HYDROLOGICKÉ PŘÍSTUPY V ANALÝZE DOPADŮ KLIMATICKÉ ZMĚNY VE VELEHORÁCH: VÝSLEDKY ČESKÝCH PROJEKTŮ V KYRGYZSTÁNU A PERU

Bohumír Janský[1], Miroslav Šobr[1], Jan Kocum[1], Julius Česák[1], Sergej Jerochin[2]

Abstrakt

V článku jsou prezentovány výsledky projektu české rozvojové spolupráce v Kyrgyzstánu „Analýza rizik a omezení důsledků protržení hrází vysokohorských jezer“ řešeného v letech 2004 - 2010 a projektu GAČR „Přírodní ohrožení pramenných oblastí Amazonky v důsledku globálních změn klimatu“ (2007 – 2009).

V podmínkách odlišného klimatu byla analyzována zrychlená dynamika ústupu horských ledovců v pohořích Tian – Shan a v západním pásmu Peruánských And a její dopady na změny hydrologického režimu pramenných toků. Nejmarkantnějším důsledkem změny klimatu a související deglaciace je vznik nových a protrhávání hrází existujících horských jezer.

Na území Kyrgyzstánu bylo vytipováno 328 potenciálně nebezpečných jezer, z nichž u 12 hrozí aktuální nebezpečí protržení. Speciální pozornost byla věnována Jezeru Petrova, kde byl zaznamenán mimořádně dynamický ústup ledovce, rychlý růst plochy hladiny a pokles stability morénové hráze v důsledku tání pohřbeného ledu.

Při výzkumu na dvou lokalitách v Peru bylo zaregistrováno úplné odlednění pohoří Cordillera de Chila v pramenné oblasti Amazonky v roce 2007. Instalované automatické hydrologické stanice registrují v posledních letech trend poklesu vodnosti řek. Klimatická stanice české výroby se satelitním přenosem, instalovaná u pramenů Amazonky ve výšce 5075 m n. m., je nejvýše položenou stanicí v Peru.

Klíčová slova: klimatická změna, ústup ledovců, změny hydrologického režimu, růst dynamiky přírodních rizikových procesů, průvalová jezera

1. Úvod

Intenzivní tání a ústup ledovců jsou pozorovány ve většině velehorských oblastí světa. Tavné vody z ledovců mění výrazně hydrologický režim pramenných řek a ovlivňují aktivizaci četných přírodních rizikových procesů, jako jsou sesuvy svahů, kamenné či bahenní proudy nebo dochází k porušení stability hrází vysokohorských jezer.

V horských oblastech Kyrgyzstánu se nachází kolem 2000 jezer s plochou přes 0,1 ha. Přibližně 20 % z nich je považováno za potenciálně nebezpečná vzhledem k dynamickému vývoji jejich plochy, hloubkových poměrů respektive růstu dynamiky termokrasových procesů v oblasti jejich hrází. Vlivem přeplňování pánví vodou z ledovců dochází k pravidelným přelivům hrází a rozvoji erozních procesů. Destabilizaci hrází působí rovněž tání pohřbeného ledu, jehož důsledkem vznikají nová termokrasová jezera přímo v tělese hráze. Podle poslední inventarizace [8] bylo 328 jezer označeno za potenciálně nebezpečná, 25 jezer je zařazeno do skupiny s vysokým stupněm ohrožení a 12 jezer hrozí aktuálním protržením. Od roku 1952 bylo na území tohoto státu registrováno 70 průvalů horských jezer. Odborně jsou jezera v Kyrgyzstánu sledována od roku 1966, v posledních 7 letech v rámci programů česko – kyrgyzské vědecké a rozvojové spolupráce. Z jednotlivých genetických typů jezer, které byly identifikovány na území Kyrgyzstánu, patří mezi nejvíce nebezpečná jezera proglaciální, jezera ve vnitromorénových depresích a jezera hrazená sesuvem. Glaciální jezera hrazená morénou přitom představují 47 % z celkového počtu potenciálně nebezpečných jezer. Většina jejich hrází byla vytvořena v období Malé doby ledové a představují typický nekonsolidovaný materiál blokové suti s častým výskytem pohřbeného ledu [10].

Největším zástupcem uvedeného genetického typu je Jezero Petrova s plochou 403 ha, které se postupně vyvinulo mezi čelem stejnojmenného ledovce a koncovou morénou. Nachází se v nadmořské výšce 3733 m n.m. na severovýchodním úpatí masivu Ak-Širjak ve středním Tian – Shanu. Region je charakteristický zřetelným kontinentálním klimatem s výraznou sezonální variabilitou. V zóně převládajícího západního proudění vzduchu spadne převážná část srážek v jarních a letních měsících, zimy jsou chladné a suché. Střední lednové, červencové a roční teploty na nedaleké klimatické stanici Tian–Shan: -20,8 °C (I.), 7,6 °C (VII.) a 4,6 °C (rok), průměrný roční úhrn srážek dosahuje jen 303 mm. Sněžná čára se podle našeho výzkumu nachází v nadmořské výšce kolem 4230 m. Ledovec Petrova má plochu 69,8 km² a je 12,3 km dlouhý. Jedná se o největší ledovec v povodí horního Narynu [6].

Projekt v Peru byl realizován ve dvou pramenných oblastech Amazonky – zdrojové oblasti říčního systému Ucayali – Apurímac a v pramenném území řeky Maraňon. Obě pramenné oblasti leží na území západního pásma Peruánských And (Cordillera Occidental), jehož dílčí pohoří běžně vystupují do nadmořských výšek nad 5000 m, přičemž ta nejvyšší dosahují svými vrcholy i přes 6500 m n. m. Obě pohoří, Cordillera Chila na jihu, respektive Cordillera Huayhuash ve střední části Peru, tvoří poměrně výrazný klimatický předěl mezi západní suchou oblastí při pobřeží Tichého oceánu, zde označovanou jako *Costa* a regiony náhorních plošin odvodňovaných pramennými toky Amazonky do Atlantského oceánu. Právě zmíněná poloha na rozhraní vlivů Tichého a Atlantského oceánu spolu s existencí zalednění ve vrcholových partiích jsou zásadními důvody, proč jsou tyto regiony zkoumány z hlediska projevů klimatické změny. Zatímco severní oblast pohoří Cordillera Huayhuash odpovídá vlhčí části náhorních plošin s dominantní rostlinou formací *páramos*, v jižní části na území pohoří Cordillera Chila dominuje suchá horská step, zde označovaná jako *puna seca.*

Západní svahy obou pohoří jsou převážně velmi suché a směrem k pobřeží Pacifiku kontinuálně přecházejí do polopouštních a pouštních oblastí peruánského pobřeží. Tento region byl výrazně narušen odlesněním již v koloniálním období a les se tu dnes vyskytuje pouze ostrůvkovitě, převážně ve formacích typu *lomas*, které za svoji existenci vděčí mlžné vrstvě *garúa* v rozmezí nadmořských výšek od cca 300 do 1000 m. Tento dlouhodobý charakter klimatu je periodicky narušován různě intenzivními projevy efektu El Niño, který je součástí fenoménu ENSO (El Niño – Southern Oscillation), zahrnující změny v systému mořských proudů i cirkulace atmosféry v rovníkové a subrovníkových oblastech Pacifiku. Tyto výrazné periodické poruchy na rozhraní hydrosféry a atmosféry vyvolávají řadu přírodních katastrofických procesů, které komplexně ovlivňují ekosystémy horských oblastí a negativně zasahují do života místních obyvatel. Při silných projevech efektu El Niño (např. 1982/83 a 1997/98) došlo ke zřetelnému vzestupu teplot doprovázenému přívalovými dešti. Ty zapříčiňují povodně spojené se sesuvy horských svahů, kamennými a bahenními proudy (debris flows), se zrychleným táním horských ledovců, které následně podmiňuje protrhávání hrází vysokohorských ledovcových jezer.

Východní svahy obou studovaných pohoří, odvodňované do Atlantského oceánu, mají zcela odlišný charakter než svahy západní. Jsou nejvzdálenějším územím, kam pronikají od Atlantiku vlhké pasátové větry navíc obohacované vláhou z Amazonie. Důsledkem toho je rovněž lepší zásobení ledovců sněhovými srážkami na východních svazích hor. Tomu odpovídá i větší rozsah zalednění a řádově vyšší množství odtékající vody ze zdrojových oblastí vodních toků [4, 5, 7].

2. Materiál a metody

2.1 Projekt v Kyrgyzstánu

Vývoj ledovce Petrova a jezera v jeho předpolí je možné sledovat od konce Malé doby ledové až do současnosti. Poznatky byly získány studiem historické literatury, geomorfologickým mapováním glaciálních sedimentů a analýzou leteckých a družicových snímků. Byly využity letecké snímky z let 1957 a 1980 a dale panchromatické satelitní

snímky SPOT z let 1990 a 1996 a Quickbird z roku 2006. V posledních letech bylo čelo ledovce pravidelně monitorováno rovněž pomocí přístroje GPS [6].

V letech 2006 a 2008 byla provedena batymetrická měření Jezera Petrova pomocí geodetické GPS a echolotu na 29 příčných profilech. Totální geodetická stanice Leica byla využita pro mapování půdorysu 35 termokrasových jezer ve střední, nejvíce ohrožené části hráze. U těchto jezer byly vyhotoveny rovněž batymetrické mapy a měření se u vybraných jezer v následujících letech opakovaloz důvodu zachycení dynamiky jejich vývoje. Pravidelně bylo monitrováno kolísání hladiny jezera a měřeny průtoky vody na řece Kumtor, jediném odtoku z jezera.

K posouzení stability morénové hráze byla opakovaně provedena některá geofyzikální měření. Tradiční metody geoelektrického profilování a gravimetrie byly doplněny o využití georadaru, dále metody dipólového elektromagnetického profilování (DEMP) a techniky spontánní polarizace (SP).

2.2 Projekt v Peru

V Peru navázalo terénní měření v letech 2007, 2008, 2009 a 2010 na průzkum z let 1999 a 2000, kdy autor organizoval dvě expedice k pramenům Amazonky. Výzkum byl prováděn většinou během zimního období jižní polokoule, během něhož se vyskytují minimální teploty vzduchu a srážky dosahují nejnižších úhrnů. Tyto podmínky jsou důležité pro korektní hydrografickou analýzu, protože všechny vodní toky s permanentním průtokem i během nejsušších období mohou být považovány za stálé toky. Vzhledem k potřebě zachycení co nejširšího rozmezí vodních stavů sledovaných toků byly v posledních letech zájmové oblasti navštíveny rovněž v letním období jižní polokoule, které je charakteristické nejvyšší srážkovou dotací v průběhu roku [5].

Kontinuální monitoring výšky hladin vodních toků, odpovídajících průtoků a meteorologických parametrů je od června 2008 založen především na systému automatických měřících zařízení od české firmy Fiedler-Mágr. Sestava klimatické stanice je složena z řídící a registrační jednotky typu M4016-G3 a jednotlivých meteorologických čidel s připojením příslušného měřícího kanálu. Pro sledování výšky hladiny toku byl zvolen přístroj Stela-1A s tlakovým snímačem. Přístroje provádí kontinuální měření ve většině případů v intervalu 10 minut s přesností na 1 mm. Vzhledem k tomu, že instalované stanice se nenacházejí v oblasti pokrytí jakýmkoli operátorem GSM, není jednotka doplněna o GSM modul pro telemetrický přenos dat sítí GPRS na internetový server. Klimatické stanice v obou zájmových oblastech jsou od října 2009 opatřeny modulem TAL 9601G amerického výrobce Iridium Satellite Inc. pro pravidelný satelitní transfer naměřených dat. Automatický přenos dat a parametrů prostřednictvím tohoto modulu na server umožňuje operativní prohlížení, editaci a konfiguraci měřených hodnot i parametrů včetně operativního řešení nastalé extrémní meteorologické situace a kontrolu funkčnosti celých měřících sestav. V případě doplnění hydrologických měrných zařízení o výše zmíněný modul by bylo možné využít vzniklou síť stanic i jako varovný systém zasíláním až třiceti nastavitelných SMS pro každý záznamový kanál nezávisle na ostatních. V daných profilech s instalovanými měřícími zařízeními je potřebné pravidelně provádět měření průtoků hydrometrickou vrtulí za účelem konstrukce konzumpčních křivek. V oblasti Cordillera Chila bylo v letech 2008, 2009 a 2010 provedeno cca 33 a v oblasti Cordillera Huayhuash cca 35 hydrometrování [6].

V každé zájmové oblasti byla vzhledem k absenci stanic státní monitorovací sítě nainstalována vždy jedna meteorologická stanice. Jedná se o kompletní stanice včetně člunkových srážkoměrů SR03 pro monitoring úhrnu dešťových srážek s přesností 0,1 mm. Takto osazené lokality umožňují přesnější analýzu srážkoodtokových procesů v povodí, popř. i tvorbu GIS modelů pro simulaci průběhu průtokových vln během extrémních situací. V rámci těchto dvou meteorologických stanic jsou k dispozici následující měřící kanály: teplota a vlhkost vzduchu ve výšce 2 m, pyranometr (sluneční radiace přímá i odražená), anemometr (rychlost a směr větru), člunkový srážkoměr, přízemní teplota vzduchu, teplota půdy v několika hloubkových úrovních. Stanice jsou osazeny z důvodu vyšší energetické náročnosti solárními panely pro bezúdržbový provoz.

3. Souhrn a diskuze výsledků

3.1 Projekt v Kyrgyzstánu

Vývoj Jezera Petrova lze exaktně sledovat od roku 1869, kdy byla koncová moréna ledovce Petrova akumulována v nadmořské výšce 3710 m. Podle Kaulbarse [9] se tehdy v čele ledovce nacházelo malé jezírko. V průběhu 2. poloviny 19. století ledovec z této pozice ustoupil, přičemž plocha jezírka se podle Davidova [3] v roce 1911 zvětšila na 0,2 – 0,3 km^2. Další výzkum z roku 1919 dokládá menší postup ledovce až na pozici závěrové morény z konce Malé doby ledové. V průběhu 20. a 30. let 20. století došlo k výraznému ústupu ledovce Petrova, přičemž v období 1943 – 1957 následoval opět jeho mírný postup. V roce 1947 dosáhlo Jezero Petrova plochy 0,85 km^2, přičemž v období 1911 – 1947 rostlo rychlostí 1,5 až 1,8 ha ročně [1]. Podle prvního leteckého snímku z roku 1957 mělo jezero plochu 0,96 km^2 přičemž dynamika růstu plochy poněkud poklesla na 1,1 ha ročně [2], což souvisí s růstem ledovce Petrova mezi léty 1943 a 1957.

Tab. 1: Vývoj plochy Jezera Petrova od počátku 20. století

rok	**plocha** [km^2]	**roční růst plochy** [m^2]
1911	0,2 – 0,3	-
1947	0,80	15 000 – 18 000
1957	0,96	11 000
1980	1,83	37 600
1995	2,78	63 000
2006	3,80	92 700
2009	3,95	77 000

V období 1957 – 1980 (viz. Tab. 1) narostla plocha jezera téměř dvojnásobně, přičemž roční růst činil 3,7 ha. Expanze jezera pokračovala velmi dynamicky v období 1980 – 1995, kdy se jezero každý rok zvětšovalo průměrně o 6,3 ha. Vedle růstu plochy došlo rovněž k výrazném nárůstu objemu jezera, protože ledovec Petrova opět zřetelně ustoupil a v jeho předpolí se objevila hluboká pánev. dosahující hloubek 60 až 70 m. Na základě hloubkových měření z let 1978 [12] a 1995 (materiály dolu na zlato Kumtor) i byly vyhotoveny mapy hloubek. Ty ukázaly, že jezero je tvořeno dvěma podélnými pánvemi oddělenými mělkovodní oblastí se čtyřmi ostrovy. V roce 2006 dosahoval ledovec Petrova v čelní frontě šíře 1,5 km, přičemž na vzdálenost 800 m byl ledovcový splaz ponořen do vod jezera. Mezi léty 2003 až 2006 ustupoval ledovec rychlostí 33 m ročně (viz. Tab. 2) a celkem se zkrátil přibližně o 100 metrů. V následujícím období (2006 – 2008) se pak roční ústup zrychlil na 44 m. Na základě našich pokračujících měření lze konstatovat, že zrychlený ústup ledovce Petrova pokračuje i v současné době a tento trend lze očekávat i v dalších letech.

Velmi rizikovým faktorem pro stabilitu jezerní hráze je existence pohřbeného ledu. Jeho postupnou degradaci doprovází poklesy reliéfu, sesuvy nestabilních morénových sedimentů, vznik nových a prohlubování již existujících termokrasových jezer [11]. Nejnebezpečnější vývoj probíhá ve střední, nejvíce zúžené části hráze. Zde se dynamický rozvíjí největší termokrasové jezero tzv. Modrý záliv s plochou kolem 9 ha, maximální hloubkou 21 m a střední hloubkou 5,1 m. Obsahuje kolem 745 000 m^3 vody. Po opakovaném batymetrickém měření v letech 2006 a 2008 bylo zjištěno, že jeho plocha narostla o 2 % a objem o 4 %, tj. kolem 30 000 m^3.

Tab. 2: Ústup ledovce Petrova v letech 1980 – 2008

období	průměrný ústup [m]	střední roční ústup [m/rok]
1980-1990	380	38
1990-1999	390	43
1999-2003	123	31
2003-2006	100	33
2006-2008	88	44

Na základě měření hloubek v roce 2006 a dalšího měření v roce 2008 bylo zjištěno, že Jezero Petrova dosahuje rozlohy 3,95 km^2, má maximální hloubku 69,3 m a zadržuje více než 60,3 milionů m^3 vody [6].

Opakovaná geofyzikální měření prokázala existenci pohřbeného ledu ve střední části hráze, přičemž v jejím nejužším místě zaujímá až 70 % jejího objemu. Tento fakt spolu s dalšími aktivními geomorfologickými procesy probíhajícími v oblasti hráze svědčí o tom, že nebezpečí protržení hráze Jezera Petrova je velmi vysoké. Vedle destabilizace morénové hráze přispívá k těmto obavám i rychlý růst plochy jezera a nárůst odtoku vody řekou Kumtor. V případě průvalu může podle našich výpočtů odtéct z jezera v první vlně až 37 miliónů m^3 vody. Povodňová vlna by v tomto případě zničila značnou část infrastruktury dolu na zlato Kumtor a ohroženo je i úložiště toxických odpadů s obsahem kyanidů a těžkých kovů. Povodňová vlna by poté zasáhla rozsáhlé území horního toku řeky Naryn včetně přehradní nádrže.

3.2 Projekt v Peru

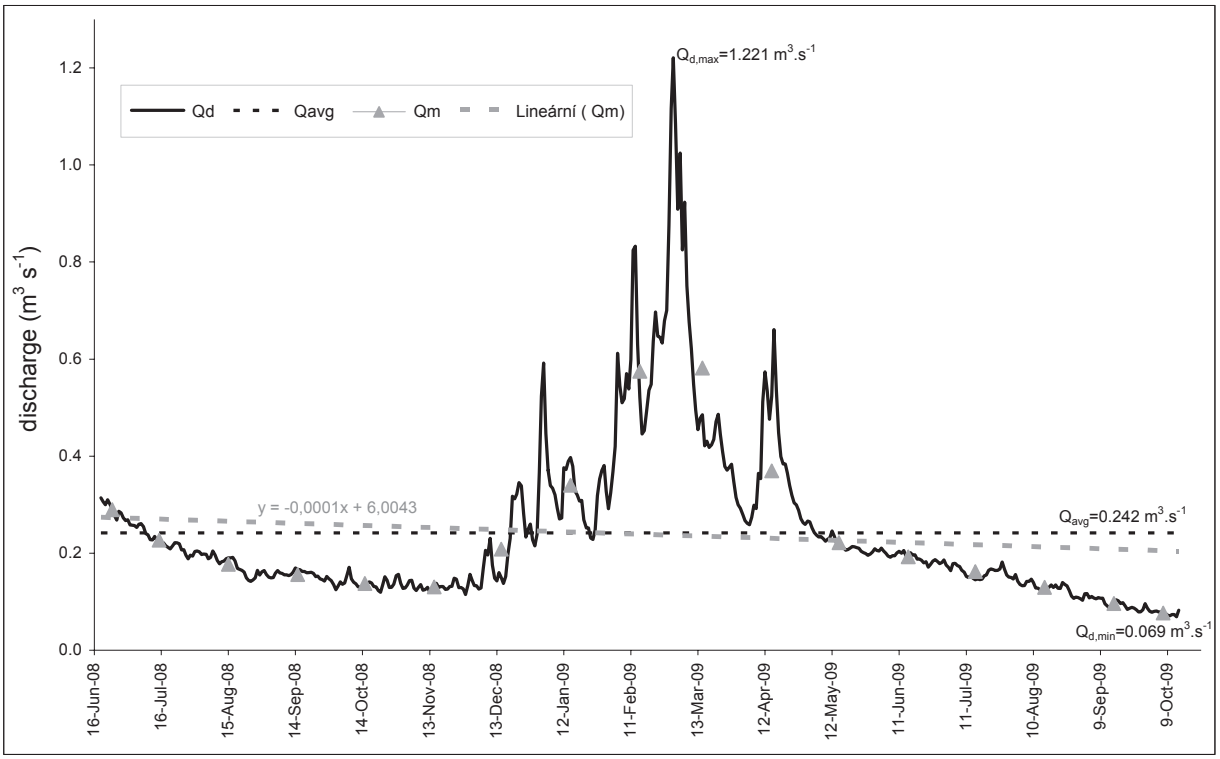
V západním pásmu Peruánských And byla založena síť experimentálního meteorologického a hydrologického monitoringu, přičemž se jedná o oblasti, které jsou určující pro formování extrémních odtokových epizod ovlivněných současnými změnami klimatu. Síť automatických zařízení pro monitoring vybraných hydrometeorologických jevů instalovaná v zájmových povodích v pohořích Cordillera Chila a Cordillera Huayhuash by měla při správné funkci umožnit využití unikátní databanky pro detailní analýzy srážko-odtokových procesů, přičemž je v plánu její rozšíření o další vhodné profily. Získání informací o transformaci zvýšených průtoků v těchto oblastech je přitom klíčem k poznání doby postupu a transformace povodňových epizod v níže položených profilech na středních a dolních tocích. Do budoucna se počítá rovněž s využitím dat z automatických stanic pro potřeby předpovědní služby při vzniku významných hydrologických epizod. Implementace těchto profilů v rámci hlásné varovné služby by měla významně napomoci k ochraně obyvatelstva před negativními důsledky globálních změn klimatu.

Při detailní hydrografické analýze *pramenné oblasti Amazonky* (v rámci dvou českých a jedné česko-peruánské expedice v letech 1995, 1999 a 2000) byl stanoven její hlavní pramenný tok na základě přesných geodetických měření v terénu a opakovaného hydrometrování. V rámci posledního projektu byla otevřena otázka deglaciace ve velehorských podmínkách v závislosti na recentních změnách klimatu a jejích důsledků pro vodní zdroje v území.

Na základě hydrografického rozboru uvádíme, že nelze jednoznačně určit hlavní a jediný pramen Amazonky, ale že se jedná o pramennou oblast se čtyřmi hlavními zdrojnicemi. Přesto nejvíce z uvažovaných kritérií (délka toku, plocha povodí, střední průtok) hovoří pro řeku Carhuasantu jako hlavní pramen Amazonky. Jedním z cílů tohoto projektu bylo potvrzení této domněnky i pomocí detailní analýzy odtokových poměrů v jednotlivých dílčích povodích. Carhuasanta a Apacheta jsou výrazně vodnější než ostatní toky v zájmové oblasti v pohoří Cordillera Chila. V letech 1999 a 2000 byly naměřené okamžité průtoky Apachety vyšší než průtoky Carhuasanty. Průtok Carhuasanty byl však uměle redukován převodem vody z jejího povodí kanálem do povodí Lloquety. Při započtení tohoto průtoku vykazovaly obě řeky podobnou vodnost. V rámci terénního průzkumu v letech 2008, 2009 a 2010 byly

zjištěny poněkud odlišné údaje. V průběhu let 1999–2010 postupně narůstal průtok Carhuasanty vzhledem k ostatním zdrojnicím. V letech 2009 a 2010 dosahovaly již okamžité průtoky ve výústním profilu Carhuasanty vyšší hodnoty než průtoky Apachety. Hydrometrické charakteristiky vodních toků (např. specifický odtok) v pramenné oblasti Amazonky vypočtené v jednotlivých sledovaných obdobích ukazovaly na významný vyrovnávací charakter odtoku Carhuasanty v průběhu roku, přičemž byl tento fakt potvrzen především během nejsušších period. Vzhledem k tomu, že se v zájmové oblasti od roku 2007 již nenachází žádný ledovec, souvisí odtoková vyrovnanost Carhuasanty s výskytem humolitů na bázi údolí vázaných na vegetační formaci *champa.* To má za následek vyšší retenční a retardační schopnost povodí Carhuasanty. Pro Carhuasantu jako hlavní pramenný tok Amazonky hovoří tedy dvě ze tří hlavních hydrografických kritérií – největší plocha povodí a největší vodnost. Na druhou stranu, nejdelším trvalým vodním tokem pramenné oblasti je Ccaccansa. I proto se domníváme, že jediný pramen Amazonky nelze jednoznačně určit. Jsme toho názoru, že severní svah masivu Cordillera Chila o rozloze 57,1 km^2 a soutok čtyř zdrojnic řeky Lloquety – Carhuasanty, Apachety, Ccaccansy a Sillanque, lze považovat za pramennou oblast Amazonky [4, 5].

Za účelem zhodnocení reakce odtokových poměrů na recentní deglaciaci v tomto území byl popsán trend průměrných denních a měsíčních průtoků v závěrovém profilu na řece Lloqueta. Zvláště trend měsíčních průměrů vykazuje během sledovaného období pokles a potvrzuje očekávanou negativní souvislost s ústupem ledovců a dlouhodobé sněhové pokrývky v oblasti masivu Nevado Mismi. Při formulování závěrů je však třeba brát na zřetel dosud relativně krátkou časovou řadu průtoků (Obr. 1).



Obr. 1: Průměrné denní a měsíční průtoky a linie trendu vodnosti v profilu Lloqueta (po soutoku 4 hlavních zdrojnic Amazonky) v období 19. 6. 2008 – 14. 10. 2009. Hydrologická stanice Přírodovědecké fakulty UK Praha.

V *pramenné oblasti řeky Carhuacocha* (hlavní pramenná oblast Marañonu) došlo k opakovanému poškození automatických měřících stanic. K dispozici je pouze cca půlroční řada vodních stavů řeky Carhuacocha pod jezerem Cuisa a dále data z automatické klimatické stanice v lokalitě Queropalca od října 2009 do současnosti. Analýzu odtoku je tedy možno provést pouze na základě dat z vlastního měření průtoků. Celé povodí nad

jezerem Carhuacocha je charakteristické glaciálním odtokovým režimem, který však nevykazuje žádný signifikantní denní chod. Tavné vody z ledovců postupně protékají kaskádou tří relativně velkých a objemných jezer, která odtok výrazně transformují. Po zahrazení údolí sesuvem vzniklo nové jezero, jehož hráz nasměrovala hlavní průtok vody podzemními kanály do jedinečného proglaciálního jezera Cangrajanca. To je kromě tohoto podzemního přítoku napájeno vodou z telících se ledovců, které do něj padají z masivu hory Yerupaja. Jezero je přitom značně nestabilní a v minulosti se po naplnění ledovci pravidelně protrhávalo, a to přibližně v intervalu 10 let. Toto mimořádně dynamicky se vyvíjející jezero zasluhuje permanentní pozornost vzhledem k tomu, že jeho vývoj je přímým důsledkem oteplování klimatu a ústupu zalednění v pohoří Cordillera Huayhuash. Jeho průtrže představují značné ohrožení pro níže ležící vesnici Queropalca. Dynamika odlednění je však v pohoří Cordillera Huayhuash daleko nižší ve srovnání se suchou oblastí Cordillera Chila na jihu Peru. Rozhodující měrou se zde uplatňují sněhové srážky, které dosahují výrazně vyšších hodnot ve středním Peru, což je důsledek průniku pasátových vzduchových hmot z Amazonie a periodických vlivů efektu El Niño, který je mnohem intenzivnější v severních a středních Peruánských Andách.

Poděkování

Příspěvek byl vypracován s finanční podporou výzkumných projektů: výzkumný záměr MŠM 0021620831 „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“

Literatura

[1] AVSJUK, G. A.,1953. Lednik Petrova (Petrov Glacier). Raboty Tian Shanskoi geograficeskoi stancii. Vyp. 2a, Izd. AN SSSR.

[2] BONDAREV, L. G. ,1963. Ocerki po oledeneniju massiva Ak-Shiirak (Studies on glaciation of the Ak-Shijrak massive). Kirgizija, Frunze. 203 s.

[3] DAVYDOV, L. K.,1927. Lednik Petrova (Petrov Glacier). Tp. Gidromet. Instituta, t. 1, vyp. 1, Taskhent.

[4] JANSKÝ, B., 2001. Nuevo levantamiento geodésico – hidrográfico de los orígenes del Amazonas. Revista Geográfica, Número 128, Julio – diciembre 2000, p. 151 - 164. Institutoo Panamericano de Geografía e Historia. Lima, Mexico, D.F.

[5] JANSKÝ, B. et al., 2008. Los Orígenes del Amazonas. Monografie, španělsky. Ottovo nakladatelství, Praha. 248 s.

[6] JANSKÝ, B. – ENGEL, Z. – ŠOBR, M. – JEROCHIN, S. – BENEŠ, V. – ŠPAČEK, K., 2009. The Evolution of Petrov Lake and Moraine Dam Rupture Risk (Tien-Shan, Kyrgyzstan). Natural Hazards, Springer, 50, No. 1, s. 83 -96. ISSN 0921-030X.

[7] JANSKÝ, B. – ENGEL, Z. – KOCUM, J. – ŠEFRNA, L. – ČESLÁK, J., 2010. The Amazon River headstream area in the Cordillera Chila, Peru: hydrological and glaciological conditions. Journal of Hydrological Sciences. V recenzním řízení.

[8] JEROCHIN, S. A., 2002. Tipy gornykh ozer i kratkaya ikh kharakteristika (Typology of high-mountain lakes and their characteristic). Gosudarstvennoe agentstvo po geologii i mineralnym resursam pri pravitelstve Kyrgyzskoy Respubliki, Bishkek (Government Institute of Geology and Mineral Resources, Bishkek), 17 s.

[9] KAULBARS, A. V., 1875. Materialy po geografii Tian Shana, sobranyje vo vremja puteshestvija 1869 (Materials on geography of the Tien-Shan, collected within expedition in 1869). Zapiski RGO po obscei geografii, t. 5, Sankt Peterburk.

[10] MEINERS, S., 1997. Historical to Post Glacial glaciation and their differentiation from the Late Glacial period on examples of the Tian Shan and the N.W. Karakorum. GeoJournal 42, 2-3, s. 259–302.

[11] RICHARDSON, S. D. – REYNOLDS, J.M., 2000. Degradation of ice-cored moraine dams: implications for hazard development. In: *Nakawo, M., Raymond, C.F. and Fountain, A. (eds.) Debris-Covered Glaciers (Proceedings Seattle Workshop)*. IAHS Publication 264, pp 187-197.

[12] SEVASTIANOV, D. V. – FUNTIKOV, A. B., 1981. Novye dannye ob evolucii vysokogornogo ozera u konca lednika Petrova (New data on the evolution of the mountainous lake in front of the Petrov glacier). Izv. VGO, t. 113, vyp. 5, Nauka, s. 430 – 435.

Kontakty na autora

1 Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, e-mail: jansky.b@seznam.cz, sobr@natur.cuni.cz, kocum1@natur.cuni.cz, julekc@natur.cuni.cz

2 Vládní institut pro geologii a nerostné suroviny, Biškek, Kyrgyzstán