременните процеси търпи бурно развитие, не на последно място тласкано от навлизането на все повече количествени методи, вкл. такива за абсолютно датирание. Разви се и ново хибридно геолошко-геоморфолошко направление – тектонската геоморфология (Bull, 2008), с акцент върху реакцията на планинските склонове и речни

системи на издигането на планинските системи. Целта ни е, на съвременна теоретична база, да характеризираме геолого-геоморфоложката ситуация в района на гр. Банско за последния век.

Терминология и методика

Номенклатура и класификация на кватернерните отложения

В българската литература и картоиздаване се е наложила заимстваната от руската школа терминология, разграничаваща голям брой генетични типове наслаги: делувий, колувий, пролувий, алувий. При картиране на терен коректното им отделяне е доста затруднено. Затова ще използваме опростена диференциация, разделяща отложенията на два типа – алувий и колувий. Тези термини са възприети в англоезичната литература, а точните им дефиниции могат да се открият в работата на Miller & Juilleret (2020).

Алувиални конуси и свързаните с тях природни опасности

За означаване на позитивните морфоложки форми, разположени в грабените при излиза на планинските речни долини, се използват термини като „пороен конус“, „наносен конус“ и др., докато англоезичният термин е alluvial fan. Буквалният превод е алувиално ветрило. В англоезичната литература като конуси се означават подобни, по-стръмни ($>20^\circ$) форми. В случая с Пиринския хорст планинските реки са основният природен фактор, транспортиращ кластичен материал, който отвежда в Разложкия грабен ерозионните продукти на издигащия се планински масив. Следователно, може да се очаква, че речните прииждания ще са свързани с повишено количество твърд отток. Такива реки в англоезичната литература се наричат gravel-bed или bedload-dominated. Разнообразни, най-често епизодични, водни потоци захранват алувиалните конуси, като най-типични са дебритните прииждания (debris floods) и дебритните потоци (debris flows). Дебритните прииждания са дефинирани като „наводнения, при които материалите от речното корито, включително много големи класти, стават мобилни за поне няколко минути в участък от долината с дължина поне 10 пъти по-голяма от ширината на коритото“ (Church, Jakob, 2020). Разграничаването на видовете потоци се базира на различни критерии. Brenna et al. (2020) правят анализ на съвременната методика и дефинират дебритните потоци

Фиг. 1. Ситуационна схема на водосбора и алувиалния конус на р. Глазне

1 – общинска граница; 2 – шосе; 3 – теснолинейна жп линия; 4 – конус на р. Глазне; 5 – водосборен басейн на р. Глазне; 6 – граница на водосбор; 7–9 – застроена територия на град Банско: 7 – през 1934 г., 8 – през 1988 г., 9 – през 2020 г.

Fig. 1. Location of the catchment and alluvial cone of Glazne river

1, municipal border; 2, road; 3, narrow-gauge railway line; 4, alluvial fan of Glazne river; 5, catchment area; 6, border of catchment area; 7–9, urban area of the town of Bansko: 7, in 1934, 8, in 1988, 9, in 2020

като „гравитачно придвижван, силно концентриран, но относително мобилен поток, представляващ смес от класти и вода“.

Свързаните с алувиалните конуси природни опасности са обект на многобройни изследвания в последните години. Най-пълно са разгледани от Bowman (2019), National Research Council (NRC, 1996) и др. От гледна точка на честотата на тяхната проява те са подредени в следната последователност: 1) опасности от проява на дебритни потоци и дебритни наводнения; 2) опасности от внезапна промяна на речното корито (channel avulsion); 3) активизиране на разломи. В българската нормативна база (<http://gis.mtrb.government.bg/KGR/>) тази проблематика е слабо засегната. По тази причина се придържа към конкретните критерии (NRC, 1996) за оценка на опасността от наводнения, според които процесите са групирани в категориите: 1) отлагане на материал, 2) ерозия и 3) възможност за промяна на речното корито. Според критериите на NRC (1996), оценяването на опасните процеси е тристадийн процес. Първата стъпка е разпознаването и характеризирането на земеповърхните форми, свързани с алувиалния конус – дренажна система, морфология на отложенията и др. Втората стъпка е оценяване на различните обстановки и идентифициране на областите, засегнати от ерозия, отлагане на материал и речни прииждания. Последната стъпка е определяне и характеризиране на активните части от конуса, които се дефинират като участъци, засегнати поне веднъж на столетие. По този начин като „активни“ се означават територии, където неблагоприятните геоложки процеси са се случили наскоро и има голяма вероятност за тяхната повторемост. Анализът на многобройни конкретни случаи показва, че най-рискови са участъците, разположени в близост до активното речно корито, както и тези от горната част на конуса. Дисталните части биват засегнати само в случаи на екстремни явления.

Характер на геоложките процеси в края на последното залеждаване и след него

Добре известен е фактът, че ледниците са най-мощният ерозионен агент. Също така е добре документирано, че най-значимото постъпване на кластичен материал в речните легла се осъществява не в пика на залеждаването, а по време на отдръпването на ледниците и в постледниковите периоди (Ballantyne, 2002; Bowman, 2019, с. 93). Трансферът на кластичен материал към локалните депоцентрове в речните долини се захранва от редица гравитачни процеси: лавини, срутища,

свлачища, дебритни потоци и др. (Cossart et al., 2013; Yu et al., 2020). Протичането на тези процеси е неизбежно – то се контролира от нестабилността на вертикализираните долинни склонове, новогенерираната напуканост (neo-joints, Cossart et al., 2013), присъствието на обилен неспоен моренен материал и периглациални блокажи, а в някои случаи (приложимо за Пирин) – те са стимулирани от сеизмични събития. Анализът на съвременни случаи на наводнения (Bat'ka et al., 2020), както и опитите за възстановяване на формирането на плейстоцен–холоценски алувиални конуси (Benn et al., 2006), показва ясно, че транспортирането на натрупания в речните долини неспоен кластичен материал към депоцентровете в грабените става чрез катастрофални прииждания, причинени от разрушаването на временни езера (Landslide dam outburst floods; Glacial lake outburst floods – GLOF).

Методика на изследванията

Цялостната обработка на данните е направена с използването на софтуера QGIS. За дефиниране на алувиалния конус и за визуализиране на релефа е ползван дигитален модел на терена с размер на клетката 30 m. Данните за релефа, растителността и др. са сравнявани с топографски карти, заснемани в различни години (1934, 1980). Те са достъпни през уеб-интерфейса на сайта BGMountains online map (www.kade.si). Точността на направените измервания и заключения за позицията на релефните форми е проверявана многократно с налагане на данните върху прецизно привързани детайлни топографски карти, сателитни и снимки от безпилотни самолети.

Дефинирането на холоценския конус на р. Глазне е извършено чрез ГИС техники и теренни изследвания, следвайки изложената от Norini et al. (2016) методика. Ключов момент тук е определянето на върха на конуса (Fan apex/head – в геоморфоложката литература, Closing Section – при характеризиране на водосборите). Използвани са данните за геометрията на генерираните водосбори в ГИС, растерно изображение за наклоните на склона и топографски карти с позиция на дрениращите конуса речни легла (неактивни или активни само при прииждания). Дисталните части са дефинирани на базата на наклона на склона – извън конуса те са под 3°, както и на възприемането за полукръгова геометрия на конуса.

Важен елемент в проведеното изследване бе детайлното картиране на речните долини и стари речни корита, както и наблюдения в изкуствени изкопи в района на гр. Банско.

Кватернерна еволюция на района

Кватернерът е несъмнено период на издигане на Пиринския хорст, породено от разседни движения по система от разломи. Съществува консенсус за активния разседен североизточен склон

на Пирин, но номенклатурата и използваните наименования варират и в литературата няма единомислие дали издигането се контролира от един разлом или група субпаралелни разседи. Jaranoff (1960) говори за единичен разлом, който нарича Бански. В по-късни работи се де-

Фиг. 2. Геоложка карта на Разложкия грабен и част от Северен Пирин (по Marinova, Zagorchev, 1990, с изменения)
 1 – отложения с различен произход (Кватернер); 2 – алувиални конуси (Плейстоцен–Холоцен); 3–4 – седименти: 3 – Плиоцен, 4 – Палеоген; 5–6 – гранитоиди: 5 – Олигоцен, 6 – Палеоген; 7–8 – единица Пирин-Пангеон: 7 – ортогнайси, амфиболити, шисти, вероятно Перм–Триас, 8 – мрамори, Перм–Триас; 9 – единица Сидиронеро-Места (гнайси, амфиболити, шисти); 10 – единица Огражден-Вертискос (гнайси, амфиболити); 11 – синметаморфна навлачна зона; 12 – Бачевски разсед и активни разломни сегменти от Пределско-Харамбунарската разседна зона. Съкращения: сегменти на разседната зона (А – Пределски, В – Харамбунарски, С – Добринищенски); издигнати от фронталните сегменти на свързващата рампа блокове (D – блок Драгойчев баир, Е – блок Белизмата)

Fig. 2. Geological map of the Razlog graben and parts of Northern Pirin Mountain (after Marinova, Zagorchev, 1990, modified)

1, various genetic types of sediments (Quaternary); 2, alluvial fans (Pleistocene–Holocene); 3–4, sediments: 3, Pliocene, 4, Paleogene; 5–6, granitoids: 5, Oligocene, 6, Paleocene; 7–8, Pirin-Pangaion unit: 7, orthogneisses, amphibolites, schists, probably Permian–Triassic, 8, marbles, Permian–Triassic; 9, Sideronero-Mesta unit (gneisses, amphibolites, schists); 10, Ograzhden-Vertiskos unit (gneisses, amphibolites); 11, synmetamorphic thrust zone; 12, Bachev normal fault and Predela-Haramibunar fault zone segments. Abbreviations: segments of Predela-Haramibunar fault zone (A, Predela, B, Haramibunar, C, Dobrinishte); uplifted blocks in the footwalls of the frontal normal faults, part of the Bansko relay ramp (D, Dragoychev Bair block, E, Belizmata block)

тайлизира картината и се описват два субпаралелни разлома – Пределски и Бански (Grigороva et al., 1966). С работите на Meyer et al. (2002), Athanassios et al. (2005), Tranos et al. (2006), Westaway (2006) се налага идеята за единичен разлом, представен или от една разломна линия, или от два разломни сегмента – северозападен (Пределски) и източен (Добринищенски). Независимо от различията, в тези работи се подчертават ясната морфоложка изразеност и белезите за съвременна активност. На базата на теренни, морфометрични и геофизични данни Radulov et al. (2017) характеризират системата от активни разломи в североизточното подножие на Пирин. Издигането на Пиринския хорст се свързва с транслагациите по комплексна разседна зона – Пределско-Харамбунарска (фиг. 2, 3), която се състои от два разседа (разломни сегмента), а в участъка на тяхното взаимодействие се оформя свързваща рампа (relay ramp). Докато геометрията и съвременната активност на Пределския и Харамбунарския сегмент са добре изяснени и мотивирани, то геометрията и историята на разломяванията за разседите от свързващата рампа не са добре изяснени. А именно те са един от най-важните контролиращи фактори за оформянето на конуса на р. Глазне. Според модела на Radulov et al. (2017) рампата се оформя от две групи разседни сегмента: тилна и фронтална. Движенията по тях оформят стъпаловидната морфология на североизточното Пиринско подножие в района на гр. Банско. Тилните сегменти са разположени в планинския масив, докато фронталните следят планинското подножие. Източната част на фронталния сегмент (Добринищенски) е ясно морфоложки изразена между градовете Добринище и Банско. Към момента

не е решен въпросът за продължението на фронталния сегмент на запад от гр. Банско, за неговата точна позиция, но за активността на разсяданията в този участък ясно говорят присъствието на издигнат масив от доплиоценската подложка, както и всичането на речната мрежа в него. Този блок го означаваме като Белизмата, а издигнатия лежащ блок на Добринищенския сегмент – Драгойчев баир.

Плейстоценските залежания имат много важен ефект върху геоложките и геоморфоложките процеси в Пирин и неговото подножие. За съвременните процеси и природните опасности от най-важно значение са оформянето на ледниково-моделирани речни долини с много стръмни склонове и натрупването на големи количества от нелитифицирани груби седименти. Вертикализираните долинни склонове се подлагат на продължаващо и в момента обрушване, резултат от проявата на различни склонови процеси (каменопади и др.). Специално за частите от долините на реките Бъндерица и Демяница, които са изградени от метаморфни скали, тези процеси са подпомогнати и от благоприятната ориентировка на проникващата метаморфна плоскостна структура. Този факт, както и присъствието на многобройни пукнатини, разломи и по-малки прекъснатости, създадени от глациално-изостатичните напрежения, са подпомогнали силното деградиране на стръмните склонове и формирането на дебели до няколко десетки метра склонови блокажи (talus). Разграничаването на тези отложения от глациалните невинаги е лесна задача.

Холоценската геоложко-геоморфоложка еволюция не е добре изследвана: липсват данни за времето на разломяванията, липсва и хроно-

Фиг. 3. Топографска карта на района на гр. Банско с геоложки и геоморфоложки елементи

1 – неактивна част от холоценския конус на р. Глазне; 2 – активна част от конуса; 3 – моренни материали (Плейстоцен); 4 – територия, покрита с кластични материали на карта от 1934 г.; 5 – Пределски разседен сегмент; 6 – фронтални сегменти от свързващата рампа; 7 – погребан участък от фронталния сегмент; 8 – тилни сегменти от свързващата рампа; 9–11 – територия, засегната от прииждания: 9 – през 1957 г., 10 – през 2010 г., 11 – през 2016 г.; 12 – река с постоянно течение; 13 – река с непостоянно течение; 14 – изтласкани от холоценския конус речни корита; 15 – речни корита в обхвата на конуса (установени по топографска карта М 1:5000); 16–18 – обхват на Банско: 16 – през 1934 г., 17 – през 1988 г., 18 – през 2020 г.; 19 – жп линия; 20 – път с трайно покритие; 21 – черен път

Fig. 3. Topographic map of the Bansko town area with some geological and geomorphological features

1, inactive part of the Holocene alluvial fan of Glazne river; 2, active part of the alluvial fan; 3, glacial sediments (Pleistocene); 4, area covered by coarse sediments, according to the map from 1934; 5, Predela normal fault segment; 6, frontal parts of the Bansko relay ramp; 7, buried part of the frontal normal fault segments; 8, rear parts of the Bansko relay ramp; 9–11, area affected by flooding: 9, in 1957, 10, in 2010, 11, in 2016; 12, perennial streams; 13, intermittent streams; 14, deflected by the Holocene Glazne alluvial fan river channels; 15, extracted from topographic map (1:5000 scale) river channels; 16–18, urban area of the town of Bansko: 16, in 1934, 17, in 1988, 18, in 2020; 19, narrow-gauge railway line; 20, main roads; 21, other roads

стратиграфска рамка на най-младите отложения. Несъмнено е, че холоценските склонови и флувиални процеси са модифицирали силно заварените плейстоценски ледникови и периглациални обстановки, но тези процеси не са добре документирани на съвременно ниво. Повечето

изследователи оценяват като плейстоценска възрастта на алувиалните конуси в североизточното подножие на Пирин. Според Nenov (1969) съвременна акумулация има само в речните корита встрани от конусите, като по този начин се насочва към идеята за „статичност“ на контро-

лираната от активните разломявания и несъмнено динамична природна система. Различно мнение изказват Grigorova et al. (1966), които пишат: „[...] образуването на наносни конуси [...], което продължава и сега.“ Благодарение на палинологичните проучвания, подкрепени с радиовъглеродно датиране, са натрупани доста знания за основните етапи на промяна в растителната покривка в района през късноледниково време и Холоцена (Bozilova, 1975; Stefanova, 1998; Tonkov et al., 2002; Stefanova, Ammann, 2003; Stefanova et al., 2003).

Анализ на алувиалния конус на р. Глазне

Класическият модел на разседно-контролирано планинско подножие (праволинеен планински фронт, перпендикулярни на него къси водосбори и наносни конуси на изхода на реките в алувиалната равнина) е приложим за участъка между прохода Предел и долината на р. Горна Раковица. В източна посока геометрията на активните разломявания е усложнена, оформя се свързващата рампа (Radulov et al., 2017) и това намира пряко отражение върху системата водосбори-алувиална седиментация в Разложкия грабен. Именно в участъка на рампата се формира най-големият алувиален конус в североизточното подножие на Пирин – този на р. Глазне (фиг. 3). Неговото оформяне се контролира не само от постъпването на материал по речните долини, но и от разседните премествания по сегментите в рампата.

Подхранващи водосбори

Отношение към оформянето на конуса на р. Глазне имат 6 водосбора: на реките Котечки дол, Суходолска, Бъндерица, Икришча, Демяница и Коневица (фиг. 3). В зависимост от съвременната геоложка обстановка могат да се разграничат активни от неактивни водосбори. Неактивните водосбори (на реките Котечки дол, Суходолска, Икришча и Коневица) са по-малки. През тях преминават по-малки водни количества и транспортната сила на водата не е достатъчна, за да осигури преноса на обилен кластичен материал към планинското подножие. Но тези възможности са били различни през по-влажни периоди и особено при разтопяването на плейстоценските ледници. По голяма част от протежението си активните корита на реките Бъндерица и Демяница са изпълнени с едър кластичен материал (фиг. 4а).

Плейстоцен–долнохолоценски алувий

Още през 60-те години на XX век е обърнато внимание на присъствието на по-стар и често споен алувий в западните склонове на долината на р. Бъндерица и на запад от нея (Nenov, 1969). Това са специфични, споени брекчоконгломерати с хаотична структура и силно вариращи размери на късовете. Те са представени почти изцяло от мрамори, като спойката е карбонатна. Оформят откоси в западния склон на р. Бъндерица, като често покриват силно натрошени мрамори. Вероятно, тези отложения изграждат издигнатия блок между долините на реките Бъндерица и Котечки дол, където няма разкрития, но разпръснатите късове и натрупаните каменни валове указват за почти 100% подхранване от мраморна подложка. Този район може да се тълкува като издигнат плейстоценски конус на р. Суходолска.

Като плейстоцен–долнохолоценски може да се разглеждат алувиалните отложения в Разложкия грабен, разположени на север от съвременния конус на р. Глазне. В тези участъци няма индикации за съвременна акумулация, с изключение тази в активното речно корито. Конусовидната морфология на този терен ясно личи на сателитните изображения, където е маркирана от радиалната подредба на обработваемите земи и прокараните по техните граници напоителни канали.

Съвременна геоморфология и морфометрия

Позицията на холоценския конус се определя от фронталните сегменти на свързващата рампа. Дългата ос на конуса е около 4 km, а върхът му е разположен на 1,7 km спрямо контролиращия фронтален сегмент в посока към планината. По този начин конусът прави силно вдаване (embayment) към планинския масив. Поради силната антропогенна преработка за по-голямата част от конуса може да се направи само най-обща характеристика. Относително по-незасегнати (когато няма информация или следи от ползване на тежка техника) са западните части на конуса и тези, разположени в близост до върха му. Терените ни изследвания в тези участъци позволяват да разглеждаме формирането на тези части на конуса като породени от събитийни явления, най-вероятно дебритни прииждания. Повърхността е много неравна, нахълмена от удължени паралелно на наклона на склона или на близките речни корита хребети, най-често с превишение 2–5 m над средната земна повърхност.

Фиг. 4. а – поглед нагоре по течението на р. Бъндерица, 0,45 km ЮЗ от местността Пещерите; б – улица „Страгите“ след събитието от 2010 г. (снимка: К. Grunewald); в – гранитни късове от местност/квартал Грамадето, горна част на конуса на р. Глазие; д – съвременен депоцентър, оформен непосредствено над речната корекция; вляво се виждат насипни диги.

Фиг. 4. a, Banderitsa river valley, looking upstream, location 0.45 km SW of Peshterite locality; b, Stragite street after the 2010 event (photo by K. Grunewald); c, granitic clasts from Gramadeto locality, upper part of Glazne alluvial fan; d, a depocenter formed above the concrete-channelized part of the Glazne river; earth-made training banks on the left side of the photo.

Дренажна система

Реалната ситуация, преди значителната човешка намеса, може да се оцени с използването на топографски карти и самолетни снимки от XX век и описания на очевидци. Анализът на картните материали разкрива съществуването на сложна система от речни корита, които дренират алувиалния конус. В прилежащите към оста на конуса части речните легла са субпаралелни, често преплитат се, като постепенно към север геометрията им в план става ясно радиална (фиг. 3). Тази система се установява на топографската карта от 1934 г., но най-добре тя може да се документира по хода на хоризонталите и нанесените речни канали от картата в М 1:5000. Съществуването на подобна система от речни потоци се потвърждава и от описанията на очевидци.

Най-старото описание на алувиалния конус вероятно е това на Batakliiev (1927), който ха-

рактеризира много ясно речната мрежа: „Пътят за долината на р. Бъндерица върви именно по този къжелен нанос непосредствено до самата река, чието легло, след като напусне планината, се силно разклонява и набраздява къжелния нанос.“ С термина „къжелен нанос“ Батаклиев означава алувиалния конус и е един от първите, които пишат, че гр. Банско е построен върху него. Аналогично е описанието на Rosen (1928): „Бистрата струя на Дамяница се е разнишила като нишките на една голяма мрежа, хвърлена от брегът на Пирин и обхванала цялото поле.“ По това време конусът и най-долните части на долините на реките Бъндерица и Демяница не са били залесени. Записани от нас разкази на жители на гр. Банско потвърждават тази картина за неурбанизираната част на конуса преди 1990 г.

Анализът на картата от 1934 г. включваше идентифицирането и привързването в ГИС

среда на следните обекти, дефинируеми речни корита и маркирани със съответния символ: 1) заети от кластичен материал площи; 2) „натрупани камъни“, които могат да означават естествени диги или изкуствени насипи; 3) мостове. Поради по-дребния мащаб, идентифицирането на речната мрежа е по-неточно, но въпреки това ясно личи радиалното разположение на дренаиращите канали. С изключение от север, градът е обграден от условни знаци за „натрупани камъни“, което потвърждава историческите описания за обилен валунен материал (Benin, 2008). Непосредствено южно от контурите на града се очертава площ от около 1 km², заета от натрупвания на кластичен материал. Най-общо тази площ следва съвременните долини на реките, но е ясно, че показаният на картата депоцентър е изместен към изток. Различията със съвременната ситуация са най-драматични в случая с р. Демяница. Окунтуреният на картата от 1934 г. депоцентър е изместен със 100–250 m от съвременно активното речно корито. Несъответствията с днешната геоморфоложка обстановка не приключват само с това. Към 1930 г. единственият път, водещ към планината, върви по източния бряг на р. Глазне и води до почивния дом на ВМРО (днес хотел „Катерина“). На картата от 1934 г. на този път са дадени седем моста, несъществуващи днес. Теренна проверка показва, че повечето от тях се разполагат върху сухи речни корита, използвани от р. Демяница при речни прииждания в близкото минало. Batakliiev (1927) характеризира накратко обстановката: „[...] пътят е извънредно лош. [...] той се превръща в същинска планинска пътека, но извънредно камениста – осяяна с по-едри и по-дребни камъни [...]“. Това описание съответства напълно на факта, че пътят над гр. Банско е прокаран в алувиален конус с активна седиментация. Нещо повече, разминаванията в позицията на речните корита на р. Демяница, нанесени на топографските карти от различни години (1934, 1980), показват процеси на миграция на речни корита.

Архивните картни материали, както и разказите на очевидци, демонстрират и друг важен факт: до антропогенната намеса съществуващите речни долини/корита не са били всечени в по-стария алувий, т.е. реката се е разливала по повърхността на наносния конус. В момента съществуващата дренажна система е контролирана – р. Глазне тече в стеснено изкуствено корито и в участък, разположен в близост до върха на конуса има водохващания, с които се захранват стари речни корита с цел напояване.

Значими геолого-геоморфоложки събития за последните 100 години

Първото известно голямо речно прииждане е наводнението от 1957 г. Според разкази на очевидци, спомени на жители, по време на събитието реката се отклонява по старото корито, следящо днешната улица „Гоце Делчев“. И в момента по тази улица има изкуствен канал, а документален филм от 1933 г. показва, че на това място е имало речно корито или воден канал. Към момента детайлно описание на наводнението няма, а са известни само материали, събрани от музея „Никола Вапцаров“. Точната дата не е известна, случило се е при пролетно снеготопене, след зима с дебела снежна покривка. Съобщава се за разрушени къщи и високо речно ниво повече от един ден. Освен разрушенията, свидетелство за обилието на класти, носени от речния поток е и описанието на материалите, използвани по-късно за изграждането на речната корекция: „[...] за материал били използвани камъните, довлечени от реката при наводнението“.

Значително по-добре е документирано наводнението от май 2010 г. На 15 май метеостанцията при х. Вихрен записва валеж от 60 mm, а на следващия ден 9 mm (Grunewald et al., 2016) и той значимо подпомага снеготопенето. Има сведения, че една от причините за основното речно прииждане е скъсването на временен бент на р. Бъндерица, създаден от падането на голяма лавина по един от улеите над Бъндеришка поляна. Речното прииждане започва същия ден, но приливната вълна навлиза в конуса на р. Глазне в 2 часа на 16 май. Носейки огромно количество валуни и пясък, реката пробива насипните диги и изкопава корито, което следва речно корито, използвано от реката през XX век. Засегната е новозастроената югозападна част на града, като според очевидци реката изкопава в асфалта (улица „Страгите“) всечено до 3 m корито. Съобщава се за поне 2–3 пробива на дигите от реката, което говори за преминаването на серия приливни вълни. Наред с активната ерозионна дейност, речният поток отлага огромно количество валуни и пясък (фиг. 4 b). По-голямата част от материала се отлага около препятствия (стени, паркирани коли, прагове, насипи) и ниско разположени обекти (басейни на хотелските комплекси) в местностите Страгите и Парцалето (ЮЗ урбанизирана част на гр. Банско). Реката отлага голямо количество материал и в основното речно корито, засипани с пясък са улици в ниската част на града.

Последните по-значими речни прииждания са от 2016 и 2017 г. Те засягат основно най-горната част на конуса, както и долината на р. Бън-

дерица. Тези събития са добре документирани, вкл. и с видеоматериали. Отново тези събития са свързани с преноса на голямо количество класичен материал и с опити на реката да използва стари, и често урбанизирани речни корита. Според геодезични измервания (данни на община Банско), наносите само в коригираната част на р. Глазне, формирани при прииждането в периода 8–10 ноември 2016 г. са 13 140 m³. Теренните ни наблюдения показват, че това са основно валуни с диаметър до 0,5–0,7 m и много малко пясък.

Кратка характеристика на алувиалните отложения

Специализирано изследване, каквото е необходимо за прецизното характеризиране на типове потоци (прим. Brenna et al., 2020), водещи до формирането на тези отложения, не е провеждано. Тук представяме само някои общи бележки.

Наблюдава се постепенна редукция в размера на кластите надолу по речното течение. Аномално големи класти са установени само в горната част на местността, днес квартал Грамадето. Тук те достигат диаметър до 2 m и са относително добре заоблени (фиг. 4с). В момента се разполагат на земната повърхност, но вероятно са извадени при изкопаването на основите на сградите в района (строителство 2000–2015 г.). В участъка между водослива на реките Бъндерица и Демяница и края на речната корекция доминират късове с диаметър 0,6–0,8 m, срещат се и единични късове с диаметър 1 m, спорадично поголеми. Късове с диаметър 0,2–0,3 m са типични за средните части от конуса, където се срещат и такива с диаметър 0,5–0,6 m. В най-дисталните части на холоценския конус, в надзаливната тераса на р. Глазне, полето е осеяно с късове с максимален диаметър 0,2 m.

Естествени разкрития на холоценските седименти няма. Единствените достъпни за наблюдение разрези са тези от строителни изкопи. Във връзка с дейностите по „Водния цикъл“ за гр. Банско (2012–2017 г.) почти целият град бе разкопан и имаше възможността да наблюдаваме в дълбоки 2–5 m изкопи вертикални срезове през алувиалните седименти. Потвърждава се намаляването на размера на късовете надолу по речното течение. Доминират неспоеени едрокъсови конгломерати с вариращо, често незначително, количество пясъчлива спойка. Късовете са >90% от гранити, с много спорадични късове от мрамори, гнайси и амфиболити. Погребани почвени хоризонти, както и по-фини глинести или алевролитови нива не се установяват.

Антропогенна намеса

Съществената човешка намеса в дренажната система на конуса на р. Глазне започва след наводнението през 1957 г. В близост до тогавашните контури на града речното корито е стеснено и реката преминава през облицовано с каменна зидария корито, на чието дъно са изградени прагове. Съдейки по картата от 1934 г. при изграждането на корекцията речното корито се измества към запад и се елиминира второ речно корито, започващо от днешната улица „Цар Симеон“. С началото на засилената урбанизация започва изграждане на насипни диги в участъка над каменното корито. Тяхната слабост проличава ясно при събитието от 2010 г. Следващите стъпки са направени след наводнението от 2010 г. с изграждането на бетонни стени до южния край на урбанизираната територия. По-горните части на речното корито са укрепени от насипни диги. Несъмнено, предприетите мерки намаляват опасността от заливане на града, но водят и до негативни последици. Поради намалялата способност за разливане и използване на стари корита, река Глазне започва да отлага с бързи темпове класичен материал в участъка непосредствено след края на речната корекция. В този участък се оформя „депо“ (фиг. 4d), където се натрупват валуни (размери над 0,4–0,6 m), чието транспортиране е възможно само при пикови прииждания. От друга страна, по-дребните късове и пясък преминават транзитно през коригирания участък, поради увеличената скорост на потока. Така, в долната част на конуса, след 2010 г. се оформя зона на активна седиментация в заливните тераси на р. Глазне.

Дискусия

Плейстоцен–холоценската еволюция

По този въпрос по-детайлен анализ е направен от Stoykov & Nenov (1970), според които „През кватернера негативните движения в котловината спират. Настъпва общо, но диференцирано издигане на цялата област“. Днес, на базата на сеизмичните прояви (Grigorova et al., 1966), както и на най-новите теренни и геофизични изследвания (Radulov et al., 2017), знаем, че разседната система, която контролира издигането на Пиринския хорст от североизток-изток, е активна. А в настоящата работа документираме активността на процесите, водещи до транспортиране и акумулиране на генерирания при издигането скален детритус.

Възстановяването на кватернерната еволюция е свързано с редица трудности, произтичащи от липсата на достатъчно конкретни данни в следните направления. Най-сериозна пречка е липсата на яснота за времевата рамка на процесите през Холоцена – точното описание на геолого-геоморфоложките процеси изисква прецизиране на времето на проява на разломяванията, на основните етапи на аградация на наносните конуси. За изследвания район такива данни няма и следователно направените разсъждения за взаимодействието на процесите на седиментация и разломяванията са дискуссионни. Палинологичките проучвания и изследванията върху палеоклиматичната обстановка показват относителна стабилност през Холоцена (Stefanova et al., 2003; Grunewald, Scheithauer, 2011), но е необходимо да се прецизират климатичните вариации и да се потърси как те засягат речните системи. Досега не са правени опити да се оцени ролята на кватернерните флуктуации на нивото на Егейско море върху системата водосбори-алувиални конуси, а значителните вариации (достигащи до 120 m) са добре известни (Perissoratis, Mitropoulos, 1989).

Формирането на плейстоценския конус на р. Глазне е контролирано от тилните сегменти на свързващата рампа. Отчитайки разстоянието между фронталните и тилните сегменти (2–3 km), може да се предположи, че позицията на оста на плейстоценския конус е била разположена на аналогично разстояние в южна посока спрямо позицията на съвременния конус. Следователно е допустимо да се очаква връхът на стария конус да е бил разположен на по-високо хипсометрично ниво (около 1200 m). Отчитайки оценките за максималното напредване на плейстоценските ледници, следва, че в ледниковите периоди конусът е бил подхранван директно с глациален материал. Плейстоценският конус е бил с по-големи размери. За неговото изграждане е допринесла и седиментацията в неактивните в момента долини на реките Котечки дол, Суходолска, Икришча и Коневина. Тогава конусът е достигнал максимални размери – дължина около 9 km и ширина около 5–6 km и този обхват дори и днес личи при анализ на сателитни изображения. Реликти от плейстоценската алувиална седиментация са запазени най-добре в западния борд на долината на р. Бъндерица, както и в части от издигнатия блок Белизмата (фиг. 1, 2). Представени са от описаните по-горе споени мраморни брекчи. Високата степен на литифицираност на кватернерни седименти е добре документиран факт в различни климатични обстановки (Sanders, Ostermann, 2011). Като реликт от плейстоценския конус може да се разглежда конусът на р. Икришча, а също

така и голяма част от изградената от груби, нелитифицирани блокажи територия между реките Бъндерица и Демяница. Възможно е плейстоценски алувий да е покривал и части от блоковете Белизмата и Драгойчов баир (фиг. 1, 2), който е ерозиран при тяхното издигане в резултат на холоценските движения по фронталните сегменти на рампата.

Следвайки логиката на добре документиранни глациални и пери-/параглациални обстановки (Cossart et al., 2013), както и на прецизните геохронологички изследвания, документиращи растежа на алувиалните конуси (Benn et al., 2006), може да се предположи обосновано, че плейстоцен–къснохолоценското нарастване на конуса на р. Глазне е резултат основно от серия катастрофални прииждания. За това говорят и данните за наличието на извънредно големи късове в ЮИ част на гр. Банско, район Грамадето. Транспортирането на такива големи блокове е възможно само в извънредни случаи на речно прииждане и може да е указание за събитийни явления от типа на скъсване на стена на временно езеро (Benn et al., 2006; Bařka et al., 2020). Ситуацията в район Грамадето изисква допълнителен анализ, но на базата на допълнителна оценка на релефа в долната част на долината на р. Демяница може да се предположи, че в диапазона Късен Плейстоцен–Холоцен ръкави на реката са преминавали през него. Това предположение се базира и на факта, че само голяма река може да транспортира блокове с подобни размери.

По-студеният и сух климат през Плейстоцена е причина да преобладава тревната растителност, като не е съществувал цялостен горски пояс, а отделни групи дървета. В края на Плейстоцена започва период с големи климатични промени, което благоприятства разширяването на горските площи. Въпреки същественото затопляне в началото на Холоцена (11,6 Ka) плътна горска покривка се формира няколко хилядолетия по-късно, в края на Борела преди около 8000 г. (Stefanova, 1998). Възстановената горска растителност води до частично стабилизиране на рехлите отложения. Логично е да се предположи, че това води до постепенно намаляване на обема кластичен материал, отлаган в речните корита и през Холоцена размерът на конуса се редуцира. От друга страна, представените данни позволяват да смятаме, че изнасянето на материал от планинския масив не е прекъсвало.

Съвременна седиментация

След направените речни корекции (постоянни – до 2014 г., временни насипни диги – и до

днес), ареалите на седиментация са добре установени – в участъка на водослива на реките Бъндерица и Демяница и непосредствено под него, в коригираното речно корито, и на север от града (фиг. 3). Възстановяване на характеристиките на седиментацията в обхвата на конуса на р. Глазне преди антропогенната намеса може да се направи на базата на извършения анализ на архивни карти и материали. В първата половина на XX век е била оформена широка зона на седиментация, заемаща долините дъна на реките Бъндерица и Демяница, включваща и най-горните части на р. Глазне (фиг. 3). Миграцията на материал към по-ниските части на конуса се е извършвала чрез периодичното активиране на системата радиално разположени долини/речни корита. Може да се предположи, че по-големите прииждания в по-долните части на конуса (под 1000 m н. в.) са водили до формиране на крайни и фронтални диги, които са блокирали даден канал и са причинявали миграция на канали (процес на *avulsion*). По този механизъм се е извършвало „разтоварването“ на кластичния материал в различни части на конуса. Това, което е сигурно, е че най-скорошните прииждания водят до заливане и отлагане на материал в западните части на гр. Банско.

Миграцията на канали и периодичното активиране на „сухи“, неактивни всяка година, речни корита, са типични характеристики на алувиални конуси с активна съвременна седиментация. Нещо повече, те са причината за равномерното нарастване и формирането на правилна форма на алувиалния конус. Важен е коментарът на Blair & McPherson (2009): „Неспособността да се разбере произходът на видимо „сплетената система от речни канали“ е причина за мнозина колеги да не разпознават главните градивни процеси, каквито са речните прииждания и дебритните потоци“. Всички данни насочват към тълкуването на водните потоци, довели до формирането на конуса на р. Глазне като дебритни потоци – за най-горните части на конуса, а като дебритни прииждания – за долните части.

За съвременната интензивност на тези процеси, и произтичащите от това високи скорости на седиментация, съдим по следните факти: 1) фронталният разседен сегмент на свързващата рампа е засипан от алувиалните седименти и в района на конуса няма морфоложки израз, 2) геометрията в план на речните долини, разположени до холоценския конус, която може да се тълкува като резултат от тяхното изтласкване встрани от бързорастящия депоцентър (фиг. 3).

Природни опасности

Алувиалните конуси са разпознати като един от най-рисковите, често заселвани от човека земни форми (NRC, 1996; Davies, McSaveney, 2008; Valjavec, Komac, 2019). Степента на природната опасност се определя от геоложки (наличие на кластичен материал и фактори, водещи до акумулирането му), геоморфоложки (характер на водосборите) и климатични фактори. Разработени и тествани са методики за оценка на различните фактори (Theule et al., 2012; Kadetova et al., 2016; Mazzorana et al., 2020) в различни обстановки (Wilford et al., 2005; Sepúlveda et al., 2015; Jakob et al., 2016; Bezak et al., 2020). Според дефиницията на NRC (1996) конусът на р. Глазне се характеризира като активен. Това се доказва чрез събитията от 1957 и 2010 г. Възможно е да е имало повече подобни събития, но към момента това е известната информация.

Анализът на събраните материали от водосборите и алувиалния конус дава възможност да се направи извода, че отчетените в последните години пикови отточни количества са много близки или дори надвишават критичните нива на оттока, необходими за инициране на дебритно речно прииждане. Теренните данни, както и наличната документация от наскорошните събития, показват, че в последните години тези критични нива се превишават всеки 4–5 години. Следователно, може да се каже, че алувиалната система функционира в метастабилен режим, чието нарушаване е въпрос на време.

Кватернерните залеждания и синледниковите и постледниковите периглациални процеси са причина за обилието на неспоен кластичен материал в много от долините, отводняващи масивите на Рила и Пирин. Продължаващото издигане на тези хорстове неминуемо води до процеси, чрез които този материал се изнася към планинските подножия. Случаят с р. Глазне показва ясно, че тези процеси (дебритни потоци и дебритни речни прииждания) са ефективни и с висока повтораемост в ситуации на големи водосбори със значителен отток. За по-малките водосбори може да се очаква, че транспортирането на материал се извършва с много по-малка честота и то в случаи на екстремни валежни обстановки.

Защо тези процеси не са известни за други големи реки в Пирин? Ясна причина за това е антропогенната намеса и построяването на каскадите Пиринска и Санданска Бистрица. И, не на последно място, липсата на системна документация на катастрофалните събития в България.

Заклучение

Направеният мултифакторен анализ на съвременната ситуация с конуса на р. Глазне налага ревизиране на по-ранните идеи за „фосилния“ характер на тази структура. Представените тук данни и интерпретации дават основание конусът да се разглежда като активен и то засегнат от катастрофални природни процеси с висока честота на повторемост. Необходимо е вземането на превантивни мерки, а също така е препоръчително да се инсталира мониторингова система за предупреждение в случай на речни прииждания.

Благодарности: Ведрин Желязков осигури архивни карти на района, също така поддържаният от него сайт kade.si даде възможност за бърз анализ и съпоставка на различни картни

източници. Задължени сме на д-р А. Радулов за анализа на съвременната разломна мрежа и дискусията по кватернерната еволюция. Д-р С. Димитров предостави снимков материал от безпилотен самолет на части от коритото на р. Глазне. Я. Герджиков е благодарен на Андрей Андреев и Росица Атанасова за възможността за престой в Банско в периода 2007–2014 г. Настоящото изследване е проведено във връзка с изпълнението на Националната научна програма (ННП) „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“, одобрена с Решение на МС № 577/17.08.2018 г. и финансирана от МОН (Споразумение № Д01-322/18.12.2019). Благодарни сме за внимателния прочит, коментарите и бележките на анонимен рецензент, които помогнаха за окончателното оформяне на материала.

Литература References

- Athanassios, G., S. Shanov, G. Drakatos, N. Dobrev, S. Sboras, Ch. Tsimi, G. Frangov, S. Pavlides. 2005. Active fault segmentation in southwest Bulgaria and Coulomb stress triggering of the 1904 earthquake sequence. – *J. Geodyn.*, 40, 2, 316–333, <https://doi.org/10.1016/j.jog.2005.07.017>.
- Ballantyne, C. K. 2002. Paraglacial geomorphology. – *Quat. Sci. Rev.*, 21, 18, 1935–2017, [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(02\)00005-7](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(02)00005-7).
- Bařka, J., V. Vilimek, E. Štefanová, S. J. Cook, A. Emmer. 2020. Glacial lake outburst floods (GLOFs) in the Cordillera Huayhuash, Peru: historic events and current susceptibility. – *Water*, 12, 10, 2664, <https://doi.org/10.3390/w12102664>.
- Batakliiev, I. 1927. In the valley of Banderitsa river. – *Bulgarian Tourist J.*, 4, 58–62 (in Bulgarian).
- Benin, N. 2008. History and culture of Bansko. – *Bull. Regional Historical Museum – Rousse*, 8, 356–365 (in Bulgarian).
- Bozilova, E. 1975. Pollen analytical investigations in North-eastern Pirin Mountain. – *Ann. Univ. de Sofia, Fac. Biol.*, 69, 2, 20–25.
- Benn, D. I., L. A. Owen, R. C. Finkel, S. Clemmens. 2006. Pleistocene lake outburst floods and fan formation along the eastern Sierra Nevada, California: implications for the interpretation of intermontane lacustrine records. – *Quat. Sci. Rev.*, 25, 21–22, 2729–2748, <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.02.018>.
- Bezák, N., J. Jež, J. Sodnik, M. Jemec Auflič, M. Mikoš. 2020. An extreme May 2018 debris flood case study in northern Slovenia: analysis, modelling, and mitigation. – *Landslides*, 17, 2373–2383, <https://doi.org/10.1007/s10346-019-01325-1>.
- Blair, T. C., J. G. McPherson. 2009. Processes and forms of alluvial fans. – In: Parsons, A. J., A. D. Abrahams (Eds). *Geomorphology of Desert Environments*. Dordrecht, Springer Netherlands, 413–467, https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5719-9_14.
- Bowman, D. 2019. *Principles of Alluvial Fan Morphology*. Dordrecht, Springer Netherlands, 164 p., <https://doi.org/10.1007/978-94-024-1558-2>.
- Brenna, A., N. Surian, M. Ghinassi, L. Marchi. 2020. Sediment-water flows in mountain streams: Recognition and classification based on field evidence. – *Geomorphology*, 371, 107–413, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107413>.
- Bull, W. B. 2008. *Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology*. Wiley-Blackwell, 328 p.
- Church, M., M. Jakob. 2020. What is a debris flood? – *Water Resour. Res.*, 56, 8, <https://doi.org/10.1029/2020WR027144>.
- Cossart, E., D. Mercier, A. Decaulne, T. Feuillet. 2013. An overview of the consequences of paraglacial landsliding on deglaciated mountain slopes: typology, timing and contribution to cascading fluxes. – *Quaternaire*, 24, 1, 13–24, <https://doi.org/10.4000/quaternaire.6444>.
- Davies, T. R., M. J. McSaveney. 2008. Principles of sustainable development on fans. – *J. Hydrol. (New Zealand)*, 47, 1, 43–65.
- Grigorova, E., D. Sokerova, S. Stoyanov, Tz. Tzankov. 1966. Seismo-tectonic characteristics of Razlog earthquake (July 4, 1964). – *Bull. Geol. Inst.*, 15, 289–311 (in Bulgarian with English abstract).
- Grunewald, K., J. Scheithauer. 2011. *Landscape Development and Climate Change in Southwest Bulgaria (Pirin Mountains)*. Dordrecht, Springer Netherlands, 161 p., <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9959-4>.
- Grunewald, K., E. Gachev, G. Kast, P. Nojarov, M. Panayotov. 2016. Meteorological observations in Pirin National Park.
- Jakob, M., J. J. Clague, M. Church. 2016. Rare and dangerous: recognizing extra-ordinary events in stream channels. – *Can. Water Resour. J.*, 41, 1–2, 161–173, <https://doi.org/10.1080/07011784.2015.1028451>.
- Jaranoff, D. 1960. *La Tectonique de La Bulgarie*. Sofia, Tehnika, 282 p. (in Bulgarian with French abstract).

- Kadetova, A. V., A. A. Rybchenko, E. A. Kozireva, V. A. Pelinen. 2016. Debris flows of 28 June 2014 near the Arshan village (Siberia, Republic of Buryatia, Russia). – *Landslides*, 13, 1, 129–140, <https://doi.org/10.1007/s10346-015-0661-7>.
- Kellerer-Pirklbauer, A., J. Eulenstein. 2019. Landforms and rural development: the evolution of human settlements at alpine alluvial fans in the Admont Valley, Austria, since 1784 AD. – *Revista de Geomorfologie*, 21, 1, 29–43, <https://doi.org/10.21094/rg.2019.011>.
- Mazzorana, B., E. Ghiandoni, L. Picco. 2020. How do stream processes affect hazard exposure on alluvial fans? Insights from an experimental study. – *J. Mount. Sci.*, 17, 4, 753–772, <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5788-x>.
- Meyer, B., R. Armijo, D. Dimitrov. 2002. Active faulting in SW Bulgaria: possible surface rupture of the 1904 Struma earthquakes. – *Geophys. J. Intern.*, 148, 2, 246–255, <https://doi.org/10.1046/j.0956-540x.2001.01589.x>.
- Miller, B. A., J. Juilleret. 2020. The colluvium and alluvium problem: Historical review and current state of definitions. – *Earth Sci. Rev.*, 209, 103316, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103316>.
- Marinova, R., I. Zagorchev. 1990. *Geological Map of Bulgaria on Scale 1:100 000. Razlog Map Sheet*. Sofia, Committee of Geology and Mineral Resources.
- National Research Council (NRC). 1996. *Alluvial Fan Flooding*. Washington, DC, National Academies Press, 172 p.
- Nenov, T. 1969. New data on the pre-Wurm glaciation in the Pirin Mountains. – *Bull. Bulg. Geogr. Soc.*, 19, 181–183 (in Bulgarian).
- Norini, G., M. C. Zuluaga, I. J. Ortiz, D. T. Aquino, A. M. F. Lagmay. 2016. Delineation of alluvial fans from Digital Elevation Models with a GIS algorithm for the geomorphological mapping of the Earth and Mars. – *Geomorphology*, 273, 134–149, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.08.010>.
- Perissoratis, C., D. Mitropoulos. 1989. Late Quaternary evolution of the northern Aegean shelf. – *Quaternary Res.*, 32, 1, 36–50, [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(89\)90030-6](https://doi.org/10.1016/0033-5894(89)90030-6).
- Radulov, A., M. Yaneva, P. Stepancikova, I. Gerdjikov, T. Rockwell, Y. Donkova, H. Sana, J. Flasar, N. Nikolov. 2017. Structural evidence for hard linkage between the Predela and Haramibunar faults in Southwestern Bulgaria. – In: *National Scientific Conference with International Participation "GEOSCIENCES 2017", Short Comm.* Sofia, Bulg. Geol. Soc., 81–82.
- Rosen, P. 1928. V Pirina. – *Bulgarian Tourist J.*, 20, 3, 340–346 (in Bulgarian).
- Sanders, D., M. Ostermann. 2011. Post-last glacial alluvial fan and talus slope associations (Northern Calcareous Alps, Austria): A proxy for Late Pleistocene to Holocene climate change. – *Geomorphology*, 131, 3–4, 85–97, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.04.029>.
- Sepúlveda, S. A., S. M. Moreiras, M. Lara, A. Alfaro. 2015. Debris flows in the Andean ranges of central Chile and Argentina triggered by 2013 summer storms: characteristics and consequences. – *Landslides*, 12, 1, 115–133, <https://doi.org/10.1007/s10346-014-0539-0>.
- Stefanova, I. 1998. Postglacial formation and development of coniferous belt in the Northern Pirin Mts. – In: *Proceedings Scientific Papers, Jubilee Scientific Conference "70th Anniversary of the Forest Research Institute"*, 6–7 October 1998, Sofia, 326–330.
- Stefanova, I., B. Ammann. 2003. Lateglacial and Holocene vegetation belts in the Pirin Mountains (southwestern Bulgaria). – *The Holocene*, 13, 1, 97–107, <https://doi.org/10.1191/0959683603hl597rp>.
- Stefanova, I. N., Ognjanova-Rumenova, W. Hofmann, B. Ammann. 2003. Late Glacial and Holocene environmental history of the Pirin Mountains (SW Bulgaria): a paleolimnological study of Lake Dalgoto (2310 m). – *J. Paleolimnology*, 30, 95–111, <https://doi.org/10.1023/A:1024746818627>.
- Stoykov, S., T. Nenov. 1970. Stratigraphie des dépôts pliocènes–quaternaires de la partie occidentale de la depression de Razlog. – *Ann. Univ. de Sofia, Fac. géol. et géogr.*, 62, 1–géol., 85–94 (in Bulgarian with French abstract).
- Theule, J. I., F. Liébault, A. Loye, D. Laigle, M. Jaboyedoff. 2012. Sediment budget monitoring of debris-flow and bedload transport in the Manival torrent, SE France. – *Nat. Hazards and Earth Syst. Sci.*, 12, 3, 731–749, <https://doi.org/10.5194/nhess-12-731-2012>.
- Tonkov, S., H. Panovska, G. Possnert, E. Bozilova. 2002. The Holocene vegetation history of Northern Pirin Mountain, southwestern Bulgaria: pollen analysis and radiocarbon dating of a core from Lake Ribno Banderishko. – *The Holocene*, 12, 2, 201–210, <https://doi.org/10.1191/0959683602hl535rp>.
- Tranos, M. D., V. G. Karakostas, E. E. Papadimitriou, V. N. Kachev, B. K. Ranguelov, D. K. Gospodinov. 2006. Major active faults of SW Bulgaria: implications of their geometry, kinematics and the regional active stress regime. – *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 260, 1, 671–687, <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2006.260.01.29>.
- Valjavec, M. B., B. Komac. 2019. Traditional versus modern settlement on torrential alluvial fans considering the danger of debris flows: a case study of the Upper Sava Valley (NW Slovenia). – *Open Geosci.*, 11, 1, 627–637, <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0050>.
- Westaway, R. 2006. Late Cenozoic extension in SW Bulgaria: a synthesis. – *Geol. Soc., London, Spec. Publ.*, 260, 1, 557–590, <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2006.260.01.24>.
- Wilford, D. J., M. E. Sakals, J. L. Innes, R. C. Sidle. 2005. Fans with forests: contemporary hydrogeomorphic processes on fans with forests in west central British Columbia, Canada. – *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 251, 1, 25–40, <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2005.251.01.03>.
- Yu, G.-A., W. Yao, H. Q. Huang, Z. Liu. 2020. Debris flows originating in the mountain cryosphere under a changing climate: A review. – *Prog. Phys. Geogr.: Earth and Environ.*, <https://doi.org/10.1177/0309133320961705>.

Постъпила на 22.12.2020 г., приета за печат на 19.04.2021 г.

Отговорен редактор Радослав Наков