

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



ZPRACOVÁNÍ KLIMATOLOGICKÝCH MĚŘENÍ

Z EXPERIMENTÁLNÍCH LOKALIT V KYRGYZSTÁNU

A JEJICH SYNOPTICKO-KLIMATOLOGICKÁ INTERPRETACE

The Processing of Climatological Records from Experimental Locations in
Kyrgyzstan and the Synoptic-climatologic Interpretation Thereof

Diplomová práce

Bc. Petra Sýkorová

Vedoucí závěrečné práce: RNDr. Radan Huth, DrSc.

Praha, 2016

Zadání diplomové práce

Název práce: Zpracování klimatických měření z experimentálních lokalit v Kyrgyzstánu a jejich synopticko-klimatologická interpretace

Klíčová slova: klimatická měření, homogenita, cirkulační typy, synoptická klimatologie, Kyrgyzstán

Cíle práce:

1. Analýza homogenity klimatických časových řad z oblasti experimentálních povodí v Kyrgyzstánu a jejich případná homogenizace.
2. Základní klimatologické zpracování klimatických řad: základní statistiky, sezonalita, trendy.
3. Vytvoření klasifikace cirkulačních typů pro zájmové území s využitím klasifikačních metod podle Jenkinsona-Collisona, Becka, případně i dalších.
4. Synopticko-klimatická analýza zájmových stanic s využitím klasifikace(i) cirkulačních typů: kvantifikace vztahů mezi cirkulačními typy a klimatickými prvky, a to odděleně pro roční období. Rešerše se bude v přiměřené míře týkat všech čtyř cílů práce.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Zdroje dat:

klimatická měření: (a) dlouhodobá měření na klimatických stanicích v blízkosti experimentálních povodí v Kyrgyzstánu, (b) měření v experimentálních lokalitách v Kyrgyzstánu

atmosférická cirkulace: atmosférické reanalýzy (NCEP/NCAR, ERA-40 nebo 20CR) – volba v závislosti na období, pro které budou k dispozici klimatická data

analyzované období: podle dostupnosti klimatických dat

Základní literatura

Beck, C., Jacobeit, J., Jones, P.D., 2007: Frequency and within-type variations of large-scale circulation types and their effects on low-frequency climate variability in Central Europe since 1780. *Int. J. Climatol.*,27, 473-491.

DeGaetano, A.T., 2006: Attributes of several methods for detecting discontinuities in mean temperature series. *J. Climate*,19, 838-853.

Ducré-Robitaille, J.-F., Vincent, L.A., Boulet, G., 2003: Comparison of techniques for detection of discontinuities in temperature series. *Int. J. Climatol.*,23, 1087-1101.

Huth, R., et al., 2008: Classifications of atmospheric circulation patterns: recent advances and applications. *Ann. N. York Acad. Sci.*,1146, 105-152.

Jones, P.D., Hulme, M., Briffa, K.R., 1993: A comparison of Lamb circulation types with an objective classification scheme. *Int. J. Climatol.*,13, 655-663.

Peterson, T.C., et al., 1998: Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: A review. *Int. J. Climatol.*,18, 1493-1517.

Philipp, A., et al., 2010: Cost733cat - A database of weather and circulation type classifications. *Phys. Chem. Earth*,35, 360-373.

Datum zadání:

8.1.2014

.....
studentka: Bc. Petra Sýkorová

vedoucí práce: RNDr. Radan Huth, DrSc.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne 24. 4. 2016

.....

Bc. Petra Sýkorová

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu práce, RNDr. Radanovi Huthovi, DrSc. za jeho čas, cenné připomínky, pozitivní přístup a v neposlední řadě za to, že se mnou měl trpělivost. Také bych ráda poděkovala RNDr. Miroslavu Šobrovi, Ph.D. za poskytnutá klimatická data, bez kterých by tato práce nevznikla.

Abstrakt

Tým KFGG PřF UK se podílel na intenzivním výzkumu v oblasti kyrgyzských ledovcových jezer. Součástí výzkumu byl i sběr klimatických dat na třech meteorologických stanicích v lokalitách Kolor (2 700 m n. m.) a Adygine (3 500 m n. m. a 3800 m n. m.). Cílem této práce bylo pomocí metody SNHT (Standard Normal Homogeneity Test) analyzovat homogenitu klimatických dat naměřených v experimentálních lokalitách, podrobit je základnímu klimatologickému zpracování, vytvořit pro zájmové území pomocí metody Jenkinsona a Collisona klasifikaci cirkulačních typů a nakonec kvantifikovat vztahy mezi jednotlivými cirkulačními typy a hodnotami vybraných klimatických prvků. Výsledkem analýzy jsou homogenizované klimatické řady pro stanici Adygine H (3 800 m n. m.) a shrnutí základních statistik a trendů klimatických prvků v oblasti. Dále byl pro období srpen 2007-červenec 2011 vytvořen katalog cirkulačních typů a nakonec byly analyzovány a shrnuty vztahy mezi jednotlivými cirkulačními typy a projevy klimatických prvků (teploty vzduchu, srážkami a globálním zářením). Výsledky práce mohou být použity k identifikaci typů spojených s průvaly ledovcových jezer.

Klíčová slova: klimatická měření, homogenita, cirkulační typy, synoptická klimatologie, Kyrgyzstán

Abstract

The Charles University Faculty of Science KFGG team took part in an intensive research in the area of Kyrgyz glacial lakes. The collecting of records from three meteorological stations in the locations of Kolor (2,700 m above sea level) and Adygine (3,500 and 3,800 meters above sea level) was part of the research. The aim of this thesis was to analyze the homogeneity of climatic data measured in experimental locations using the SNHT method (Standard Normal Homogeneity Test), process the data using general climatological processes, create a classification of circulation types for the area of interest using Jenkinson's and Collinson's method, and finally, to quantify the relationships between individual circulation types and the values of chosen climatic elements. The analysis results are homogenized climatic sets for the Adygine H station (3,800 m above sea level) and a summary of basic statistics and trends of climatic elements in the area. Furthermore, a catalogue of circulation types was created for the period from August 2007 to July 2011, and finally, the relationships between individual circulation types and manifestations of climate elements (air temperature, precipitation and global radiation). The results of this thesis may be used to identify the types connected with bursts of glacial lakes.

Key words: climatological records, homogeneity, circulation types, synoptic climatology, Kyrgyzstan

Obsah

1. Úvod.....	8
1.1. Cíle práce	8
1.2. Výzkumné projekty v experimentálních lokalitách	10
2. Literární rešerše problematiky	11
2.1. Testování homogenity dat.....	11
2.2. Klimatologické zpracování dat	15
2.3. Klasifikace cirkulačních typů.....	17
2.3.1. Lambova klasifikace	18
2.4. Synopticko-klimatická analýza	20
3. Fyzicko-geografická charakteristika zájmového území.....	22
3.1. Geologická stavba.....	22
3.2. Geomorfologie.....	23
3.3. Klima	24
3.4. Zalednění.....	25
3.5. Hydrologické poměry.....	26
3.6. Nebezpečná jezera	27
3.7. Půdní poměry	28
3.8. Živá příroda.....	28
4. Zpracování klimatických měření z experimentálních lokalit Adygine a Koltor	30
4.1. Použitá data	30
4.1.1. Data z experimentálních lokalit v Kyrgyzstánu	30
4.1.2. Dlouhodobá měření	32
4.2. Použité metody.....	35
4.2.1. Analýza homogenity dat z experimentálních lokalit	35
4.2.2. Klimatologické zpracování	38
4.2.4. Synopticko-klimatologická analýza	43
5. Výsledky	46
5.1. Homogenizace.....	46
5.1.1. Adygine H.....	46
5.1.2. Adygine D.....	51
5.1.3. Koltor	52
5.2. Klimatologické zpracování dat	54
5.2.1. Teplota vzduchu	54
5.2.2. Srážky.....	61
5.2.3. Vítr.....	62

5.2.4.	Globální záření	65
5.3.	Klasifikace cirkulačních typů.....	67
5.3.1.	Sezonalita	68
5.4.	Synopticko-klimatologická analýza	70
5.4.1.	T _{max}	70
5.4.2.	T _{min}	72
5.4.3.	Srážky.....	73
5.4.4.	Sluneční záření.....	74
5.4.5.	Shrnutí výsledků synopticko-klimatologické analýzy	75
6.	Diskuze	83
7.	Závěr.....	87
	Seznam použité literatury	88
	Seznam tabulek	93
	Seznam obrázků	94

1. Úvod

Globální změna klimatu má mnoho projevů; mezi jeden z nejčastěji diskutovaných patří ústup ledovců. Výzkumný tým katedry fyzické geografie a geologie zkoumal souvislost mezi změnou klimatu a rostoucí hrozbou průvalů ledovcových jezer v Kyrgyzstánu. Rostoucí průměrná teplota vzduchu způsobuje ústup ledovců pokrývajících vrcholy kyrgyzských hor. Tavná voda z ledovců plní stávající ledovcová jezera a vytváří nová. Zvýšený přítok pak může vést k průvalu jezer a tvorbě povodňové vlny, která se rychle šíří strmými údolními směrem k osídleným oblastem.

Ve vybraných výzkumných lokalitách byly hodnoceny změny stavu rizikových vysokohorských jezer v závislosti na globální změně klimatu a na změnách morfologie ústupového ledovce. Poté byla vyhodnocena nebezpečnost jednotlivých typů jezer. Nakonec se výzkum zaměřil na monitorování těch jezer, která byla označena jako nejnebezpečnější.

Mezi nejnebezpečnější jezera patřila i ta v údolích Adygine a Koltor, ležících na severním svahu Kyrgyzského hřbetu. V dosahu povodňových vln, které by vznikly průvalem jezer v těchto lokalitách, se nachází i hustě osídlená Čujská nížina, není tedy divu, že zde probíhal intenzivní výzkum. Součástí měření byla i klimatická data, která mám v této studii za úkol zpracovat.

U dat byla nejprve analyzována homogenita, poté byla podrobena základnímu klimatologickému zpracování. Vrcholem analýzy bylo vytvoření klasifikace atmosférické cirkulace v oblasti Kyrgyzstánu a kvantifikace vztahů mezi výskyty jednotlivých cirkulačních typů a projevy přízemních klimatických prvků.

1.1. Cíle práce

Cíle práce zněly následovně:

1. analýza homogenity klimatických časových řad z oblasti experimentálních povodí v Kyrgyzstánu a jejich případná homogenizace
2. základní klimatologické zpracování klimatických řad: základní statistiky, sezonalita, trendy
3. vytvoření klasifikace cirkulačních typů pro zájmové území s využitím klasifikačních metod podle Jenkinsona-Collisona, případně i dalších

4. synopticko-klimatická analýza zájmových stanic s využitím klasifikace cirkulačních typů: kvantifikace vztahů mezi cirkulačními typy a klimatickými prvky, a to odděleně pro roční období

1.2. Výzkumné projekty v experimentálních lokalitách

Výzkumný tým Katedry fyzické geografie a geoekologie PřF UK se mezi lety 2004 až 2013 podílel na projektech, jejichž předmětem zájmu byla vysokohorská ledovcová jezera.

Projekt „Monitoring vysokohorských jezer a ochrana obyvatelstva před katastrofálními následky povodní vzniklých průtržemi morénových hrází“ probíhal v letech 2004-2006.

Cílem byla

- a) příprava podkladů pro zajištění monitorování ledovcových jezer a sedimentů, tvořících čelní morénové či sesuvné práce,
- b) vyhodnocení průběžných změn stavu rizikových vysokohorských jezer v závislosti na globálním oteplování klimatu a na změnách morfologie ústupového ledovce a
- c) vyhodnocení nebezpečnosti jednotlivých typů jezer a mechanismů průvalů v současnosti a v budoucnosti počítačovým modelováním v závislosti na typu jezera, geomorfologii údolí a stupni osídlení krajiny.

Projekt „Analýza rizik a omezení důsledků protržení hrází vysokohorských jezer“ probíhal v letech 2007-2010 a jeho cílem bylo

- a) zhodnocení nebezpečnosti konkrétních objektů,
- b) riziková analýza údolí Ala Arča,
- c) vybudování stálé výzkumné a monitorovací stanice,
- d) zabezpečení hráze jezera Koltor a
- e) prognózní zhodnocení klimatických trendů a vývoje zalednění a jezer v oblasti zkoumaných horských hřebenů.

Navazující projekt „Glacier hazards in Kyrgyzstan: Implications for resource development and water security in Central Asia“ probíhal v letech 2012-2013 a studoval

- a) klimatická rizika v souvislosti s možným průvalem ledovcových jezer
- b) vliv zkoumaných jevů na vodní zdroje
- c) spojitost problematiky s antropogenními riziky

Výzkum byl prováděn převážně v oblasti severního Kyrgyzstánu, kde se vyskytuje nejvyšší počet nebezpečných jezer. Prozkoumáno bylo 32 převážně vysokohorských jezer. Výsledky projektů byly publikovány v závěrečných zprávách (Černý et al., 2007, Černý et al., 2010) a zároveň byly v roce 2013 představeny formou výstavy Deset let výzkumu nebezpečných jezer v Kyrgyzstánu (Jánský et al., 2013).

2. Literární rešerše problematiky

Cílem této práce je formou literární rešerše představit náhled do problematiky testování homogenity dat, zpracování klimatických měření, klasifikací polí atmosférické cirkulace a synopticko-klimatických analýz.

2.1. Testování homogenity dat

V současné době je velkým tématem globální změna klimatu. Dlouhodobá klimatická měření jsou analyzována za účelem odhalení nových trendů u klimatických prvků, ovšem aby z nich bylo možné vyvodit smysluplné závěry, je nutné podrobovat zkoumaná data analýze homogenity (Robitaille et al., 2003). Klimatická data totiž mohou obsahovat nehomogenity způsobené ne-klimatickými faktory – přesunem stanice, výměnou či upgradem měřících přístrojů na stanici, změnou metody měření nebo i personálu. V takových případech se v datech objeví náhlá skoková změna v průměru.

Významně se na klimatických datech odráží například i změna aktivního povrchu v okolí stanice, což lze pozorovat například na stanici Praha-Klementinum, jejíž měření teploty vzduchu jsou ovlivněna městským tepelným ostrovem – teplota vzduchu je zde vyšší než na stanicích nacházejících se mimo urbanizovanou oblast a tento rozdíl se s rozšiřující se zástavbou, rostoucím počtem obyvatel a zvětšující se spotřebou energie ještě zvyšuje, což znamená, že se při dlouhodobých měřeních teploty vzduchu objeví jako rostoucí trend, který může být mylně považován za trend přirozený (Brázdil a Budíková, 1999). Ne-klimatické faktory tak mohou způsobit změny, které se projevují nejen skokově, ale i postupným vývojem (tedy právě vznikem trendu).

Dá se říct, že čím je datová řada delší, tím větší je pravděpodobnost, že jsou naměřená data ovlivněna některým z výše zmíněných faktorů, jak je ale patrné z této práce, nehomogenity mohou obsahovat i relativně krátkodobá měření v dočasných, experimentálních lokalitách.

Trendy a změny v klimatických datech způsobené ne-klimatickými faktory je nutné odhalit, neboť by mohly být mylně označeny za změny přirozené. Klimatická data jsou tedy podrobována nejrůznějším testům homogenity, které by v ideálním případě měly odhalit, zda a jak jsou data těmito faktory ovlivněna. Případné detekované nehomogenity je pak třeba z dat odstranit.

Metod testování homogenity je celá řada, jejich přehled nabídl např. Peterson et al. (1998); vhodnost jejich využití závisí na testovaném klimatickém prvku, jeho prostorové a časové

proměnlivosti, nebo i na umístění stanice, která ho měří, dále na délce a celistvosti datové řady, dostupnosti metadat a v neposlední řadě na hustotě pokrytí zájmového území měřicími stanicemi.

Zpravidla nejjednodušším způsobem, jak odhalit nehomogenitu naměřených dat, je prostudovat staniční metadata – tzv. data o datech (Peterson et al., 1998). Ta slouží jako historická dokumentace dané meteorologické stanice a jsou v nich uváděny informace o umístění a okolí stanice, měřících přístrojích, použitých metodách a jejich případných změnách. Mohou být v tisknuté či elektronické formě, nebo mohou být poskytnuty i ústně osobou odpovědnou za chod stanice. Největší výhodou metadat je to, že je díky nim možné přesně identifikovat, kdy ke vzniku diskontinuity v naměřených datech došlo a co bylo její příčinou, a jsou tak účinným nástrojem při odhalování nehomogenit v měření. Ne vždy jsou ovšem kompletní a dostatečně kvalitní a někdy pro danou stanici chybí úplně. V takových případech je třeba použít jinou metodu pro odhalení nehomogenity dat.

Absolutní metody

Testování homogenity klimatických řad se provádí především s použitím metadat nebo dat ze sousedních stanic, v některých případech ovšem metadata chybí a na sousedních stanicích je klima na tolik odlišné, že nezbyvá nic jiného, než k testování homogenity použít pouze zkoumanou řadu.

Problematikou analýzy homogenity izolované stanice se zabývali Rhoades a Salinger (1993); ti jako první krok navrhovali vizualizaci naměřených dat, neboť (jak jsem se sama přesvědčila v praktické části této práce) nehomogenita je z nich někdy patrná již na první pohled. Data je také možno vynést do grafu jako součtovou čáru (jednoduchou, podvojnou) a sledovat změny jejího sklonu. Případná změna sklonu poukáže na umístění diskontinuity v řadě dat, její velikost a statistická významnost je pak vypočítána pomocí analýzy dat, která ji předcházejí a následují. Rozhodnutí, zda objevenou diskontinuitu opravit, je na osobě, která analýzu provádí, a v případě absolutních metod testování homogenity je ztíženo skutečností, že diskontinuity mohou být způsobeny i klimatickými faktory. Jednou z možností, jak se ujistit o tom, že se jedná o diskontinuitu způsobenou ne-klimatickými faktory, je analýza více prvků dané stanice – například změna polohy stanice se výrazněji odrazí na datech tlaku vzduchu (Peterson et al., 1998).

Relativní metody

U těchto metod se testuje relativní homogenita dat – data zkoumané stanice se srovnávají s tzv. referenční řadou. Tou může být řada klimatických dat jiné stanice, která by však s testovanou stanicí měla být dostatečně korelovaná a především by měla být homogenní. Dále je možné použít aritmetický průměr z více stanic, vybraných podle zvolených kritérií: vybrány mohou být všechny dostupné stanice v okolí, jenom nejbližší či nejlépe korelované stanice, apod., přičemž každý z uvedených postupů má své výhody a nevýhody (Štěpánek et al., 2011).

Hlavním předpokladem pro testování relativní homogenity dat je, že se změny klimatických a povětrnostních podmínek projeví i na sousedních stanicích; pokud se tedy v testované řadě objeví diskontinuita, která není přítomná v řadě referenční, dá se řada s určitou (většinou 95%) spolehlivostí prohlásit za nehomogenní.

V současnosti existuje celá řada metod, které dokážou diskontinuitu nejen identifikovat, ale navíc podat informaci o tom, kde přesně se v řadě nachází a jakou má velikost, např. SNHT (Standard Normal Homogeneity Test, Alexandersson, 1986), TPR (Two Phase Regression, Easterling a Peterson, 1995), WRS (Wilcoxon Rank-sum, Karl a Williams, 1987), apod.

Výkonnost jednotlivých testů ovšem závisí například na tom, kde v řadě se zlom nachází, jak je velký, zda se v řadě objevuje zlomů víc, nebo zda je tam přítomen trend, apod. Srovnání výkonosti vybraných testů nabídli Robitaille et al., 2003 a DeGaetano, 2006). Vzhledem k tomu, že má každý test své silné a slabé stránky, používá se k identifikaci nehomogenit většinou více testů na jednou. Je tak větší pravděpodobnost, že se podaří podchytit všechny nehomogenity, a naopak menší pravděpodobnost, že bude nehomogenita identifikována chybně.

Mezi nejpoužívanější testy patří SNHT (nebo taky Alexanderssonův test), který podle srovnávací analýzy Robitaille et al., 2003 a DeGaetano, 2006 patří i k těm nejspolehlivějším. Může být použit pro analýzu velkého množství dat, např. testování homogenity národních klimatických dat ve Finsku (Tuomenvirta, 2002), nebo v Turecku (Firat et al., 2012), ale i pro menší vzorky (Hakuba et al., 2013). Dlouhodobá měření klimatických stanic v České republice homogenizoval Štěpánek (2005).

Testy homogenity se obvykle aplikují na měsíční a sezónní data dlouhých řad měření, jsou k tomu totiž určeny. Data s větším časovým rozlišením jsou autokorelovaná, což odporuje jednomu ze základních předpokladů při jejich testování (ideálně by na sobě měla být nezávislá) a ovlivňuje schopnost testů správně zhodnotit závažnost detekované homogenity (Costa a Soares, 2009).

V současné době existuje snaha o vytvoření metod, které by se zaměřovaly na detekci a odstranění nehomogenit v datech s denním krokem (Costa a Soares, 2009, Vincent et al., 2002, Brunet et al., 2006, Kuglitsch et al., 2009, Mestre et al., 2011) protože se zvyšuje zájem o denní data a vzrůstají nároky na jejich kvalitu. Kuglitsch et al. (2009), Costa a Soares (2009) a Mestre et al. (2011) se snažili pro homogenizaci denních dat vyvinout vlastní metody

Vincent et al. (2002) v Kanadě navrhli postup, při kterém byla podrobována testu homogenity měsíční data maximálních a minimálních teplot vzduchu, ale oprava byla aplikována pomocí interpolace na data s denním krokem. Podobně postupovali Brunet et al. (2006), když ve Španělsku analyzovali homogenitu maximálních, minimálních a průměrných denních teplot vzduchu. Tuto metodu jsem použila i já v analytické části práce.

2.2. Klimatologické zpracování dat

Sběru a zpracování klimatických a hydrologických dat v pohoří Ťan Šan se intenzivně věnovali Vladimír a Elena Aizen. Velkou pozornost věnovali oblasti Kyrgyzského hřbetu (obzvlášť údolí Ala Arča), kde se nacházejí i experimentální lokality Adygine a Koltor. Ve střední a východní oblasti Kyrgyzského hřbetu měli k dispozici 30 sněhoměrných stanic ve výškách 1450-3120 m n. m. a 25 srážkoměrných stanic ve výškách 2217-4120 m n. m, všechny s minimální délkou měření 30 let (Aizen et al., 1996). Po celé délce údolí Ala Arča, od 1600 do 4200 m n. m., bylo rozmístěno 44 srážkoměrných stanic s dlouhodobými měřeními. Všechny meteorologické stanice měřily zvlášť pevné, smíšené a kapalné srážky.

V jednotlivých studiích se zaměřovali mimo jiné na analýzu klimatických podmínek v pohoří Ťan Šan (Aizen et al., 1996; Aizen et al, 1997), studium ledovcové pokrývky a jejího vývoje v závislosti na měnících se klimatických podmínkách (Aizen a Aizen, 1997) a studium odtokových poměrů v pohoří Ťan Šan, které se taktéž měnily v závislosti na klimatických podmínkách (Aizen et al., 1996).

Výsledky jejich práce jsou aplikovatelné i na experimentální lokality Adygine a Koltor, a byly v této práci často používány pro srovnání s výsledky získanými analýzou experimentálních dat, proto zde uvedu alespoň některé z nich:

Srážky

Hlavním faktorem ovlivňujícím celkové roční úhrny srážek v oblasti Kyrgyzského hřbetu je nadmořská výška (Aizen et al., 1996). V nadmořských výškách větších než 2 500 m n. m. je maximum srážek na přelomu jara a léta, zhruba od května do června, a odpovídá 45-55 % celoročního úhrnu. Minimum nastává v prosinci a v lednu a tvoří 2-5 % celkového ročního úhrnu. V chladném období říjen-duben srážkové úhrny s výškou klesají kvůli inverzi v nižších polohách údolí. V létě může být maximální denní úhrn až 25 mm. Ve výšce 3 400 m n. m. je v letním období podíl srážek na celkovém ročním úhrnu 62-72 %, z toho 65 % jsou sněhové srážky.

Intenzita slunečního záření

V údolích severního svahu Kyrgyzského hřbetu je minimum intenzity slunečního záření v zimě, a to kvůli silné inverzi teploty vzduchu a častým mlhám (Aizen et al., 1996). V létě klesá v odpoledních hodinách kvůli údolním větrům z Čujské kotliny, které s sebou přinášejí prach a aerosoly. Denní úhrny globálního záření se pohybují v průměru od 2,1 do 31 MJ/m²

v závislosti na oblačnosti. V průběhu roku se úhrny denního globálního záření pohybují od 8,4 do 47,7 MJ/m² (Aizen, 1988).

Trendy

Teplota vzduchu vykazovala v období 1940-91 v pohoří Ťan Šan vzestupný trend o velikosti 0,01 °C (Aizen et al., 1997). V oblasti Kyrgyzského hřbetu byl ve výškách nad 2 000 m n. m. růst teplot menší a souvisel se vzrůstem průměrné teploty vzduchu v letních měsících. Ve výškách pod 2 000 m n. m. byl trend 0,006 °C/rok.

Kapalné srážky vykazovaly ve stejném období převážně pozitivní trend (Aizen et al., 1997). Ve výškách pod 2 000 m n. m. se v oblasti Kyrgyzského hřbetu jeho velikost pohybovala okolo 2,44 mm/rok, nad touto výškou měl velikost 0,84 mm/rok. Pro celý Ťan Šan byla velikost trendu v průměru 1,2 mm/rok, za pozorované období tedy průměrné roční úhrny srážek vzrostly o přibližně 100 mm.

Výška a délka trvání sněhové pokrývky vykazovala v pohoří Ťan Šan negativní trend 10 cm a 9 dní/rok všude, kromě oblasti Kyrgyzského hřbetu, kde nebyl zaznamenán žádný trend (Aizen et al., 1997). To korespondovalo absencí výrazného trendu u srážkových úhrnů.

Zvýšení průměrné teploty vzduchu tedy korespondovalo se zvýšením kapalných srážek a snížením sněhových zásob. Zvýšení kapalných srážek se neodrazilo na zvýšení povrchového odtoku.

2.3. Klasifikace cirkulačních typů

Tématem klasifikací atmosférických cirkulací jsem se zabývala již ve své bakalářské práci, která se zaměřovala na využití klasifikace synoptických typů Hesse a Brezowského pro popis klimatických prvků v Evropě (Sýkorová, 2013). Tentokrát budu pracovat se zobektivizovanou verzí Lambovy klasifikace, která je společně s klasifikací Hesse a Brezowského nejpoužívanější v Evropě (Huth et al., 2008).

Atmosférická cirkulace je velice proměnlivá, přesto se dá jejím delším pozorováním a následným zjednodušením odvodit několik jejích typických stavů, které pak mohou být mnohem snadněji dány do souvislosti s místními klimatickými prvky a jevy. Soubory těchto typických stavů se označují jako *klasifikace atmosférické cirkulace*. Vzhledem k tomu, že se dá atmosférická cirkulace popsat mnoha různými způsoby, existuje více různých druhů těchto klasifikací (Huth et al., 2008). Předmětem klasifikace mohou být například zpětné trajektorie vzduchových hmot, dráhy cyklón a pole větru, nejčastěji však pole atmosférické cirkulace. Pod tímto pojmem se rozumí pole tlaku přepočteného na hladinu moře (tlakové pole), geopotenciálních výšek (výškové pole), popřípadě jiné proměnné popisující atmosférickou cirkulaci nad zájmovým územím. Klasifikace polí atmosférické cirkulace jsou označovány jako *cirkulační klasifikace*, jednotlivé třídy těchto klasifikací se nazývají *cirkulační typy*. V případě subjektivních klasifikací se používají termíny *synoptický typ* a *synoptická typizace*.

Jedním z prvních meteorologů, kterému se podařilo zaznamenat a popsat systematické chování atmosférické cirkulace, byl na konci 19. století W. J. van Beber (Dittmann, 2007). Ten za účelem předpovědi intenzivních srážkových epizod studoval a následně klasifikoval dráhy cyklón nad evropským kontinentem a přilehlým oceánem a očísloval je římskými číslicemi od I do V (Kreienkamp et al., 2010). Jeho klasifikace se dnes již nepoužívá, s výjimkou dráhy Vb, po které putují cyklóny z Jaderského moře do střední Evropy a dál na severovýchod. Právě tato dráha cyklón je například v České republice spojována s největšími povodněmi minulého století (Hladný et al., 1998).

V druhé polovině 20. let pak byla vytvořena Lambova klasifikace, a do finální podoby byla upravena synoptická typizace podle Hesse a Brezowského. Tyto dvě klasifikace patří v Evropě mezi nejznámější, a to i díky tomu, že jejich součástí jsou katalogy povětrnostních situací, ve kterých je každý den od roku 1861 (Lambova), respektive 1881 (podle Hesse a Brezowského) až do současnosti zařazen pod určitý synoptický typ (Huth et al., 2008).

S rozvojem a zvyšující se výkonností výpočetní techniky bylo umožněno zautomatizovat jednotlivé kroky klasifikace a zpracovávat velké množství dat, hlavním účelem atmosférických klasifikací přestala být předpověď počasí a místo toho našly uplatnění v řadě klimatologických odvětví (Huth et al., 2008).

V současnosti existují jenom v Evropě desítky klasifikací atmosférické cirkulace, lišících se prostorovým i časovým rozlišením, klasifikovanou proměnnou, počtem typů apod. Vytvořit jejich databázi a srovnat je na základě výše zmíněných kritérií bylo cílem projektu *COST733: Harmonisation and Applications of Weather Types Classifications for European Regions* (Huth et al., 2007). Pro tuto práci je důležité zmínit jejich dělení podle způsobu klasifikace na *subjektivní* (30 % klasifikací), *objektivní* (45 %) a *smíšené* (25 %).

U subjektivních klasifikací jsou synoptické typy vytvořeny a přiřazovány ručně. Alternativou k subjektivním klasifikacím jsou klasifikace objektivní. U těch je pomocí zautomatizovaného postupu vytvořena sada nových synoptických typů, automaticky probíhá i zařazování synoptických situací pod tyto typy. Třetím typem jsou klasifikace smíšené, kdy je první z těchto kroků prováděn subjektivním postupem.

Metoda Jenkinsona a Collisona (1977), respektive její upravená verze (Jones et al., 2013), která byla použita v této práci, spadá do skupiny objektivních klasifikací, neboť zařazování tlakových polí pod jednotlivé cirkulační typy probíhá automaticky podle pevně daných pravidel. Nicméně, jak podotkl Philipp et al. (2010), pravidla metod fungujících na tomto principu byla formulována subjektivně, a jedná se tedy spíše o smíšenou klasifikaci.

2.3.1. Lambova klasifikace

Lambova klasifikace proudění je jednou z nejpoužívanějších klasifikací atmosférické cirkulace v Evropě (Huth et al., 2008). Lamb analýzou denních záznamů o rozložení tlakového pole odvodil sedm nejčastějších synoptických typů, pět podle směru proudění (západní W, severní N, severozápadní NW, východní E a jižní S) a dva podle přítomnosti cyklóny (C) a anticyklóny (A) nad Britskými ostrovy (Lamb, 1972). Ke každému dni od roku 1861 byl přiřazen odpovídající synoptický typ; vznikl tak jeden z nejdelších katalogů synoptických typů v Evropě. Díky nízkému počtu synoptických typů byla klasifikace přehledná a řazení tlakových polí pod jednotlivé typy bylo snadné a intuitivní, u každého typu byly shrnuty povětrnostní podmínky, které se při nich mohly vyskytovat (O'Hare a Sweeney, 1993). Se zvyšujícími se nároky na přesnost cirkulačních klasifikací bylo potřeba Lambovu klasifikaci rozšířit. Toho bylo docíleno pomocí analýzy záznamů o denních

povětrnostních podmínkách na Britských ostrovech z let 1861 až 1971; klasifikace byla rozšířena o dalších 20 kategorií (včetně kategorie U, nezařazeno) na konečných 27 typů (Lamb, 1972). Kromě čistě směrových (přímých) typů a čistě cyklonálních/anticyklonálních typů tak do klasifikace přibyly i typy hybridní (s cyklonální, nebo anticyklonální složkou, např. NEa).

Rozšířením typizace se zvýšila její teoretická přesnost, ale ztížil se samotný proces klasifikace, který probíhal ručně analýzou synoptických podmínek daného dne (O'Hare a Sweeney, 1993). Vzhledem k tomu, že se stále jednalo o subjektivní metodu klasifikace, existovala možnost, že bude daný typ identifikován nesprávně. Tomu mělo zabránit zobjektívizování klasifikace metodou Jenkinsona a Collisona.

Metoda Jenkinsona a Collisona (1977) využívá ke klasifikaci atmosférické cirkulace hodnoty tlaku vzduchu přepočteného na hladinu moře v uzlových bodech mřížky překrývající Britské ostrovy a jejich okolí. Z hodnot tlaku vzduchu jsou vypočítány směr, síla a vorticity proudění v zájmovém území; ty jsou dále použity k určení konkrétních cirkulačních typů, které korespondují s těmi Lambovými (podrobněji je celý postup popsán v kapitole 4.2.3.).

Srovnání subjektivní a objektivní verze Lambovy klasifikace nabídli Jones et al. (1993), když pomocí metody Jenkinsona a Collisona klasifikovali jednotlivé dny v období 1881 – 1989 a svůj katalog cirkulačních typů srovnali s Lambovým. Korelace mezi oběma katalogy se pohybovala mezi 0,7 až 0,85 v závislosti na ročním období; rozdílná identifikace u některých dnů pramenila z toho, že objektivní metoda ke klasifikaci používala pole tlaku vzduchu pouze z jednoho denního termínu, zatímco Lamb bral v potaz i to, jak se tlakové pole vyvíjelo v průběhu dne, a navíc přihlížel i k proudění na hladině 500 hPa¹.

Konečně, poměrně nedávno byla metoda Jenkinsona a Collisona upravena tak, aby ji bylo možné použít kdekoliv mezi 30° a 70° s.z.š. (Jones et al., 2013).

¹ Těžko posoudit, která z metod je přesnější. Objektivní nebere v úvahu vývoj cirkulace během dne, ani výškové proudění, zatímco subjektivní příliš závisí na zkušenosti pozorovatele.

2.4. Synopticko-klimatická analýza

Přehled možných využití cirkulačních klasifikací a odkazy na konkrétní studie představili Huth et al. (2008). Původním účelem klasifikací polí atmosférické cirkulace byla předpověď počasí, kde je s rozvojem výpočetní techniky začaly nahrazovat numerické modely. Nyní se sice objevila možnost jejich využití v ensemblové předpovědi počasí, konkrétně při vyjádření jejich výsledků pomocí pravděpodobnosti výskytu jednotlivých cirkulačních typů pro každý den předpovědi, mnohem obvyklejší je ale jejich využití v jiných klimatologických odvětvích.

Poměrně časté je například jejich využití pro výzkum změny klimatu, což zahrnuje rekonstrukce minulých a projekce budoucích klimatických podmínek, studie změn četnosti výskytu a doby trvání jednotlivých cirkulačních typů a jejich souvislost s teplotními extrémy, apod.

Mnoho studií je zaměřeno na hledání souvislosti mezi cirkulačními typy vybraných klasifikací a obvyklým chováním klimatických prvků v zájmové oblasti). V České republice byla například využita typizace ČHMÚ (Brádka et al., 1961) pro podrobnou analýzu chování základních meteorologických prvků (přízemní vítr, teplota vzduchu, sluneční svit, srážky, nový sníh) při jednotlivých synoptických typech v letech 1961 až 1990 (Křivancová a Vavruška, 1997). Podobné analýzy se prováděly např. v Norsku (Buishand a Brandsma, 1997), na Novém Zélandu (Kidson, 1994), ve Španělsku (Romero et al., 1999), Portugalsku (Trigo a DaCamara, 2000), apod.

Celá řada studií se zabývá vztahem mezi cirkulačními typy a extrémními projevy klimatických prvků. V České republice např. souvislost mezi prodlužující se průměrnou dobou trvání cirkulačních typů a zvyšujícím se výskytem a závažností teplotních extrémů (horkých a studených vln) zkoumal Kyselý (2007 a 2008). Souvislost mezi atmosférickou cirkulací a povodněmi na řece Vltavě zkoumali Kyselý et al. (2003) a souvislost mezi výskytem povodňových situací, popřípadě tvarem povodňových vln, na řece Ohři a synoptickými typy typizace ČHMÚ analyzoval (Čekal, 2007). V sousedním Polsku identifikovali Ustrnul et al. (2010) cirkulační typy spojené s extrémními teplotami. Georgescu a Stefan (2009) v Rumunsku hledali typy spojené se zvýšenou cyklonální aktivitou, apod.

Zvláštní pozornost bych ráda věnovala studii Spellmana (2015), který použil metodu Jenkinsona a Collisona ke klasifikaci atmosférické cirkulace v jihozápadním Rusku. Použil

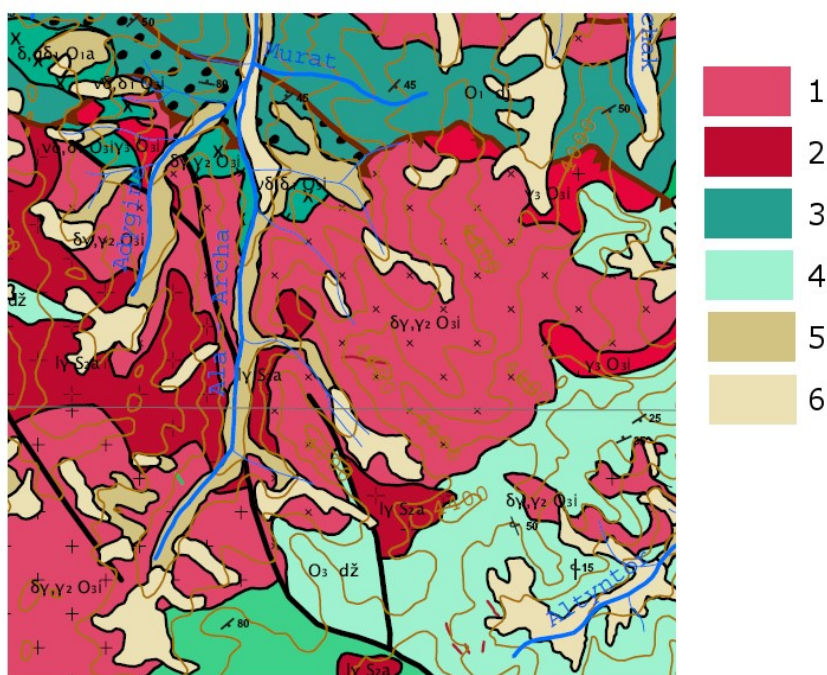
tedy stejnou metodu jako já v kapitole 4.2.3., a to v oblasti, která se nachází v relativní blízkosti mému zájmovému území. Spellman sestavil katalog cirkulačních typů pro 50leté období a analyzoval frekvenci jejich výskytu v průběhu roku i pro jednotlivá období. Největší výskyt v roce měl typ A (anticyklóna, 23,3 %), následovaný typem C (cyklóna, 12 %) a typem W (západní proudění, 7,3 %). Hybridní typy (cyklonální a anticyklonální varianty typů, např. NEa) měly obecně málo výskytů, například typ Sc se za analyzované 50leté období objevil pouze v 96 případech, v 10 letech se nevyskytl ani jednou a maximální počet výskytů v jednom roce byl 5. Typy se západní složkou proudění se vyskytovaly častěji v zimě, zatímco typy s východní a severní složkou proudění v létě. Typ U se vyskytoval častěji v létě. Průměrná délka trvání cirkulačního typu byla nejvyšší u typů A a SE, zatímco nejnižší byla u hybridních typů. Analýza vlivu cirkulačních typů na srážkové úhrny prokázala, že menší srážkové úhrny se dají očekávat u anticyklonálních typů, zatímco větší u typů cyklonálních.

3. Fyzicko-geografická charakteristika zájmového území

Kyrgyzstán je se střední nadmořskou výškou 2 750 m n. m. jednou z nejhornatějších zemí na světě, jeho územím procházejí velká pásemná pohoří, jako například Ťan Šan a Pamíro-Altaj. Zároveň je ze všech zemí na světě nejdále od moře, což se podepisuje na klimatických podmínkách, které v něm panují.

3.1. Geologická stavba

Většinu Kyrgyzstánu pokrývá tektonicky stále aktivní vráso-zlomové pohoří Ťan Šan, které je s délkou přibližně 2 800 km a šířkou až 500 km a maximální výškou 7 439 m n. m. jedním z největších v Asii (Aizen et al., 1997). Táhne se přibližně v západo-východním směru, střídají se v něm horské hřbety se sedimentárními pánvemi (např. kyrgyzské pánve Naryn, Issyk-Kul) (Buslov et al., 2007). Větší část pohoří Ťan Šan byla formována při hercynském vrásnění v pozdním paleozoiku. Kyrgyzský hřbet, ve kterém se obě experimentální lokality nachází, se začal formovat již v ordoviku a siluru při vrásnění kaledonském. V období mezozoika byla kaledonská a hercynská pásma denudována a v kenozoiku následně přemodelována při Alpínsko-Himálajském vrásnění; jejich vývoj pokračuje dodnes.



Obr. 1: Výřez z Geologické mapy Kyrgyzského hřbetu 1:200 000; 1 – gabro-diority, granity, 2 – granity, 3 – gabro-diority, diority a grano-diority, 4 – vápence, pískovce (1 – 4 svrchní ordovik); 5 – pleistocenní sedimenty, 6 – holocenní sedimenty (Zdroj: www.kyrgyzstan.ethz.ch; upraveno)

Geologická struktura Kyrgyzstánu je komplikovaná, střídají se zde krystalické metamorfované horniny proterozoického stáří se sedimentárními a vyvřelými horninami paleozoika, struktury jsou narušovány četnými zlomy (Geoportal of Kyrgyzstan, 2016). Údolí jsou vyplněna druhohorními a třetihorními sedimenty a holocenním nezpevněným materiálem, který je sem transportován fluviálními a svahovými procesy. Na Obr. 1 je znázorněno geologické složení Kyrgyzského hřbetu v oblasti kolem údolí Adygine a Ala Arča. Lze zde vidět hlavně granity, grano a gabro-diority, údolí jsou vyplněna ve vyšších polohách proluviálními, koluviálními a od středních poloh aluviálními sedimenty pleistocenního a holocenního stáří. Podobné složení se dá očekávat i v lokalitě Koltor.

Celé pohoří Ťan Šan je protkáno četnými zlomy, mezi ty nejprominentnější patří Talassko-Ferganský zlom v SZ směru, podél kterého probíhá pravostranný posun způsobený současným nasouváním Ťan Šanu na Tarimskou pánev a Pamíru na Ťan Šan. Tektonicky aktivní zlomy ohraničují i Kyrgyzský hřbet, což souvisí se zvýšenou seismickou aktivitou v oblasti. (Buslov et al., 2007)

V pohoří Ťan Šan se nacházejí četná ložiska vzácných kovů a nerostných surovin, těží se zde i stavební materiál. V tektonicky aktivních oblastech vyvěrají minerální prameny (Geoportal of Kyrgyzstan, 2016).

3.2. Geomorfologie

Vzhledem k vysoké nadmořské výšce a rozmanitosti reliéfu lze v Kyrgyzstánu najít celou řadu tvarů tvořenou svahovými, fluviálními a kryogenními procesy. V polohách, kde převažují fluviální procesy, se horské řeky zařezávají do podloží a vytvářejí úzká údolí. Erodovaný materiál je odnášen a je ukládán v oblastech menšího sklonu ve formě náplavových kuželů a říčních niv, kterými si pak brázdí cestu divočí toky.

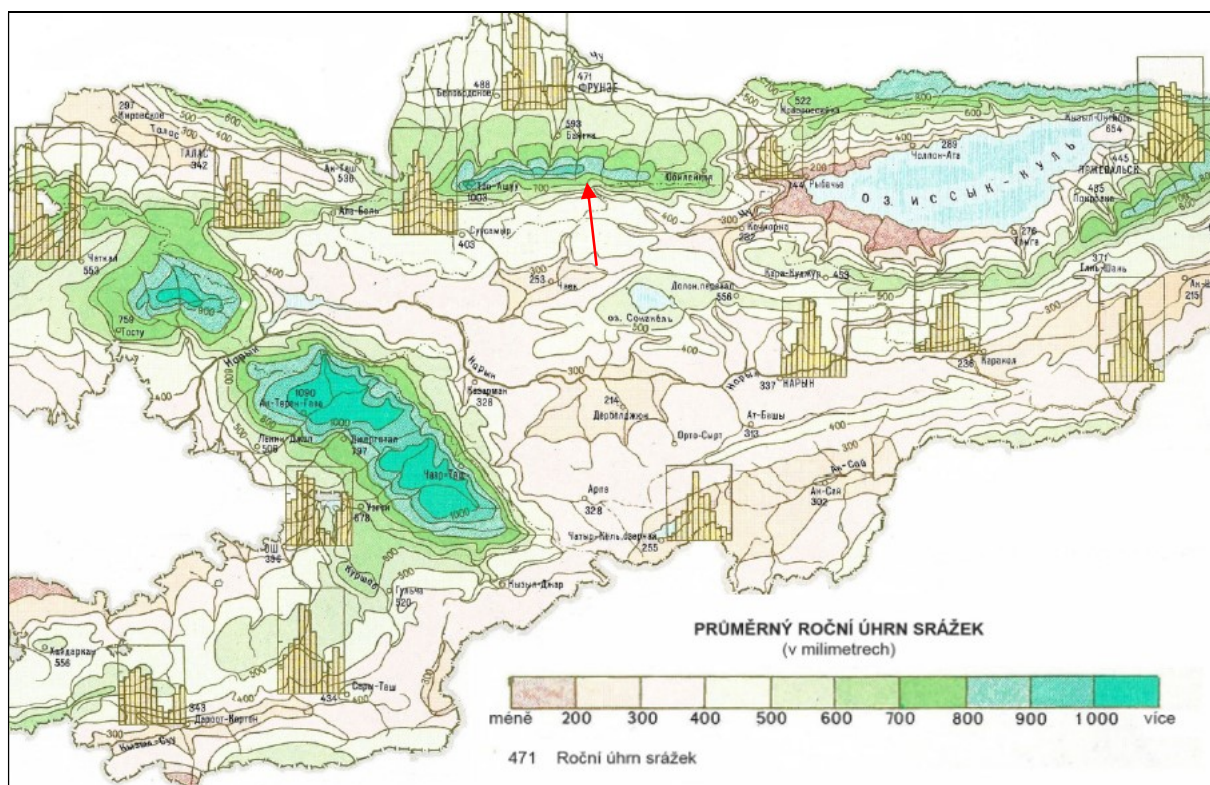
Experimentální lokality se nacházejí v glaciální a periglaciální zóně, kde se významně projevuje působení ledovce, sněhu, mrazu a větru. Lze zde najít erozní a akumulární tvary jako například typická přehloubená údolí ve tvaru U, kary a nivační deprese, visutá údolí, různé druhy morén, a další (Falátková, 2014). Permafrost se zde v současné době nachází od výšky 3 500 m n. m. (souvislý, sporadický již od 2700 m n. m.), v době svrchního pleistocénu, kdy měl na území Ťan Šanu maximální rozsah, se hranice jeho výskytu pohybovala zhruba o 1 600 m níže (Marchenko et al., 2007). Za posledních 125 let se hranice permafrostu posunula až o 200 m výše a došlo ke zvětšení mocnosti jeho aktivní vrstvy. Degradace permafrostu by mohla vést k vyšší frekvenci výskytů nebezpečných svahových

pohybů (sesuvy půdy, bahnotoky, aj.), které jsou už tak poměrně časté. Dvěma sesuvy půdy je například přehrazeno i původně morénou hrazené jezero Koltor (Yerokhin, 2003).

3.3. Klima

Klima Kyrgyzstánu je do velké míry ovlivněno jeho vzdáleností od oceánu a členitostí reliéfu – vlhké vzduchové hmoty sem putují ze severozápadu a pohoří Ťan Šan slouží jako bariéra, za níž vzniká srážkový stín (Aizen et al., 1997). Vzduchové hmoty putující od indického oceánu narážejí na podobný problém (jsou blokovány jižními horskými pásmy). Na většině území je tedy kontinentální klima, pro které jsou typické malé srážkové úhrny v průběhu roku a velké teplotní rozdíly (během dne i roku). S rostoucí nadmořskou výškou pak stoupá oceanita klimatu, teplotní amplitudy se snižují, zatímco srážkové úhrny se zvyšují.

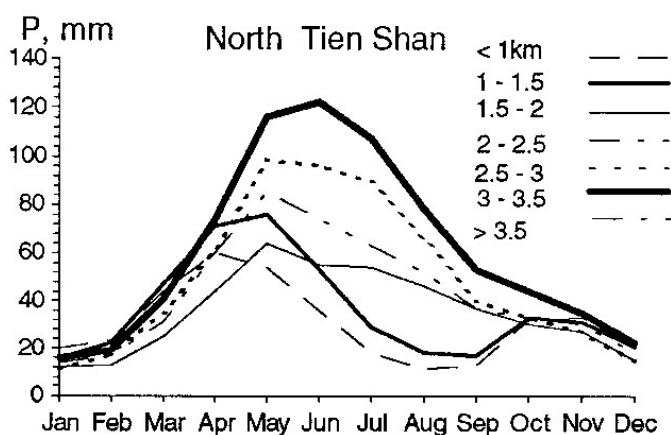
Lokality Adygine a Koltor se nacházejí na severní straně Kyrgyzského hřbetu, díky čemuž jsou zde průměrné roční srážkové úhrny relativně vysoké (viz Obr. 2), pohybují se od 700 mm/rok v lokalitě Kotor po zhruba 1 000 mm/rok v lokalitě Adygine.



Obr. 2: Průměrný roční úhrn srážek v Kyrgyzstánu; šipka označuje Kyrgyzský hřbet (Zdroj: Jánský et al., 2013; upraveno)

Chod srážek v průběhu roku v pohoří Ťan Šan popsal Aizen et al. (1996). Na Obr. 3 je vidět jeho průběh v různých nadmořských výškách v Severním Ťan Šanu (klimatický region definovaný ve studii), kam spadají i lokality Koltor a Adygine. Ačkoliv každá lokalita patří do jiné výškové kategorie, roční chod srážek je velmi podobný – maximum nastává od května do června, zatímco minimum v zimních měsících. Minimum v zimě je způsobeno vlivem Sibiřské anticyklóny, blokující postup vzduchových hmot od západu.

Ve 3 400 m n. m. převažují v průběhu roku sněhové, popř. smíšené srážky; dešťových je nejvíce v červenci (Aizen a Aizen, 1997).



Obr. 3: Roční chod srážek v regionu Severní Ťan Šan podle nadmořských výšek (Zdroj: Aizen et. al, 1996)

Průměrná teplota vzduchu je nejvyšší v červenci a nejnižší v lednu. V létě je nejtepleji v nížinách a teplota klesá s nadmořskou výškou. V zimě je nejtepleji v okolí jezera Issyk-Kul, které nezamrzá a reguluje tak okolní teplotu vzduchu podobně jako například oceány. V lokalitě Koltor se průměrná červencová teplota vzduchu pohybuje kolem 9 °C, průměrná lednová teplota je zhruba -8 °C, v lokalitě Adygine je o něco chladněji s průměrnou červencovou teplotou 5,5 °C a lednovou teplotou přibližně -15 °C. Další klimatické charakteristiky jsou uvedeny v kapitole 5.2.

3.4.Zalednění

Zalednění se nachází ve střední části severního svahu Kyrgyzského hřbetu, kde jsou díky dostatečné nadmořské výšce a vhodnému charakteru reliéfu vhodné podmínky pro akumulaci sněhu a formování ledovců (Aizen et al., 1996). Více než 80 % zaledněných ploch se nacházelo na svazích se severní a severozápadní orientací. Rovnovážná hranice zalednění je na severním svahu Kyrgyzského hřbetu ve výšce zhruba 3 800 m n. m. V pleistocénu

bylo v oblasti Kyrgyzského hřbetu rozsáhlé zalednění, které např. v údolí Ala Arča sahalo až do výšky 1 580 m n. m., o čemž svědčí zbytky morén (Koppes et al., 2008).

K tání ledovce dochází v letním období, po zhruba 72 dní v roce. Jeho intenzita v letních měsících závisí na albedu, takže je nejnižší v červnu (4,6 mm/°C), v červenci a srpnu se zvyšuje (7,1 mm/°C, 7,4 mm/°C) (Aizen et al., 1996).

Průměrná doba trvání sněhové pokrývky na ledovci je minimálně 9 měsíců, na morénách vydrží 7,5 měsíce a jeho průměrná výška dosahuje 20 cm (Aizen et al., 1996). Na začátku léta jsou na zaledněném povrchu časté sněhové laviny, které s sebou strhávají zbylý sníh a zrychlují tání ledovce, což může v důsledku způsobit bleskové povodně.

3.5. Hydrologické poměry

Kyrgyzské řeky odtékají do čtyř bezodtokých pánví: Aralo-Kaspické, Balkašské, Issyk-Kulské a Tarimské (Aizen et al., 1997).

Většina řek v severovýchodní části Kyrgyzstánu má glaciálně-nivální režim, který se vyznačuje dvěma hlavními zdroji vodnosti – z tající sněhové pokrývky (taje jako první) a z tajícího ledovce. Řeky v jihozápadním Kyrgyzstánu mají spíše niválně-glaciální, kde je významnějším zdrojem vodnosti voda ze sněhové pokrývky.

V povodích řek Kyrgyzského hřbetu tvoří glaciální odtok 18-28 % průměrného ročního odtoku, v letním období tento podíl stoupá až na 40-70 % ročního odtoku v důsledku nižší oblačnosti, vyšší intenzity slunečního záření a vyšších teplot, které dohromady zvyšují tání ledovců (Aizen et al., 1997).

Tání na ledovcích začíná v květnu, tavná voda ale nevytváří povrchový odtok (Aizen a Aizen, 1997). Místo toho zatéká do puklin v ledovci a znovu zamrzá. Na říčním odtoku se tavná voda z ledovců podílí až od začátku června. Pak už množství vody odtékající z ledovce proporčně odpovídá intenzitě tání. Začátek odtoku tavné vody z ledovce koresponduje s kompletním zmizením sněhové pokrývky ze spodní třetiny ledovcových splazů. Konec glaciálního odtoku připadá na začátek září.

Při zeslabení vlivu Sibiřské anticyklóny se zesiluje západní proudění, zvyšuje se oblačnost a s ní i srážkové úhrny. Samotné dešťové srážky se na povrchovém odtoku podílejí jen při srážkových epizodách s denními úhrny alespoň 20 mm/den. Zbytek se vsákne a tvoří podpovrchový odtok (Aizen et al., 1996).

Maximální průtoky jsou tedy na řekách v zájmové oblasti během letních měsíců, kdy jsou nejvyšší srážkové úhrny a zároveň jsou řeky nejvíce zásobovány tavnou vodou z ledovců.

3.6. Nebezpečná jezera

V lokalitě Adygine se v době výzkumu nacházelo přes 20 jezer rozličných genetických typů, mezi nimi jezera proglaciální, termokrasová, částečně hrazená morénou a skalním prahem (Černý et al., 2010).

Největším z nich bylo skalním prahem a morénou hrazené jezero Adygine horní, které mělo v době výzkumu plochu 3,2 ha, délku 380 m a hloubku 2,2 m. Druhé největší bylo jezero Adygine dolní mělo maximální hloubku 4,7 m a nacházelo se v 50 m hluboké a 150 m dlouhé termokrasové depresi, zásobované vodou povrchovou a pravděpodobně i podpovrchovou cestou (Jánský et al., 2010). Odtok z jezera probíhal podpovrchově odtokovými kanály; ty měly omezenou kapacitu, což se projevovalo značným kolísáním objemu jezera v průběhu dne. V případě, že by došlo k ucpání kanálů, deprese by se zaplnila vodou a mohlo by dojít k průvalu jezera. V takovém případě by povodňová vlna postupovala údolím Adygine a Ala Arča a mohla by zasáhnout i 40 km vzdálený Biškek. Po cestě by s sebou strhávala suť, čímž by se zvýšila její ničivá síla.

Hlavním zdrojem vodnosti je v lokalitě Adygine je stejnojmenný ledovec, který od 60. let minulého století ustupuje (Jánský et al., 2010). Intenzivnější tání ledovce se projeví zvýšením přítoku do jezer v lokalitě, což zvýší riziko spojené s jejich průvalem.

Jezero Koltor se nachází v nadmořské výšce 2 726 m n. m. v údolí stejnojmenné řeky, odvodňující severní svah Kyrgyzského hřbetu (Jánský et al., 2010). Původně patřilo k morénou hrazeným jezerům, pak byla moréna postupně překryta dvěma sesuvy (Yerokhin, 2003). Povrch a objem jezera závisí na jeho hloubce, která v průběhu roku i dne značně kolísá; v roce 2005 byla hloubka 8,3 m, plocha 22,15 ha a objem 1,83 mil m³ (Jánský et al., 2010). Jezero je zásobováno tavnou vodou z ledovce a sněhové pokrývky, dešťovými srážkami a podzemní vodou. Výška hladiny začíná stoupat na konci března, kdy začíná tát sněhová pokrývky, v červnu se přidává i voda z tajícího ledovce. Maximálních výšek dosahuje hladina jezera v srpnu, od září začíná v souvislosti se snižováním teploty vzduchu klesat. V minulosti byly zaznamenány případy, kdy se voda z jezera přelávala přes hráz, buď v reakci na přívalové deště, intenzivní tání nebo sesuvy půdy. V roce 1966 se při

podobném přelivu začala na odvrácené straně hráze tvořit 160 m dlouhá, až 28 m široká a 4 m hluboká erozní rýha. Při případném protržení hráze by povodňová vlna mohla postupovat až do 40 km vzdáleného údolí řeky Čuj, které je intenzivně zemědělsky využíváno, a cestou ničit přítomnou infrastrukturu.

3.7. Půdní poměry

Členitý reliéf Kyrgyzstánu souvisí s přítomností rozlehlých oblastí neúrodné půdy v této zemi (Dzunusova, 2008). Podíl půd vhodných pro zemědělství na rozloze státu je jen 7 %, zatímco na 44 % nejsou půdy vůbec vyvinuty. Zbýlých 45 % jsou většinou leptosoly, málo vyvinuté, mělké a málo úrodné půdy, které se používají pro pastvu. V zemědělství jsou využívány kalcisoly, nacházející se ve Ferganské a Čujské kotlině. Kalcisoly jsou vápenaté půdy semiaridních oblastí, které jsou při dostatečném zavlažení poměrně úrodné. Právě zavlažování však způsobuje zasolování půdy, které v Kyrgyzstánu představuje problém (Dzunusova, 2008).

3.8. Živá příroda

Rozmanitost reliéfu a geologické skladby podloží zajišťuje Kyrgyzstánu ideální podmínky pro vysokou biodiverzitu. Přibližně 40 % povrchu státu je bez vegetačního pokryvu, zbylé území je z větší části pokryto keři, jehličnatými lesy, alpínskými a subalpínskými loukami, stepí, pouštěmi, polopouštěmi a močály (Chemonics, 2001).

Pouštní ekosystémy se nacházejí v údolích a v podhůří, méně pak na náhorních plošinách, mezi endemity zde patří např. *Tulipa nitida* a *Tulipa rosea*. Polopouště se nacházejí v údolích v nadmořské výšce 600 až 2 000 m n. m.

Stepi se nacházejí od 2 000 m n. m. do 3 000 m n. m. a jsou v nejrozšířenějším biomu v Kyrgyzstánu. Nachází se zde různé druhy trav, např. kostrava žlábkatá (*Festuca sulcata*), z živočichů orli, sokoli a divoké ovce.

Od 1 700 m n. m. do 3 200 m n. m. rostou smrkové lesy, dominantním druhem je smrk Schrenkův (*Picea schrenkiana*), z živočichů zde lze najít medvědy, vlky, nebo třeba, sovice krahujovou (*Surnia ulula*). Do výšek 2 800 m n. m. se nacházejí jalovcové lesy, s typickým zástupcem jalovcem polokulovitým (*Juniperus semiglobosa*), a zhruba do 3 000 m n. m. lze nalézt opadavé keře.

Na jihu Kyrgyzstánu se nachází reliktní listnaté lesy složené z ořešáku královského (*Juglans regia*) a divokých druhů ovocných stromů, např. jabloně Sieversovy (*Malus sieversii*) nebo

slivoně ferganské (*Prunus fergana*). Z živočichů se zde nacházejí medvědi, rysi a divoká prasata.

Louky se dělí podle výšky na subalpínské (2 300 – 3 200 m n. m.) a alpínské (2 800 – 3 600 m n. m.). Typickými zástupci jsou různé druhy kontryhele (*Alchemilla*), mezi endemity patří prvosenka velkokališná (*Primula macrocalyx*). Z živočichů zde žijí irbisi, kozorožci sibiřští, orlosup bradatý a orel skalní.

Na území Kyrgyzstánu se vyskytuje 4 500 druhů vyšších rostlin, 83 druhů savců, 368 druhů ptáků a 28 druhů plazů (Jánský et al., 2013). Chráněná území se rozkládají na více než 6 % celkové rozlohy státu.

Biodiverzita je v Kyrgyzstánu ohrožena především nadměrným lovem zvěře a ryb, sběrem vzácných bylin, odběrem vody, pastvou a znečištěním vodních zdrojů (Chemonics, 2001).

4. Zpracování klimatických měření z experimentálních lokalit Adygine a Koltor

V následující kapitole jsou shrnuty zdroje dat a použité metody. Kromě dat z experimentálních lokalit byla použita i dlouhodobá klimatická měření ze stanic v Kyrgyzstánu.

4.1. Použitá data

4.1.1. Data z experimentálních lokalit v Kyrgyzstánu

Data, která mi byla poskytnuta ke zpracování, pocházela z měření tří meteorologických stanic, nacházejících se v experimentálních lokalitách výzkumného týmu katedry Fyzické geografie a geoekologie PřF UK v Praze, Adygine a Koltor. V lokalitě Adygine byly umístěny dvě meteorologické stanice. V blízkosti severního břehu jezera Adygine horní se v nadmořské výšce 3 500 m n. m. nacházela meteorologická stanice Adygine dolní (dále jen Adygine D²), která měřila v 30 minutových intervalech teplotu vzduchu ve 2 m, tlak a relativní vlhkost vzduchu a rychlost a směr větru. Tyto prvky a navíc i globální sluneční záření (dopadající a odražené) a teplotu půdy ve třech hloubkách měřila i druhá meteorologická stanice, Adygine horní (Adygine H), nacházející se nad ledovcem v nadmořské výšce 3 800 m n. m.

Stanice v této lokalitě měřily ve dvou hlavních etapách, zaprvé zhruba mezi lety 2007 až 2010³ a zadruhé v období srpen 2012 až červenec 2013⁴.

Adygine H měřila v první etapě od srpna 2007 do října 2010, a to přerušovaně, s výpadky dlouhými několik hodin až několik měsíců (nejdelší výpadek měření byl v období září 2009 až březen 2010, tedy zhruba 5 měsíců). Stanice byla za svou dobu měření několikrát přemístěna do různých nadmořských výšek, což se odrazilo na naměřených hodnotách klimatických prvků. Z tohoto období jsem dostala ke zpracování teplotu vzduchu ve 2 m, tlak vzduchu a relativní vlhkost vzduchu.

Z druhé etapy měření (2012-2013) jsou data k dispozici vždy pouze pro část dne a s přesností na celá čísla, proto jsem je dále klimatologicky nezpracovávala.

² Zkratky jsou používány pro větší přehlednost, neboť „Adygine dolní“ je i název druhého největšího jezera v této lokalitě. Ze stejného důvodu je výše položené meteorologické stanici přiřazen název Adygine H.

³ V rámci projektu „Analýza rizik a omezení důsledků protržení hrází vysokohorských jezer“

⁴ V rámci projektu „Glacier hazards in Kyrgyzstan: Implications for resource development and water security in Central Asia“

Adygine D měřila v první etapě od července 2008 do prosince 2010. Stejně jako horní stanice měřila přerušovaně, s nejdelší přestávkou v období srpen 2008 až únor 2009, tedy zhruba půl roku. Stejně jako u Adygine H jsem dostala ke zpracování teplotu, relativní vlhkost a tlak vzduchu.

Ve druhé etapě nastal podobný problém jako u Adygine H, kdy zhruba od konce října 2012 do konce dubna 2013 měřila stanice jen část dne. Navíc, až na relativně krátký časový úsek (listopad 2012 až leden 2013) stanice neměřila teplotu vzduchu, která je stěžejní pro další klimatologické zpracování dat. Na druhou stranu má Adygine D na rozdíl od zbylých dvou stanic datové řady pro rychlost a směr větru, které je možno dále zpracovat. Vzhledem k uvedeným skutečnostem je ale věnována větší pozornost zpracování dat z první etapy měření.

Poslední meteorologická stanice, ze které mi byla svěřena data, se nacházela v nadmořské výšce 2 700 m n. m., v lokalitě Koltor u stejnojmenného jezera. Stanice Koltor měřila v hodinovém kroku teplotu vzduchu ve 2 m, globální sluneční záření (dopadající a odražené) a srážky, a to od července 2008 do září 2010. Také tato stanice měla za dobu své činnosti několik výpadků (nejdelší v období leden až červenec 2010), co do počtu jich však bylo méně než v první etapě měření stanic v lokalitě Adygine. Pro větší přehlednost je časové pokrytí zpracovávaných řad znázorněno v Příloze 1.

Hodinová data byla přepočítána na denní a měsíční průměrné hodnoty, díky čemuž vznikly nové datové řady, které byly dále analyzovány.

4.1.2. Dlouhodobá měření

Dlouhodobá měření na klimatických stanicích v Kyrgyzstánu (dále v práci označována jako kyrgyzská data, kyrgyzské stanice) byla použita pro výpočty trendů, tvorbu referenčních řad, klasifikaci cirkulačních typů a synopticko-klimatologickou analýzu. Pro tyto účely jsem čerpala data ze dvou hlavních zdrojů: globální historické klimatologické databáze (Global Historical Climatology Network, dále jen GHCN) a databáze NCEP-DOE Reanalysis II.

4.1.2.1. GHCN

GHCN je databáze, ve které jsou shromažďována klimatická data z meteorologických stanic rozmístěných po celém světě (respektive po souši), bližší informace o databázi uvádí např. Peterson a Vose (1997). Na stránkách databáze (<http://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/datasets>) si lze vybrat data pro požadovanou lokalitu, časové rozmezí a s požadovaným časovým krokem.

a) GHCN-měsíční

Pro tvorbu referenčních řad, potřebných k testování homogenity průměrných, maximálních a minimálních denních teplot vzduchu byla použita data z databáze GHCN s měsíčním krokem pro období srpen 2007 až prosinec 2010, přičemž toto pokrytí měly stanice Tokmak, Talas, Naryn, Džalal Abad a Ťan Šan.

Stejně stanice byly použity i pro výpočet trendů za období 1985 – 2015. Pro toto období byly k dispozici hodnoty absolutních měsíčních minimálních a maximálních teplot vzduchu, průměrná měsíční minimální a maximální teplota a průměrná měsíční teplota.

b) GHCN-hodinová

Data teploty vzduchu (měřená v termínech 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 a 21 UTC) z kyrgyzských stanic Tokmak, Talas, Naryn, Džalal Abad a Ťan Šan v letech 2007 až 2010 byla použita k synopticko-klimatologické analýze, a to tak, že byla přepočítána na řady průměrné denní teploty⁵, které jsem poté dále analyzovala.

c) GHCN-denní

Denní data maximálních a minimálních teplot za období srpen 2007 až červenec 2011 ze stanic Tokmak, Talas, Naryn, Džalal Abad a Ťan Šan byla opět použita k synopticko-

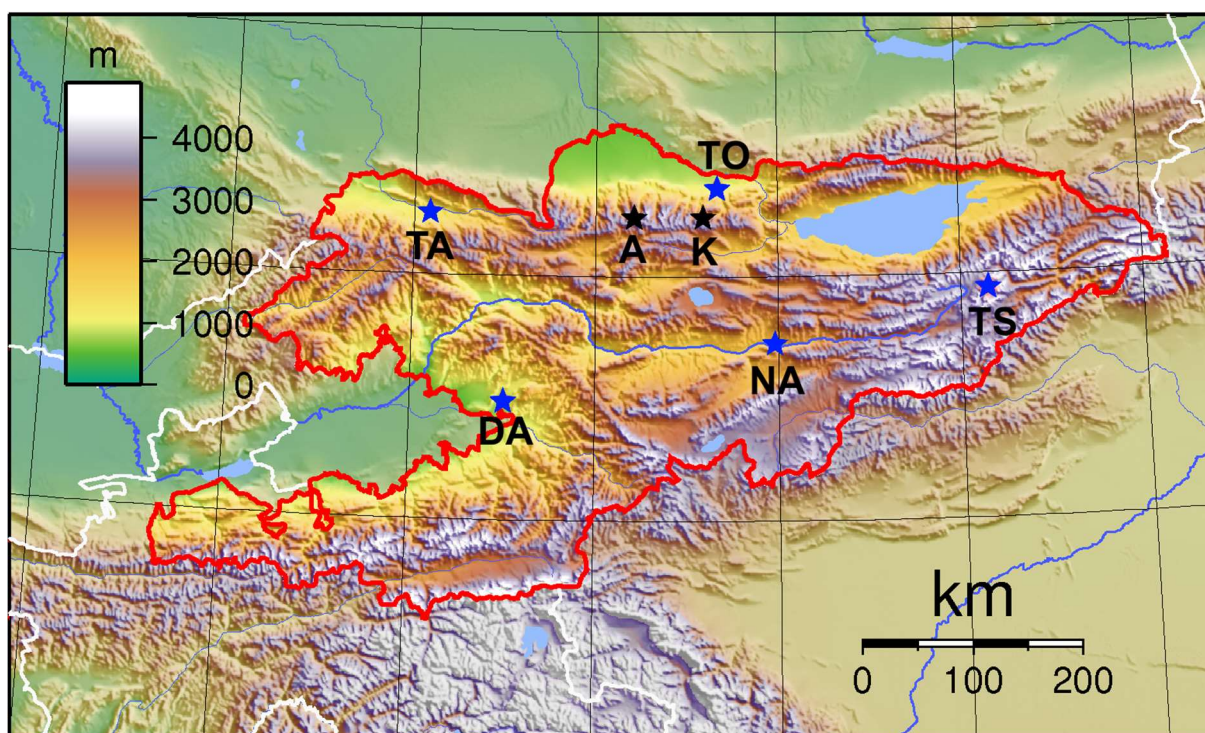
⁵ Data pro průměrnou denní teplotu vzduchu nebyla v databázi u vybraných stanic GHCN k dispozici.

klimatologické analýze. Datová řada maximálních denních teplot u stanice Ťan Šan a datové řady minimálních denních teplot u všech pěti kyrgyzských stanic obsahovaly poměrně velké množství za sebou chybějících hodnot (například u minimální denní teploty stanic Tokmak a Ťan Šan schází až třetina dat), což mohlo ovlivnit přesnost výsledků analýzy.

Základní informace o kyrgyzských stanicích jsou uvedeny v Tab. 1 a jejich rozmístění je znázorněné na Obr. 4. Všechny z uvedených stanic mají datové řady delší než padesát let a v měření pokračují i v současnosti.

Stanice	Talas	Tokmak	Naryn	Džalal Abad	Ťan Šan
Z.š.	42,5170	42,8330	41,4331	40,9170	41,8830
Z.d.	72,2170	75,2830	76,0000	72,9500	78,2330
Oblast	Talaská	Čujská	Narynská	Džalalabaská	Issykkulská
Nadm. výš	1218 m n. m.	817 m n. m.	2041 m n. m.	765 m n. m.	3639 m n. m.
Zač. měření	1.1.1948	30.6.1959	2.1.1937	2.7.1957	1.1.1959

Tab. 1.: Základní informace o kyrgyzských stanicích (Zdroj: data GHCN)



Obr. 4: Rozmístění klimatických stanic; TO – Tokmak, TA – Talas, DA – Džalal Abad, NA – Naryn, TS – Ťan Šan; A – lokalita Adygine, K – lokalita Koltor

4.1.2.2. NCEP-DOE Reanalysis II

NCEP-DOE Reanalysis II (dále jen reanalýza) je databáze, jež obsahuje data o stavu atmosféry (pole různých klimatických prvků) na zadaném území a ve vybraném termínu (v současné době jsou k dispozici data od ledna 1979 až do července 2015). Tento zdroj dat jsem využívala při synoptické klasifikaci k vygenerování polí tlaku vzduchu přepočteného na hladinu moře (mean sea level pressure, dále jen MSLP) v 6:00 UTC na výřezu 20-60° s.š. a 50-100° v.d.

V neposlední řadě je třeba uvést, že experimentální i kyrgyzská data byla udávána v čase UTC, který bylo třeba převést na místní čas v Kyrgyzstánu UTC+5:00. V opačném případě by denní průběh klimatických prvků patrný z dat neodpovídal skutečnosti (maximální teploty by nastávaly v ranních hodinách, kdy teplota naopak obvykle bývá nejnižší, apod.).

4.2. Použité metody

4.2.1. Analýza homogenity dat z experimentálních lokalit

Jak plyne z rešerše, analýza homogenity dat před jejich klimatologickým zpracováním je nutná k tomu, aby se předešlo jejich chybné interpretaci. Existuje mnoho způsobů, jak detekovat nehomogenity v klimatických datech. Nejjednodušší je prostudovat metadata stanice, ta ovšem v tomto případě nebyla plně k dispozici. Proto byla homogenita analyzována pomocí statistického testu, přičemž před samotným testováním byla data podrobena kontrole.

Klimatické řady byly testovány na změnu průměru, která je spojená se skokovou změnou při měření – například nastává při přesunech stanice. Testu homogenity byly podrobeny řady průměrných denních teplot vzduchu a maximálních a minimálních denních teplot vzduchu. Pro otestování srážek (u stanice Koltor) a tlaku vzduchu (u stanic z lokality Adygine) nebyly k dispozici dostatečně kvalitní referenční řady.

4.2.1.1. SNHT

Pro analýzu homogenity naměřených dat byla zvolena metoda SNHT pro jednoduchý zlom (Standard Normal Homogeneity Test), protože je vhodná pro odhalení nehomogenit způsobujících skokovou změnu průměru v datových řadách a navíc je relativně výpočetně jednoduchá a časově nenáročná. Podle srovnání Robitaille et al. (2003) je navíc jednou z nejlepších metod pro správnou identifikaci homogenních řad, detekci malých posunů v průměru (např. $<1,0$ °C) a většího počtu diskontinuit v řadě.

Protože test nemohl být použit přímo na původní data, která mají 30minutový, respektive hodinový krok, bylo je třeba převést na denní a posléze měsíční hodnoty. Poté byla mezi řadou měsíčních hodnot klimatického prvku dané stanice a řadami kyrgyzských stanic (Talas, Tokmak, Naryn, Džalal Abad a Ťan Šan) spočítána korelace. Z kyrgyzských řad pak byly vytvořeny dvě referenční řady: první byla vypočtena jako aritmetický průměr ze všech pěti stanic, druhá jako průměr jen nejlépe korelovaných stanic. Dvě referenční řady jsem zvolila proto, abych měla větší jistotu, že bude případná diskontinuita detekovaná správně; pokud by se neobjevila u obou řad v témže měsíci, řadu bych neopravovala.

SNHT používá řadu diferencí⁶ mezi testovanou a referenční řadou v čase i , $\{Q_i\}$, která je následně standardizována jako:

$$Z_i = \frac{(Q_i - \bar{Q})}{s_Q}$$

kde Q_i je hodnota difference pro daný měsíc i , \bar{Q} je aritmetický průměr řady $\{Q_i\}$ a s_Q je směrodatná odchylka této řady s váhou $n-1$ (Alexandersson, 1986).

Nulová hypotéza H_0 je definována jako

$$H_0 : Z_i \in N(0,1) \quad i \in \{1, \dots, n\} ,$$

což znamená, že se předpokládá, že je řada standardizovaných diferencí homogenní; všechny hodnoty mají normální rozložení, střední hodnota se rovná nule a směrodatná odchylka se rovná jedné.

Alternativní hypotéza H_1 , která platí při zamítnutí H_0 , tvrdí, že

$$H_1: Z_i \in N(\mu_1, s) \quad i \in \{1, \dots, x\} , \\ Z_i \in N(\mu_2, s) \quad i \in \{x + 1, \dots, n\} ,$$

kde μ_1 je střední hodnota řady během prvních x měsíců, μ_2 střední hodnota řady v měsících $x + 1$ až n , přičemž $\mu_1 \neq \mu_2$, a s je směrodatná odchylka řady.

Testovací kritérium T_m , které rozhoduje o tom, zda platí H_0 , se vypočítá jako

$$T_m = \text{Max}_{1 \leq x \leq n-1} \{T_x\} = \text{Max}_{1 \leq x \leq n-1} \{x\bar{z}_1^2 + (n-x)\bar{z}_2^2\}$$

kde

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{x} \sum_{i=1}^x z_i \quad (\bar{z}_1 \approx \mu_1) \\ \bar{z}_2 = \frac{1}{(n-x)} \sum_{i=x+1}^n z_i \quad (\bar{z}_2 \approx \mu_2).$$

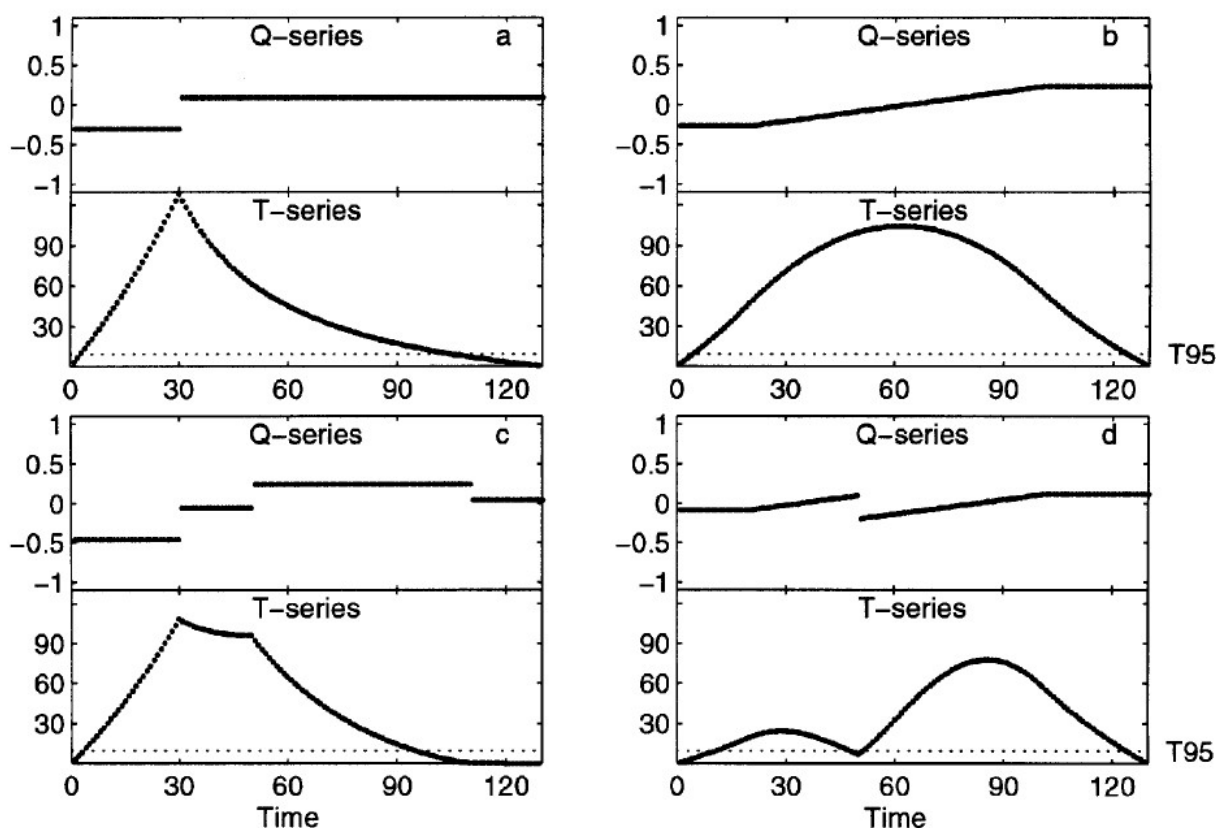
⁶ V případě, že je test aplikován na srážková data, jedná se o řadu **poměru** mezi hodnotami testované a referenční řady v čase i .

V měsíci x pak s největší pravděpodobností došlo k posunu v průměru datové řady. Pokud je T_m větší než kritická hodnota, můžeme na dané hladině významnosti zamítnout H_0 a prohlásit řadu za nehomogenní. Kritická hodnota závisí na počtu hodnot v testované řadě a na vybrané hladině významnosti; vybrané kritické hodnoty jsou v Tab. 2.

n	10	16	20	30	40	50	100
krit.	5,637	6,674	7,089	7,747	8,151	8,480	9,167

Tab. 2: Vybrané kritické hodnoty na hladině významnosti 0,05; krit – kritická hodnota, n – počet hodnot testovaných dat (Khaliq a Ouarda, 2007)

Pokud se T_x vynese do grafu, vytvoří křivku, jejímž nejvyšším bodem je T_m . Podle tvaru křivky se dá vyvodit jaký typ diskontinuity je v řadě přítomen (Obr. 5).



Obr. 5: Křivky T_x ; a) jeden zlom v řadě, b) trend v řadě, c) čtyři zlomy v řadě, jeden zamaskován, d) přerušený trend v řadě (Alexandersson a Moberg, 1997)

V případě, že byla řada prohlášena za nehomogenní, musela být upravena. SNHT poskytuje odhad velikosti detekované diskontinuity, která následně může být použita k úpravě řady.

Všechny hodnoty řady diferencí od začátku do měsíce x jsou opraveny o hodnotu $\bar{q}_2 - \bar{q}_1$, přičemž

$$\bar{q}_1 = s_Q \bar{z}_1 + \bar{Q},$$

$$\bar{q}_2 = s_Q \bar{z}_2 + \bar{Q}.$$

Upravenou řadu jsem podrobila testu homogenizace tolikrát, dokud nebyla na dané hladině významnosti prohlášena za homogenní. Dostala jsem tak novou řadu průměrných měsíčních hodnot daného prvku.

Abych získala homogenní řadu průměrných denních hodnot testovaného prvku, byly denní hodnoty v daném měsíci opraveny o hodnotu rozdílu mezi původní a novou měsíční hodnotou.

4.2.2. Klimatologické zpracování

4.2.2.1. Teplota vzduchu

Hodinová data teploty vzduchu [$^{\circ}\text{C}$] byla přepočtena na průměrné denní hodnoty dle rovnice

$$t_d = \frac{t_7 + t_{14} + 2t_{21}}{4}$$

kde t_7 , t_{14} a t_{21} jsou teploty v 7, 14 a 21 hodin místního času. Pokud v daném dni scházely pro t_7 , t_{14} nebo t_{21} číselný údaj, byla hodnota dopočítána z nejbližších hodnot, případně interpolována z dat jiných stanic.

Maximální a minimální denní teploty byly odečítány k 21 h místního času daného dne.

Z průměrných denních teplot vzduchu byly spočítány průměrné měsíční hodnoty, stejně jsem postupovala i u maximálních a minimálních teplot vzduchu.

Denní hodnoty maximální a minimální teploty vzduchu byly použity ke klasifikaci teplotně charakteristických dnů:

$$\text{arktický den} - T_{max} \leq -10^{\circ}\text{C}$$

$$\text{ledový den} - T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$$

$$\text{mrazový den} - T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$$

$$\text{letní den} - T_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$$

Dlouhodobé trendy teplot vzduchu byly vypočítány z měsíčních dat kyrgyzských stanic.

4.2.2.2. Srážky

U stanice Koltor byly spočítány denní úhrny srážek [mm], a to vždy mezi 7 h místního času daného dne a 7 h dne následujícího. Z řady denních srážkových úhrnů byly spočítány úhrny měsíční. Dále mě zajímal počet dní se srážkami a maximální denní úhrny srážek v jednotlivých měsících (ty minimální se logicky rovnají nule).

4.2.2.3. Tlak vzduchu

Denní průměrný tlak vzduchu [kPa] byl vypočítán podle rovnice

$$p_d = \frac{p_7 + p_{14} + p_{21}}{3}$$

kde p_7 , p_{14} a p_{21} jsou hodnoty tlaku vzduchu v termínech 7, 14 a 21 h místního času. Denní řady byly použity při kontrole homogenity měření na stanicích, v další analýze už použita nebyla.

4.2.2.4. Vítr

Směr [°] a rychlost [m/s] větru zaznamenávala ve druhé etapě měření stanice Adygine D. Z hodinových měření rychlosti větru byly vypočítány průměrné denní hodnoty, a z nich pak hodnoty měsíční. Dále byl podle větrné růžice stanoven převládající denní a sezónní směr větru.

4.2.2.5. Sluneční záření

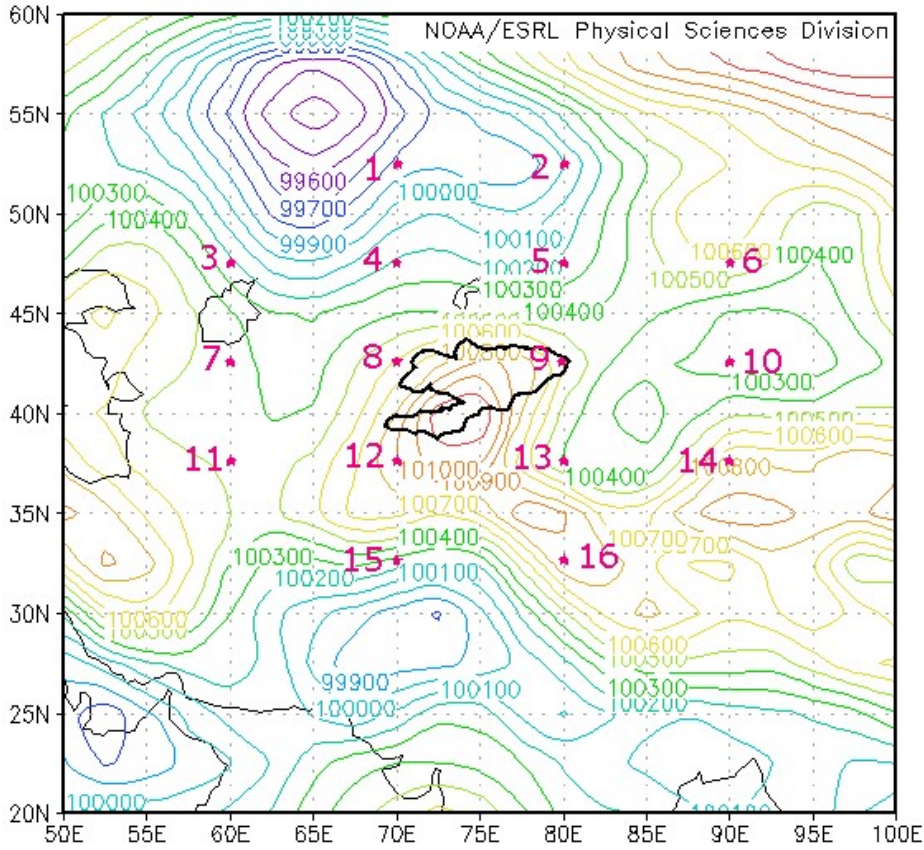
Stanice Koltor měřila každou hodinu intenzitu globálního a odraženého záření [W/m^2]. Z intenzity globálního záření se dají odhadnout jeho hodinové úhrny v MJ/m^2 , neboť

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 3600 \text{ J/h} .$$

Z hodinových úhrnů je pak možno vypočíst úhrny denní.

4.2.3. Klasifikace cirkulačních typů

Dalším cílem této práce bylo vytvořit klasifikaci cirkulačních typů pro zájmové území. Pro tento účel byla vybrána metoda Jenkinsona a Collisona (1977). Jedná se o objektivní metodu, ve které se cirkulační typy určují výpočetně za pomoci proměnných, které jsou dány rovnicemi 1 až 6 a pevně danými pravidly, a s pomocí hodnot MSLP, který je odečítán v šestnácti uzlových bodech pravidelné sítě překrývající zájmové území (Obr. 6).



Obr. 6: Uzlové body pravidelné sítě nad střední Asií (Zdroj: Reanalýza, upraveno)

$$W = \frac{1}{2}(12 + 13) - \frac{1}{2}(4 + 5) \quad (1)$$

$$S = k_1 \left[\frac{1}{4}(5 + 2 * 9 + 13) - \frac{1}{4}(4 + 2 * 8 + 12) \right] \quad (2)$$

$$F = \sqrt{(S^2 + W^2)} \quad (3)$$

$$ZW = k_2 \left[\frac{1}{2}(15 + 16) - \frac{1}{2}(8 + 9) \right] - k_3 \left[\frac{1}{2}(8 + 9) - \frac{1}{2}(1 + 2) \right] \quad (4)$$

$$ZS = k_4 \left[\frac{1}{4}(6 + 2 * 10 + 14) - \frac{1}{4}(5 + 2 * 9 + 13) - \frac{1}{4}(4 + 2 * 8 + 12) + \frac{1}{4}(3 + 2 * 7 + 11) \right] \quad (5)$$

$$Z = ZW + ZS \quad (6)$$

W je zonální a S meridionální složka geostrofického větru v poledníkovém směru na 55° s.š. F je výsledné proudění. Tučná čísla označují body pravidelné sítě, ze kterých jsou hodnoty odečítány (Obr. X).

ZW je zonální složka vorticity, ZS je meridionální složka vorticity a Z je výsledná vorticity, přičemž všechny tři jsou udávány v hPa/ 10° z.š. a jsou definované na 55° s.š.

Tato metoda byla původně vytvořena pro klasifikaci tlakových polí v oblasti Britských ostrovů, kdy je mřížka centrována na již zmiňovaných 55° s.š. Po úpravě koeficientů v rovnicích 2, 4 a 5 lze tuto metodu použít i jinde na severní polokouli, zhruba mezi 30°-70° s.z.š. (Jones et al., 2013).

Koeficient k_1 v rovnici 2 se vypočítá jako

$$k_1 = \frac{1}{\cos(\varphi)}$$

koeficienty k_2 a k_3 v rovnici 4 jako

$$k_2 = \frac{\sin(\varphi)}{\sin(\varphi - 5^\circ)}$$

$$k_3 = \frac{\sin(\varphi)}{\sin(\varphi + 5^\circ)}$$

a koeficient k_4 v rovnici 5 jako

$$k_4 = 0,5 \frac{1}{\cos^2(\varphi)}$$

kde φ je zeměpisná šířka, na kterou se mřížka centruje. V mém případě je $\varphi = 42,5^\circ$ s.š., z čehož vyplývá, že

$$k_1 = 1,36 \quad k_2 = 1,11 \quad k_3 = 0,92 \quad k_4 = 0,92 \quad .$$

Výsledný cirkulační typ byl identifikován dle následujících pravidel:

a) Výsledný směr větru D je vypočítán jako

$$D = \arctg \frac{W}{S}$$

a odpovídá azimutu směru větru na větrné růžici, tzn. pokud je D mezi 247,5° a 292,5°, vane západní vítr. Aby byl směr větru a potažmo cirkulační typ na mnou studovaném území určen správně, bylo třeba určit několik dodatečných pravidel:

- pokud je $W > 0$ a $S > 0$, pak k D přičítám 360°
- pokud je $W < 0$ a $S < 0$, pak k D nepřičítám nic
- v ostatních případech k D přičítám 180°.

- b) Pokud je $|Z| < F$, pak je proudění přímočaré (např. typ E).
- c) Pokud je $|Z| > 2F$, pak je daný cirkulační typ buď Cyklóna ($Z > 0$), nebo Anticyklóna ($Z < 0$).
- d) Pokud je $F < |Z| < 2F$, pak se jedná o hybridní typ (např. typ Ea)
- e) Pokud je $F < 6$ a $|Z| < 6$, pak není v daném okamžiku na zájmovém území žádné výrazné proudění a cirkulační typ nemůže být jednoznačně určen.

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, pro odečet hodnot MSLP v uzlových bodech mřížky byla používána schémata vygenerovaná z dat reanalýzy, zobrazující pole MSLP v 6:00 UTC⁷ na výřezu 20-60° s.š. a 50-100° v.d.

Hodnoty byly dosazeny do příslušných rovnic, jejichž výsledek ve většině případů určil cirkulační typ, který „vládl“ v danou dobu na zájmovém území. V případě, že cirkulační typ nemohl být metodou Jenkinsona a Collisona jednoznačně určen, byla k jeho identifikaci použita metoda subjektivní. K této situaci většinou docházelo v případě nevýrazného tlakového pole, kdy se nad Kyrgyzstánem nacházelo barické (tlakové) sedlo, proto jsem se rozhodla místo původního synoptického typu U (undecided, česky přeneseně „nepřiřazený“) používat nový typ B, neboli Barické sedlo nad Kyrgyzstánem. V případě, že cirkulační typ nebyl jednoznačně určen, ale rozložení pole MSLP neodpovídalo typu B, byl k danému dni přiřazen typ, který se mu nejvíce podobal.

Metoda mohla rozlišit celkem 27 cirkulačních typů, které byly dále rozřazeny do jedenácti skupin typů (anticyklóna, cyklóna, barické sedlo, severní, severovýchodní, východní, jihovýchodní, jižní jihozápadní a západní typy).

Výsledkem klasifikace byl katalog cirkulačních typů pro období srpen 2007 až červenec 2011. Toto časové rozmezí bylo zvoleno tak, aby pokrylo celou první etapu měření stanic z experimentálních lokalit, a zároveň tak, aby zahrnovalo stejný počet ročních období, což bylo důležité pro další synopticko-klimatologickou analýzu.

Ideální by bylo tento katalog alespoň u kyrgyzských stanic ještě rozšířit, čímž by se zpřesnily výsledky kvantifikace případných vztahů mezi jednotlivými cirkulačními typy a klimatickými prvky, a zároveň by bylo možné lépe zkoumat, zda a jak se mění frekvence

⁷ Tedy 11:00 místního času v Kyrgyzstánu. Ideální by byl termín 7:00 UTC, tedy 12:00 místního času, aby tlakové pole odpovídalo stavu v polovině daného dne.

výskytu těchto cirkulačních typů v průběhu let. Bohužel metoda, kterou jsem zvolila pro identifikaci cirkulačních typů, je časově náročná, a proto jsem analyzované období příliš nerozšiřovala nad rámec určený v zadání diplomové práce.

4.2.4. Synopticko-klimatologická analýza

Pro kvantifikaci vztahů mezi cirkulačními typy a klimatickými prvky byly použity řady maximálních a minimálních teplot vzduchu ze stanic Koltor, Adygine H, Adygine D, Naryn, Tokmak, Talas, Džalal Abad a Ťan Šan a denní úhrny srážek a globálního záření ze stanice Koltor.

U teploty vzduchu jsem v první fázi analýzy použila dvouvýběrový Kolmogorovův-Smirnovův test (K-S test) k tomu, abych zjistila, zda se „chová“ při různých cirkulačních typech různými, specifickými způsoby. Ve druhé fázi analýzy jsem zjišťovala, do jaké míry jsou klimatické podmínky různými cirkulačními typy ovlivňovány. Ve třetí fázi byly shrnuty základní charakteristiky jednotlivých typů.

4.2.4.1. Kolmogorovův-Smirnovův test

K-S test slouží ke srovnání pravděpodobnostních rozdělení dvou výběrů, a to pomocí konstrukce a porovnání jejich pravděpodobnostních distribučních funkcí $F(x)$ a $G(x)$. Nulová hypotéza H_0 tvrdí, že se tyto distribuční funkce shodují a oba výběry dat pocházejí ze stejného pravděpodobnostního rozdělení (Wilks, 2006).

Distribuční funkce prvního výběru $F(x)$ je v tomto případě konstruovaná z n hodnot klimatického prvku x při dnech se zvoleným synoptickým typem, distribuční funkce druhého výběru $G(x)$ je sestavená z m hodnot stejného klimatického prvku za všechny dny, bez ohledu na cirkulační typ.

Hodnoty z obou výběrů jsou rozděleny do stejného počtu tříd, následně se pak vypočítá rozdíl mezi relativními kumulativními četnostmi distribuční funkce $F(x)$ a $G(x)$ pro každou tuto třídu. Z vypočítaných rozdílů je vybrán maximální rozdíl D_{max}

$$D_{max} = \max[F_n(x) - G_m(x)],$$

který je porovnán s kritickou hodnotou D_{kr} , závisící na zvolené hladině významnosti α a velikosti výběrů. V této práci byla zvolena hladina významnosti $\alpha = 0,1$ a kritická hodnota se tedy vypočítala jako

$$D_{kr} = 1,22 \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2}}$$

Pokud platí, že $D_{max} > D_{kr}$, H_0 se zamítá, a s 90% spolehlivostí lze říct, že testované výběry mají odlišné pravděpodobnostní rozdělení.

Takto byly otestovány všechny synoptické typy pro vybrané klimatické prvky na všech stanicích, zvláště pro jednotlivá roční období⁸. Dále byly analogicky otestovány i skupiny cirkulačních typů, abych ověřila možnost, že pro popis klimatických prvků stačí znát směr proudění a na variantě typu (cyklonální, anticyklonální) tolik nezáleží. V případě, že by se tato skutečnost potvrdila, mohly by se typy ve skupinách sloučit.

Typům, u kterých byla zamítnuta nulová hypotéza, byla věnována větší pozornost v dalších částech analýzy. V případě, že se cirkulační typ vyskytl v daném ročním období méně než třikrát, nemohl být test proveden.

4.2.4.2. Kvantifikace vztahů mezi cirkulačními typy a klimatickými prvky

Abych zjistila, jak jednotlivé cirkulační typy ovlivňují chování teplot vzduchu, sledovala jsem, které typy se vyskytovaly u nejteplejších a nejchladnějších dnů v jednotlivých měsících u jednotlivých stanic. Dny v daném měsíci u konkrétní stanice byly seřazeny (sestupně, respektive vzestupně) podle hodnot (maximální, respektive minimální) teploty vzduchu a poté bylo ke každému dni přiděleno pořadí; postup byl opakován pro každou stanici zvláště. Poté byly dny seskupeny podle jednotlivých cirkulačních typů a hodnoty pořadí byly pro každý tento typ zprůměrovány. Cirkulační typy byly seřazeny podle tohoto průměru, díky čemuž se dalo odvodit, které typy byly v daném měsíci nejteplejší, respektive nejchladnější. Po srovnání výsledků z analýzy měsíců byly stanoveny nejteplejší a nejchladnější cirkulační typy i pro jednotlivá roční období. Tento postup upřednostňuje typy, které měly v daném měsíci minimum výskytů, proto bylo třeba u takto vzácných typů kontrolovat, zda se umístily správně.

U srážkových úhrnů a úhrnů globálního záření na stanici Koltor jsem sledovala typy spojené s maximálními, minimálními, nadprůměrnými, podprůměrnými a průměrnými úhrny jednotlivých prvků zvláště pro jednotlivá roční období.

⁸ V celé práci jsou roční období vymezena klasicky: jaro – III, IV, V, léto – VI, VII, VIII, podzim – IX, X, XI, zima – XII, I, II.

Pro analýzu maximálních a minimálních úhrnů bylo vybíráno deset nejvyšších, respektive nejnižších úhrnů prvku za sezónu (u stanice Koltor bylo v každém ročním období v průměru sto denních hodnot). V případě úhrnů globálního záření musel být odstraněn vliv prodlužující se a zkracující se doby slunečního svitu, aby mohly být jednotlivé měsíce v rámci daného ročního období srovnatelné. Pro stanovení cirkulačních typů souvisejících s minimálními úhrny srážek (suchých cirkulačních typů) byly analyzovány dny bez srážek.

Pro analýzu typů s nadprůměrnými, podprůměrnými a průměrnými úhrny srážek a globálního záření jsem u jednotlivých typů spočítala aritmetické průměry úhrnů za dané období; průměr byl spočítán i ze všech hodnot za celé období bez ohledu na cirkulační typ (celkový průměr). Za cirkulační typy s průměrnými úhrny daného klimatického prvku byly považovány ty typy, jejichž průměrné hodnoty spadaly do intervalu ohraničeného hodnotou celkového průměru zvětšeného a zmenšeného o střední chybu průměru), typy s nadprůměrnými úhrny měly střední hodnotu vyšší a typy s podprůměrnými úhrny nižší.

5. Výsledky

V této části práce jsou uvedeny výsledky jednotlivých částí analýzy. V první části se zabývám homogenitou klimatických řad ze stanic z experimentálních povodí a ve druhé části jsou shrnuty výsledky klimatologického zpracování těchto řad. Ve třetí části jsou shrnuty základní informace o výskytu a sezonalitě cirkulačních typů, určených pomocí klasifikační metody Jenkinsona a Collisona. V poslední části jsou shrnuty výsledky synopticko-klimatické analýzy.

5.1. Homogenizace

5.1.1. Adygine H

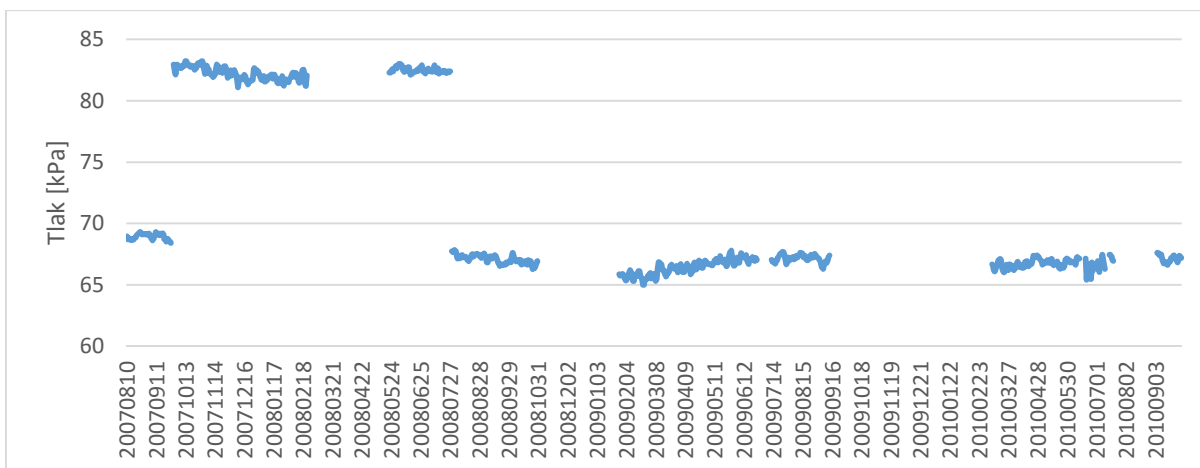
5.1.1.1. Kontrola dat

Nejjednodušším způsobem, jak odhalit nehomogenitu v klimatické řadě, je prostudovat metadata stanice. U měření z experimentálních lokalit sice nebyla k dispozici metadata jako taková, ale při převzetí dat jsem byla informována o tom, že meteorologická stanice Adygine H byla za dobu svého měření několikrát přesunuta do jiné nadmořské výšky, konkrétně, že byla z původní nadmořské výšky cca 3 500 m n. m. snesena na zimu do cca 2 000 m n. m., a že na jaře 2008 byla vynesena zpět nahoru. Abych se o tom přesvědčila, nejprve jsem analyzovala naměřená data tlaku vzduchu, jehož závislost na nadmořské výšce je silnější než u teploty. Z rychlé kontroly dat bylo patrné, že k přesunům došlo:

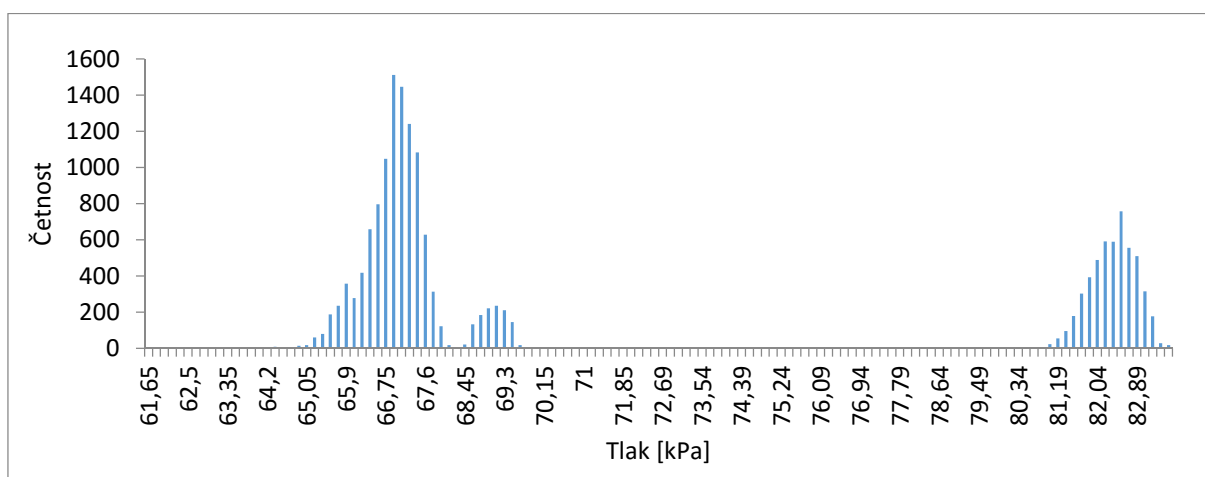
- a) 29.9.2007, kdy byl tlak o 14,38 kPa vyšší než při předcházejícím měření 27.9.2007, což nasvědčuje tomu, že byla stanice přesunuta do nižší nadmořské výšky,
- b) 27.7.2008, kdy byl tlak vzduchu o 14,98 kPa vyšší než při následujícím měření 29.7.2008, z čehož naopak plyne, že byla stanice přesunuta do vyšší nadmořské výšky.

Hodnoty tlaku vzduchu z první etapy měření na stanici Adygine H jsem vynesla do Grafu 7, ze kterého je patrný posun v průměru naměřených hodnot. Poté jsem z těchto hodnot vytvořila histogram (Graf 8); ze tří přítomných maxim lze usuzovat, že se stanice za tuto dobu nacházela ve třech různých nadmořských výškách – v1, v2 a v3, přičemž další analýza dat odhalila, že

$v2$ (max četnost v 82,55 kPa) < $v1$ (max četnost v 69,13 kPa) < $v3$ (max četnost v 66,92 kPa), což koresponduje s informacemi, které mi byly předem poskytnuty.



Graf 7: Průměrné denní hodnoty tlaku vzduchu na stanici Adygene H v období 2007-2010
(Zdroj: Exp. data)



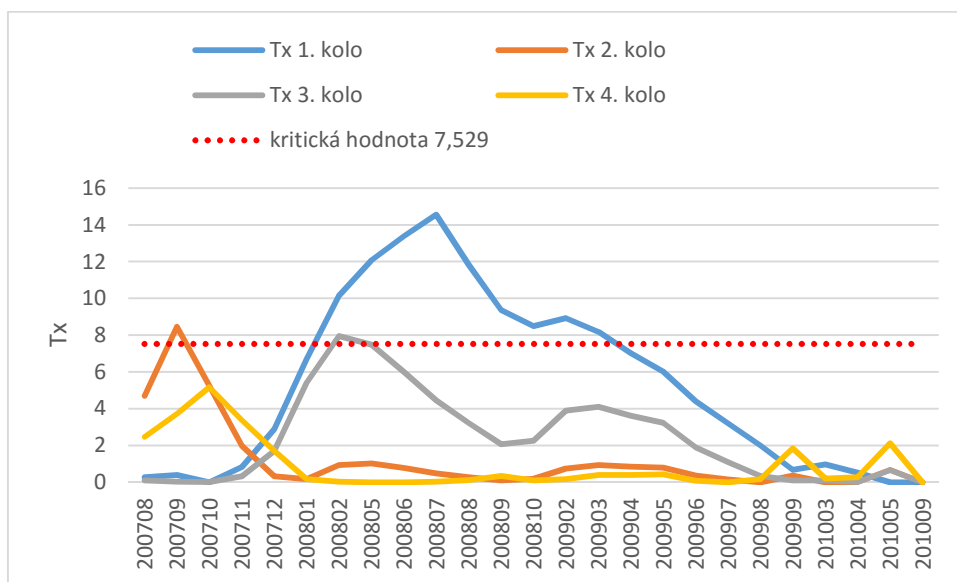
Graf 8: Četnost hodnot tlaku vzduchu naměřených na stanici Adygene H v období 2007- 2010 (Zdroj: Exp. data)

Přesouvání meteorologické stanice do různých nadmořských výšek může představovat problém při další analýze dat, protože se odráží mimo jiné i na naměřených hodnotách teploty vzduchu, které jsou pro tuto práci stěžejní. Lze předpokládat, že od začátku měření až do 27.7.2008 budou naměřené teploty (T_d , T_{max} , T_{min}) vyšší, než by byly, kdyby je stanice měřila v nadmořské výšce 3800 m n. m. O jak velký rozdíl se jedná, jsem se pokoušela zjistit pomocí metody SNHT.

5.1.1.2. SNHT

Jako první byla analyzována homogenita denních průměrných teplot vzduchu, a to po jejich převedení na měsíční hodnoty. Aby mohla být data otestována, bylo třeba nejdříve sestavit referenční řady. Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, první referenční řada byla spočítána jako aritmetický průměr měsíčních hodnot všech pěti kyrgyzských stanic. Druhá referenční řada byla vypočtena jako aritmetický průměr pouze nejlépe korelovaných stanic (Talas, 0,842, a Ťan Šan, 0,851).

Při prvním kole homogenizace bylo testovací kritérium nejvyšší v červenci 2008 a překročilo kritickou hodnotu 7,529 (Graf 9), tento posun v průměru odpovídal přesunu stanice do nadmořské výšky v_3 . Ve druhém kole homogenizace překročilo Tx kritickou hodnotu v září 2007, kdy byla stanice přemístěna do výšky v_2 . Ve třetím kole byl objeven posun v průměru v únoru 2008, který pravděpodobně vznikl, protože první oprava dat nebyla v chladnějších měsících dostatečná. Ve čtvrtém kole homogenizace již nedošlo k překročení kritické hodnoty, proto nedošlo k zamítnutí H_0 a řada mohla být považována za homogenní. To neznamená, že by se v řadě již nehomogenity nevyskytovaly, ale už nebyly statisticky významné.

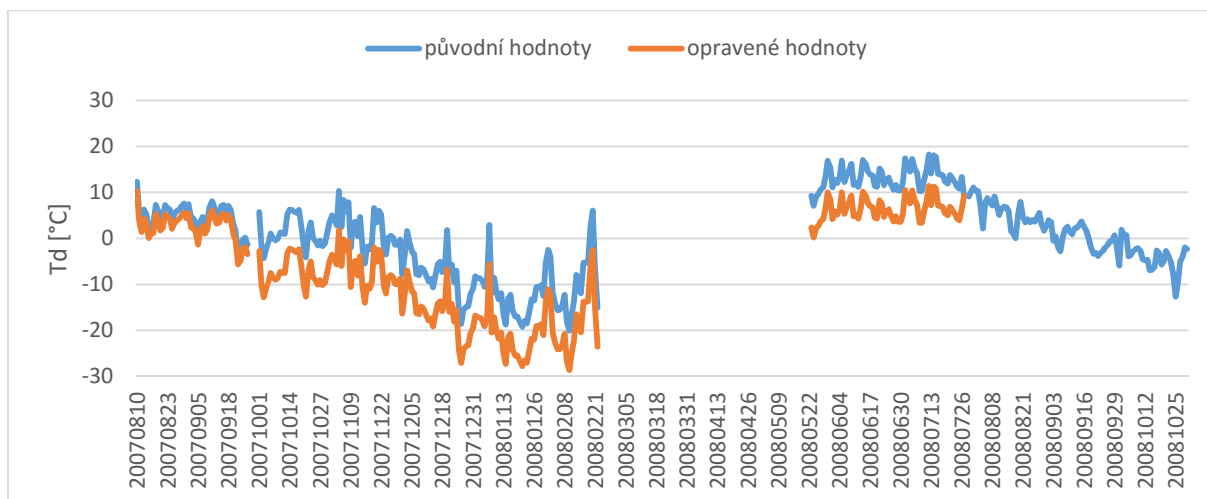


Graf 9: Křivky Tx v jednotlivých kolech homogenizace při použití referenční řady z nejlépe korelovaných stanic (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Datum	Oprava Td	Oprava Tmax	Oprava Tmin
200708	-2	-4,13	-3,60
200709	-2	-4,13	-3,60
200710	-8,53	-13,66	-8,53
200711	-8,53	-13,66	-8,53
200712	-8,53	-13,66	-8,53
200801	-8,53	-13,66	-8,53
200802	-8,53	-13,66	-8,53
200805	-6,87	-8,96	-4,86
200806	-6,87	-8,96	-4,86
200807	-6,87	-8,96	-4,86

Tab. 2: Velikost opravy hodnot daného klimatického prvku v jednotlivých měsících na stanici Adygine H; Td – průměrná denní teplota, Tmax – maximální denní teplota; Tmin – minimální denní teplota (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Abych získala homogenní řadu průměrných denních teplot vzduchu, byly denní hodnoty v daném měsíci opraveny o hodnotu rozdílu mezi původní a novou měsíční hodnotou (hodnoty ve sloupci Oprava Td v Tab. 2). Tento postup zvolili i Vincent et al. (2002) a bude dále rozveden v diskuzi. Po úpravě hodnot se zvýšila korelace mezi řadou průměrných denních teplot Adygine H a denními teplotami kyrgyzských stanic (viz Tab. 3). Srovnání původních a upravených hodnot průměrné denní teploty je znázorněno v Grafu 10. Z grafu je patrné, o kolik byly naměřené hodnoty teploty vzduchu v nejnižší nadmořské výšce v_2 vyšší, než kdyby v té době stanice měřila ve výšce v_3 (3 800 m n. m.). Je nutno dodat, že se upravené hodnoty pouze blíží hodnotám, které by byly naměřeny, kdyby se stanice nestěhovala. Prostá úprava průměru nemůže data opravit s dostatečnou přesností, obzvláště pokud jsou v takto podrobném časovém rozlišení. I přesto se dá říct, že se po homogenizaci kvalita naměřených dat zlepšila (alespoň co se týče jejich vhodnosti k dalšímu klimatologickému zpracování).



Graf 10: Původní a upravené hodnoty průměrné denní teploty vzduchu na stanici Adygině H (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Td	Talas	Tokmak	Naryn	Džalal Abad	Ťan Šan
Koltor	0,94	0,94	0,87	0,91	0,87
Adygině H	0,83	0,83	0,80	0,81	0,81
Adygině H 2	0,94	0,94	0,93	0,94	0,94
Adygině D	0,93	0,92	0,91	0,94	0,91
Tmax	Talas	Tokmak	Naryn	Džalal Abad	Ťan Šan
Koltor	0,90	0,91	0,90	0,91	0,91
Adygině H	0,71	0,71	0,69	0,68	0,69
Adygině H 2	0,89	0,90	0,88	0,89	0,88
Adygině D	0,86	0,87	0,86	0,87	0,85
Tmin	Talas	Tokmak	Naryn	Džalal Abad	Ťan Šan
Koltor	0,91	0,91	0,84	0,89	0,86
Adygině H	0,86	0,86	0,86	0,85	0,86
Adygině H 2	0,95	0,95	0,92	0,94	0,92
Adygině D	0,88	0,86	0,83	0,86	0,86

Tab. 3: Korelační koeficienty mezi denními řadami klimatických prvků na jednotlivých stanicích; Adygině H 2 – homogenizovaná řada daného klimatického prvku Adygině H; (Zdroj: Exp. data, data GHCN, vlastní zpracování)

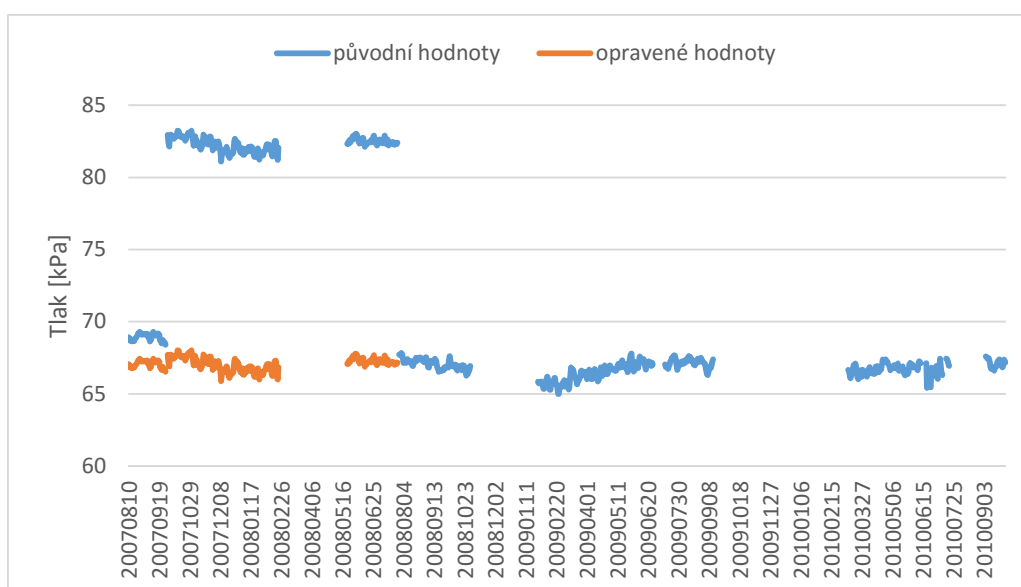
Analogicky jsem postupovala i u řad maximálních a minimálních denních teplot vzduchu, u kterých byly objeveny posuny v průměru ve stejných termínech jako u průměrné teploty

vzduchu. Velikost oprav hodnot maximálních, respektive minimálních denních teplot vzduchu v jednotlivých měsících je uvedena v Tab. X. Po opravě u obou klimatických prvků stoupla korelace mezi Adygine H a kyrgyzskými stanicemi (Tab. 3).

Průměrný denní tlak vzduchu jsem nemohla z důvodu chybějící referenční řady opravit pomocí SNHT, proto jsem data upravila ručně:

- a) hodnoty 8.10.2007 až 27.9.2007 jsem snížila o 1,86 kPa (rozdíl průměrného tlaku ve výšce v_1 a v_3)
- b) hodnoty 29.9.2007 až 27.7.2008 jsem snížila o 15,23 kPa (rozdíl průměrného tlaku ve výšce v_2 a v_3).

Srovnání původních a opravených hodnot tlaku vzduchu je v Grafu 11.



Graf 11: Původní a opravené hodnoty tlaku vzduchu na stanici Adygine v období 2007-2010 (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

5.1.2. Adygine D

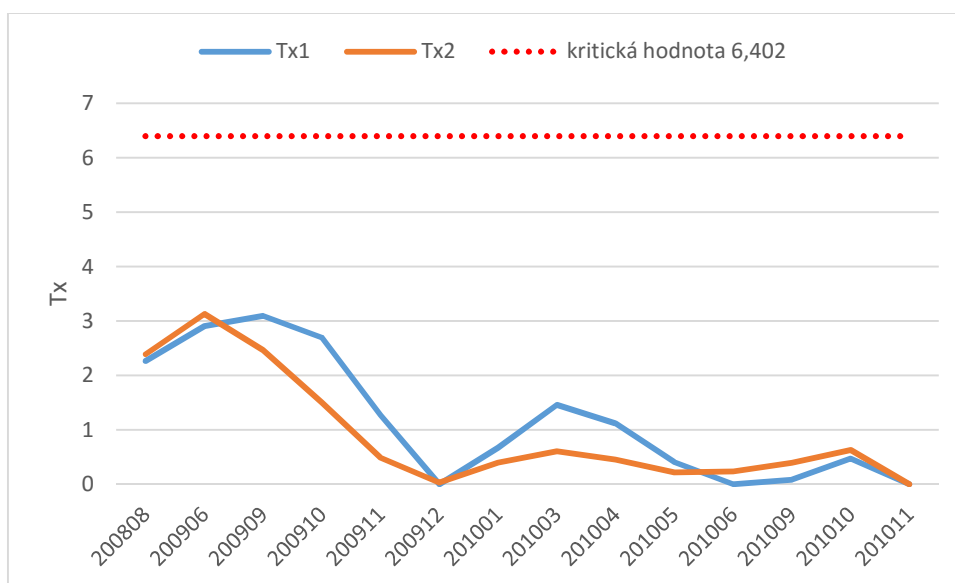
5.1.2.1. Kontrola dat

O stanici Adygine D mi nebylo dopředu známo, že by u ní došlo k podobně dramatickým přesunům jako u předchozí stanice. To nepotvrdila ani prvotní vizuální kontrola dat. Na druhou stranu se nedá vyloučit, že zde nedocházelo k menším přesunům. Podrobnější kontrola dat odhalila vychýlené hodnoty, které byly z řady odebrány. Jednalo se o hodnoty ve dnech 12.-25.6.2009, které i v ranních hodinách přesahovaly 20 °C a byly o cca 10 °C vyšší než u stanice Koltor. a několik hodnot v květnu 2010: 95,9 °C (22.5.2010 17:00), 45,5 °C (23.5.2010 16:00) a 127,1 °C (28.5.2010 15:00).

5.1.2.2. SNHT

Testování homogenity dat z Adygine D proběhlo stejně jako u Adygine H. Druhá referenční řada byla vypočítána jako aritmetický průměr z měsíčních teplot stanic Talas, Tokmak a Ťan Šan (všechny měly korelační koeficient vyšší než 0,99).

Při testování homogenity nepřekročila hodnota T_x ani v jednom případě kritickou hodnotu (viz Graf 12) a měsíční data teploty vzduchu z Adygine D lze tedy na hladině významnosti 0,05 prohlásit za homogenní. Měsíční a potažmo denní teploty vzduchu jsem již dále neupravovala.



Graf 12: Křivky T_x dle jednotlivých referenčních řad u stanice Adygine D (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Ani u testování maximální a minimální denní teploty vzduchu nedošlo k zamítnutí nulové hypotézy a řady bylo možné prohlásit za homogenní.

5.1.3. Koltor

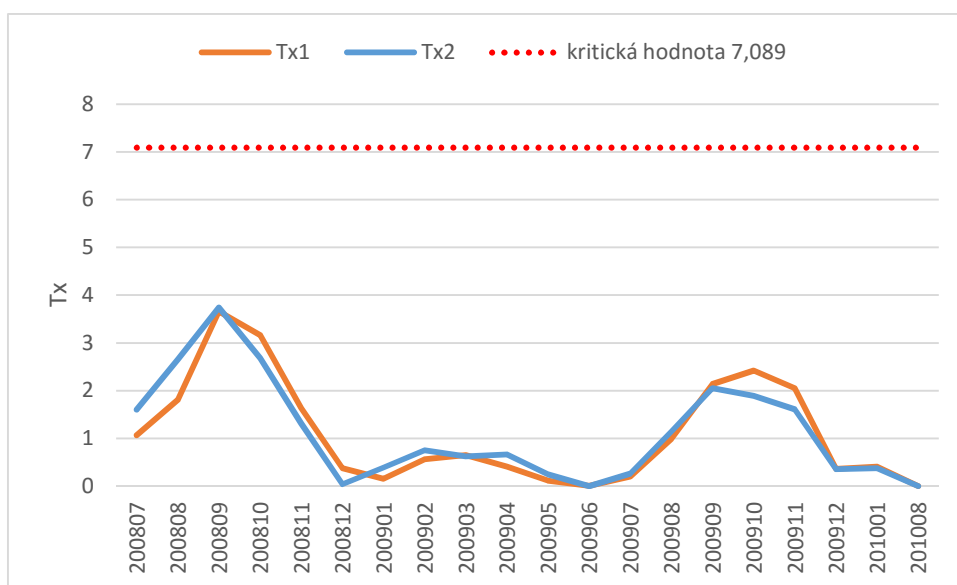
5.1.3.1. Kontrola dat

Stejně jako u Adygine D mi nebylo známo, že by se stanice přemísťovala mezi různými nadmořskými výškami, a nenapověděla mi ani analýza dat tlaku vzduchu, neboť ten stanice Koltor neměřila. Byla jsem ovšem informována o tom, že výpadek měření v prvním půlroce 2010 byl způsoben demontováním stanice, což se mohlo teoreticky na datech projevit.

Na rozdíl od Adygine D neodhalila kontrola dat u měřených prvků žádné podezřelé hodnoty.

5.1.3.2. SNHT

Druhá referenční řada byla zkonstruována z měsíčních teplotních řad stanic Talas a Tokmak (obě měly korelační koeficient větší než 0,99). Stejně jako u Adygine D nebyla H_0 na hladině významnosti 0,05 zamítnuta (hodnoty T_x jsou vyobrazeny v Grafu 13) a řada průměrných měsíčních teplot vzduchu stanice Koltor se tak dala považovat za homogenní. Stejným způsobem dopadlo i testování maximální a minimální teploty vzduchu a řady bylo možné prohlásit za homogenní.



Graf 13: Křivky T_x dle jednotlivých referenčních řad u stanice Koltor (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

5.2. Klimatologické zpracování dat

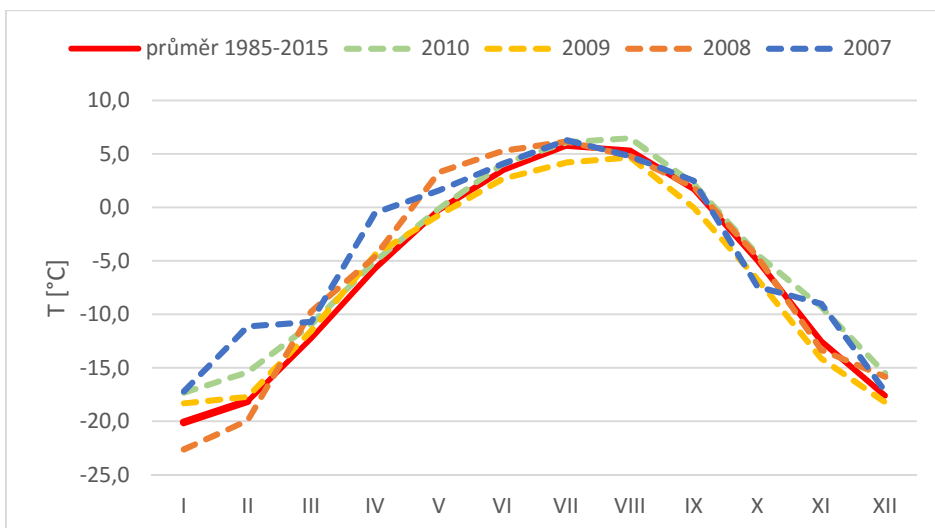
5.2.1. Teplota vzduchu

V homogenizované řadě denních průměrných teplot stanice Adygine H byly doplněny chybějící hodnoty, které byly dopočítány pomocí lineární regrese z dat nejlépe korelovaných stanic. Nejdříve byly doplněny krátkodobé výpadky uvnitř datových řad, poté chybějící hodnoty, které se nacházely na začátku/konci měsíce, a to proto, aby bylo možné řádně vypočítat průměrné měsíční teploty. Při analýze homogenity denních teplot byly použity měsíční průměry vypočítané z nekompletních dat. Abych se přesvědčila o tom, že doplnění hodnot neovlivnilo homogenitu klimatické řady, otestovala jsem nové měsíční průměry pomocí SNHT, který na hladině významnosti 0,05 nehomogenitu neprokázal.

Analogicky jsem postupovala i u stanic Adygine D a Koltor. Shrnutí základních charakteristik teploty vzduchu u jednotlivých stanic je možno vidět v Tab. 4 – 6.

Hodnoty těchto charakteristik jsou značně ovlivněny dlouhými výpadky měření. Například u stanice Adygine H byla pro výpočet celkového listopadového průměru teploty vzduchu k dispozici pouze hodnota za listopad 2007, který byl u vysoko položených kyrgyzských stanic Naryn a Ťan Šan nejteplejší za posledních deset let. Naopak pro výpočet lednové teploty byl k dispozici pouze průměr z ledna 2008, který u všech kyrgyzských stanic patřil k vůbec nejchladnějším za posledních třicet let. Podobných případů bylo více a vypočtené hodnoty je tedy třeba brát s rezervou.

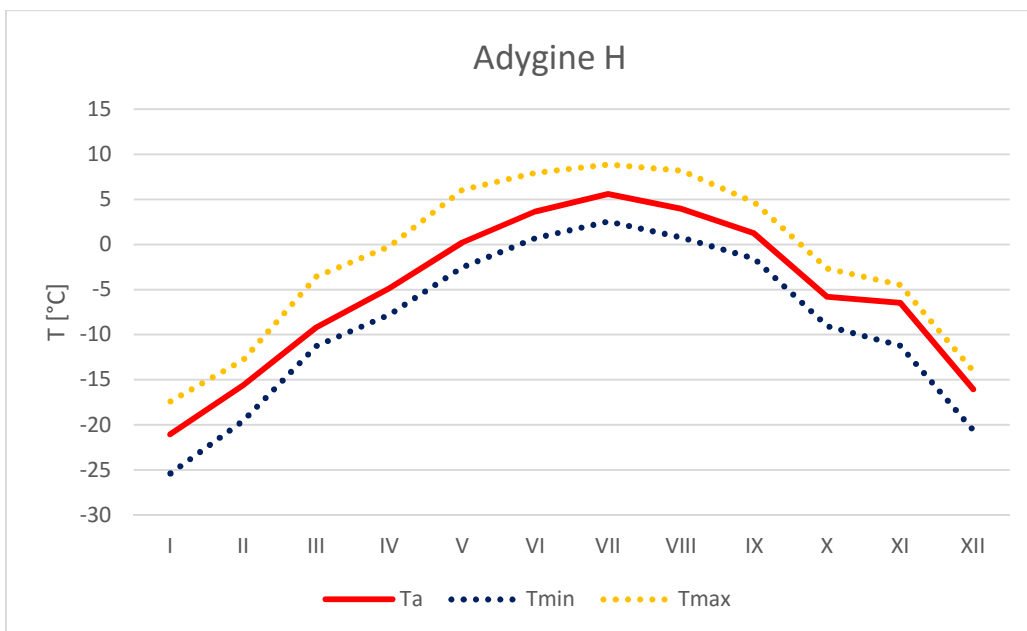
Pro lepší představu o meziroční variabilitě klimatu, která poněkud zkomplikovala analýzu teplotních charakteristik ze stanic z experimentálních lokalit, jsem vynesla do Grafu 14 řadu průměrné teploty na stanici Ťan Šan za období 1985-2015 a průměrné měsíční hodnoty teploty vzduchu v letech 2007, 2008, 2009 a 2010 (tedy v těch letech, kdy probíhala měření na stanicích v experimentálních lokalitách). Z grafu je patrné, které měsíce jednotlivých roků byly teplotně nadprůměrné a které podprůměrné.



Graf 14: Křivky průměrné teploty pro roky 2007, 2008, 2009, 2010 a období 1985-2015 na stanici Ťan Šan (Zdroj: GHCN)

5.2.1.1. Adygine H

Adygine H má ze všech tří stanic nejchladnější klima, což odpovídá její nadmořské výšce. Po více než 285 dní v roce je minimální teplota vzduchu menší než 0 °C; maximální teplota se nad bod mrazu nedostane po zhruba polovinu dní v roce, přičemž v průměru pětinu dní je nižší než -10 °C. Denní teploty se v kladných hodnotách nacházejí zhruba od května do září, což lze pozorovat i na teplotních křivkách v Grafu 15.



Graf 15: Průměrné teploty vzduchu na stanici Adygine H za období 2007-2010 (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Nejteplejším měsícem je červenec s prům. teplotou 5,6 °C, nejchladnější je leden, jehož dlouhodobá průměrná teplota bude pravděpodobně vyšší než vypočtených -21,1 °C (jak již bylo zmíněno výše, pro výpočet průměru byla k dispozici pouze jediná hodnota) a bude se spíš blížit prosincovému průměru. Hodnoty absolutní nejvyšší (18 °C) i nejnižší (-32 °C) teploty byly vypočteny při homogenizaci dat, proto nemusí přesně odpovídat hodnotám, které by byly naměřeny, pokud by stanice neměnila svou polohu. Zajímavé je, že obě rekordní hodnoty spadají pod ten samý rok, konkrétně rok 2008, který byl charakteristický velmi nízkými teplotami v prvních dvou měsících a naopak nadprůměrně vysokými teplotami na jaře a v létě.

	T _a	T _{max}	absT _{max}	T _{min}	absT _{min}	D _m	D _{ld}	D _a
	[°C]							
I	-21,1	-17,4	-6,5	-25,4	-30,9	31,0	31,0	27,0
II	-15,6	-12,8	-2,0	-19,5	-32,0	28,5	28,5	17,5
III	-9,2	-3,6	10,2	-11,3	-22,8	31,0	22,5	2,5
IV	-4,9	-0,2	9,4	-7,8	-16,2	30,0	15,5	0
V	0,2	6,1	16,7	-2,5	-10,6	25,0	4,5	0
VI	3,7	8,0	16,3	0,7	-6,9	12,3	3,0	0
VII	5,6	8,9	18,0	2,6	-3,7	6,0	0	0
VIII	4,0	8,2	15,3	0,8	-4,5	10,0	0	0
IX	1,2	4,7	17,6	-1,6	-9,7	20,3	4,0	0
X	-5,8	-2,7	5,6	-9,1	-17,1	30,5	21,5	4,0
XI	-6,5	-4,5	2,7	-11,2	-18,7	30,0	25,0	2,0
XII	-16,1	-14,0	-2,4	-20,6	-31,0	31,0	31,0	26,0
rok	-5,4	-1,6	18,0	-8,7	-32,0	285,6	186,5	79,0

Tab. 4: Charakteristiky teploty vzduchu u Adygine H za období 2007-2010; T_a – dlouhodobá měsíční teplota vzduchu, T_{max} - dlouhodobá maximální (T_{min} minimální) měsíční teplota, absT_{max} - absolutní denní maximum (absT_{min} minimum) teploty vzduchu v daném měsíci za celou dobu měření. D_m - průměrný počet mrazových dnů v daném měsíci, D_{ld} - ledové dny, D_a – arktické dny. V posledním řádku jsou uvedeny roční hodnoty těchto charakteristik, odvozené z hodnot měsíčních. (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

5.2.1.2. Adygine D

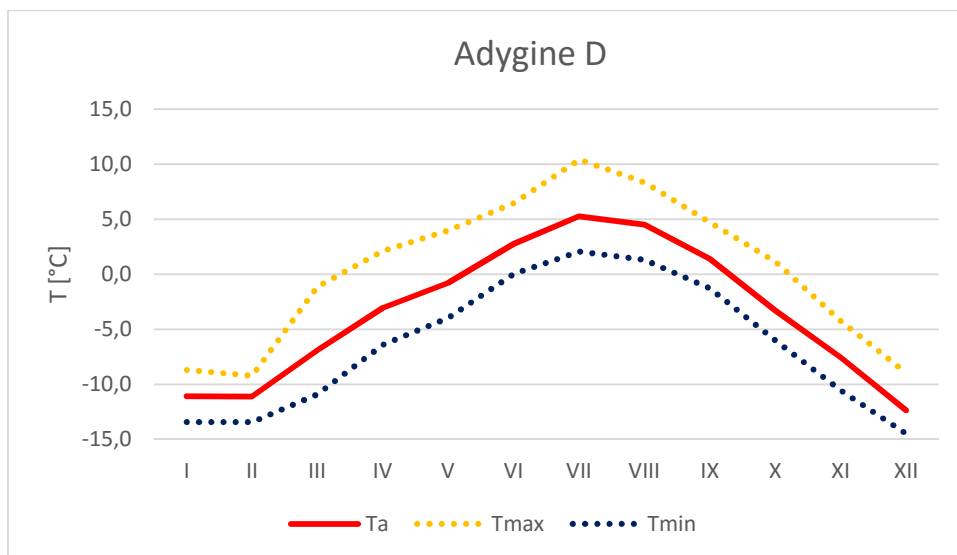
Stanice Adygine D má průměrnou roční teplotu -3,5 °C a stejně jako u Adygine H se denní teploty po většinu roku nacházejí pod bodem mrazu (viz Graf 16). Adygine D má za rok v průměru 281 mrazových dnů (T_{min} < 0 °C), což je téměř stejný počet jako u horní stanice. Oproti tomu má v průměru pouze 32 arktických dnů, což je víc než o polovinu méně. To

bude spíš než odlišnou nadmořskou výškou a mikroklimatem způsobeno tím, že byly pro výpočet celkových průměrů použity měsíce z různých let, neboť obě stanice v zimě téměř nikdy neměřily současně. V úsecích, kde jsou současná měření k dispozici, má Adygine D po většinu času vyšší teploty než Adygine H, opak ale není výjimkou – přestože se horní stanice nachází o zhruba 300 m výše, nadmořská výška není jediným faktorem ovlivňujícím průběh teploty vzduchu. Ta závisí i na tvaru reliéfu v okolí stanice, aktivním povrchu, typu počasí apod., takže se průběh teplot v průběhu dne může i u těchto relativně blízko položených stanic poměrně lišit.

	Ta	Tmax	absTmax	Tmin	absTmin	Dm	Dld	Da
I	-11,1	-8,7	-1,1	-13,4	-22,0	31,0	31,0	10,0
II	-11,1	-9,2	-2,3	-15,7	-22,1	28,0	28,0	11,0
III	-6,9	-1,1	9,8	-10,9	-22,0	31,0	18,0	0,0
IV	-3,0	2,1	13,2	-6,4	-16,5	30,0	12,0	0,0
V	-0,8	4,0	8,2	-3,9	-11,6	30,0	1,0	0,0
VI	2,8	6,5	12,3	0,2	-4,4	11,0	0,0	0,0
VII	5,2	9,9	17,1	2,1	-1,2	0,0	0,0	0,0
VIII	4,5	8,4	16,2	1,3	-6,7	9,0	0,0	0,0
IX	1,4	4,7	13,8	-1,3	-6,2	21,0	2,0	0,0
X	-3,3	1,1	11,1	-6,0	-19,7	29,0	13,0	0,0
XI	-7,6	-4,2	3,8	-10,6	-20,7	30,0	26,0	1,7
XII	-12,4	-8,9	-2,5	-14,5	-22,7	31,0	31,0	9,5
rok	-3,5	0,4	17,1	-6,6	-22,7	281,0	162,0	32,2

Tab. 5: Charakteristiky teploty vzduchu u Adygine D za období 2008-2013; pro vysvětlivky viz Tab. 4. (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Nejteplejším měsícem je stejně jako u Adygine H červenec, zatímco nejchladnějším je prosinec (což opět souvisí s tím, že pro výpočet lednového průměru byl k dispozici pouze teplotně nadprůměrný leden 2010). Nejnížší teplota byla naměřena v prosinci 2012 (-22,7 °C), nejvyšší v červenci 2008 (17,1 °C).



Graf 16: Průměrné teploty vzduchu na stanici Adygine D za období 2008-2013 (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

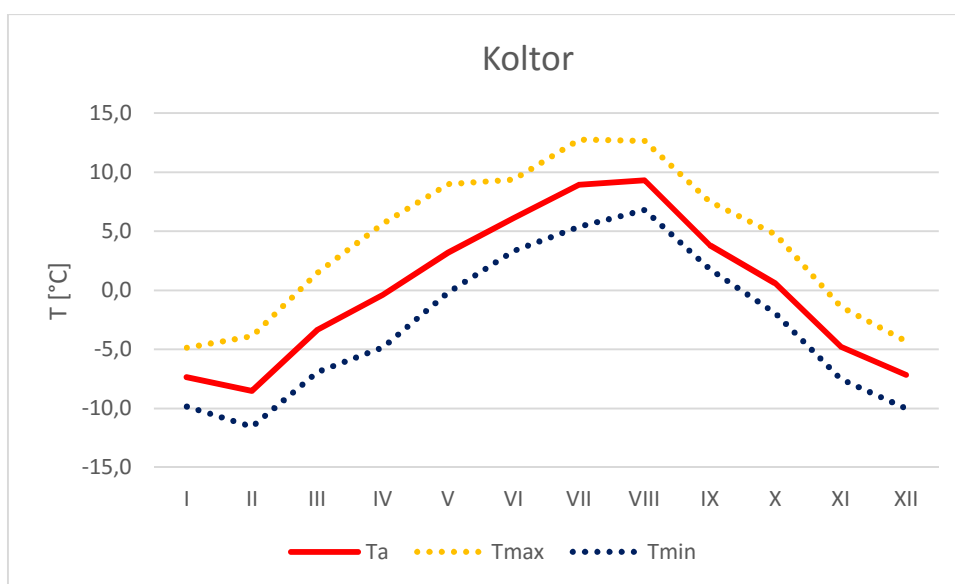
5.2.1.3. Koltor

Stanice Koltor má s průměrnou roční teplotou 0 °C ze všech tří meteorologických stanic nejteplejší klima. Minimální teploty klesají pod 0 °C zhruba osm měsíců v roce, maximální teploty o polovinu méně. Průměrná denní teplota se nad bod mrazu dostává o měsíc dříve, než je tomu u stanic v lokalitě Adygine, a na podzim pod něj klesá až v říjnu (Graf 17), tedy se zhruba měsíčním zpožděním.

	Ta	Tmax	absTmax	Tmin	absTmin	Dm	Dld	Da
I	-7,4	-4,9	2,5	-9,8	-19,0	31,0	28,5	3,0
II	-8,5	-3,9	2,1	-11,6	-16,7	28,0	25,0	0,0
III	-3,4	1,5	8,8	-6,9	-19,0	30,0	10,0	0,0
IV	-0,4	5,7	12,5	-4,8	-12,8	29,0	2,0	0,0
V	3,2	9,0	14,4	-0,2	-4,4	20,0	0,0	0,0
VI	6,1	9,4	14,9	3,3	-3,7	5,0	0,0	0,0
VII	8,9	12,8	23,7	5,4	-0,8	1,0	0,0	0,0
VIII	9,3	12,7	18,9	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0
IX	3,8	7,5	17,2	1,8	-5,3	10,0	0,0	0,0
X	0,6	4,7	14,3	-1,9	-12,0	20,5	3,0	0,0
XI	-4,8	-1,4	8,4	-7,5	-16,9	27,5	21,0	0,0
XII	-7,2	-4,3	2,0	-10,0	-17,2	31,0	28,0	2,0
rok	0,0	4,1	23,7	-3,0	-19,0	233,0	117,5	5,0

Tab. 6: Charakteristiky teploty vzduchu u stanice Koltor za období 2008-2010; pro vysvětlivky viz Tab. 4. (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Průměrný počet arktických dnů byl výrazně nižší než u zbylých dvou stanic (Tab 4-6). Absolutně nejnižší teplota byla naměřena v březnu 2009 a dorovnána v lednu 2010 (-19,0 °C), nejvyšší naměřená teplota pocházela z července 2008 (23,7 °C).



Graf 17: Průměrné teploty vzduchu na stanici Koltor za období 2008-2010 (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

5.2.1.4. Dlouhodobé trendy

Dlouhodobé trendy teploty vzduchu byly zjišťovány analýzou měsíčních teplotních dat kyrgyzských stanic z období 1985 až 2015.

Průměrná roční teplota vzduchu na všech stanicích vykazovala stoupající statisticky významný trend (Tab. 7). Nárůst teploty se pohyboval v průměru o 0,05 °C/rok, a to u všech stanic kromě stanice Ťan Šan, kde je meziroční přírůstek 0,1 °C. Relativně velký nárůst průměrné teploty vzduchu za sledované období je zapříčiněn vzrůstem průměrných měsíčních teplot, který byl na rozdíl od ostatních stanic zaznamenán i v zimních měsících, přičemž v lednu a v únoru se jedná o statisticky významný trend.

Z Tab. 7 je patrné, že stoupající trendy byly zaznamenány u většiny měsíců, především u těch jarních a letních. Největší nárůst je u březnové teploty, kde se meziroční přírůstky pohybují od 0,1 po 0,2 °C. Vzhledem k tomu, že je nárůst teplot zaznamenán napříč všemi stanicemi, lze usuzovat, že se podobný trend bude objevovat i v experimentálních lokalitách Adygine a Koltor. Růst jarních teplot je problematický v tom, že by mohl dříve nastartovat

jarní tání sněhové pokrývky a letní tání ledovců, což by v důsledku znamenalo více tavné vody v jezerech ve zkoumaných lokalitách a zvýšení rizika jejich přelití nebo průvalu.

[°C]	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	cel.
TA	-0,01	0,05	0,12	0,07	0,11	0,08	0,03	0,07	0,01	0,06	-0,1	-0,11	0,051
TO	-0,02	0,04	0,20	0,09	0,09	0,01	0,02	0,07	0,05	0,05	-0,03	-0,15	0,050
NA	0,03	0,07	0,10	0,07	0,07	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,06	-0,06	0,040
DA	0,05	0,03	0,11	0,08	0,09	0,06	0,06	0,08	0,01	0,06	-0,01	-0,06	0,052
TS	0,13	0,14	0,19	0,18	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,09	0,11	0,05	0,101

Tab. 7: Meziroční přírůstky resp. úbytky průměrné teploty na kyrgyzských stanicích za období 1985-2015. Tučně zvýrazněné hodnoty jsou statisticky významné (hladina významnosti 0,05), hodnoty jsou uvedené v °C. TA – Talas, TO – Tokmak, NA – Naryn, DA – Džalal Abad, TS – Ťan Šan. (GHCN, 2016)

5.2.1.5. Nejteplejší roky

Kromě samotných trendů bylo analyzováno i pořadí roků podle roční průměrné teploty: na každé stanici zvlášť byly jednotlivé roky za období 1985 až 2015 seřazeny dle průměrných teplot vzduchu a každému roku bylo přiřazeno pořadí. Pořadí v jednotlivých letech se pak mezi stanicemi zprůměrovalo a roky byly opět seřazeny, tentokrát podle jejich průměrného pořadí. V první třetině se nacházely roky s nadprůměrnými teplotami za období 1985 až 2015, v druhé průměrné a ve třetí podprůměrné.

rok	pořadí prům.	pořadí celk.	rok	pořadí prům.	pořadí celk.	rok	pořadí prům.	pořadí celk.
2007	2,6	1	1997	11,4	12	1986	21,2	22
2006	4,8	2	1999	12,5	13	1991	21,4	23-24
2013	5	3	2011	12,8	14	1988	22,4	23-24
2010	5,8	4	2009	16	15	1987	22,6	25-26
2004	6,4	5	1990	16,2	16	1992	22,6	25-26
2015	7,4	6	1998	16,6	17	1985	23,2	27
2005	8,8	7	2003	19,8	18	1996	25,4	28
2001	9	8	1995	20	19	1994	27,4	29
2002	9,8	9	2012	20,2	20-21	1989	29,4	30-31
2000	11	10-11	2014	20,2	20-21	1993	29,4	30-31
2008	11	10-11						

Tab. 8: Pořadí roků v období 1985-2015 podle průměrné roční teploty (data GHCN)

Tab. 8 jen potvrzuje, že během období 1985-2015 na kyrgyzských stanicích došlo k nárůstu průměrné teploty vzduchu. Nejteplejším rokem byl rok 2007, následovaný roky 2006 a 2013. Loňský rok, 2015, se umístil jako 6. nejteplejší. V posledních letech se střídaly průměrně teplé roky (2012, 2014) s nadprůměrnými (2013, 2015) a bude zajímavé sledovat, zda tento trend bude pokračovat i nadále a rok 2016 bude chladnější než 2015.

5.2.2. Srážky

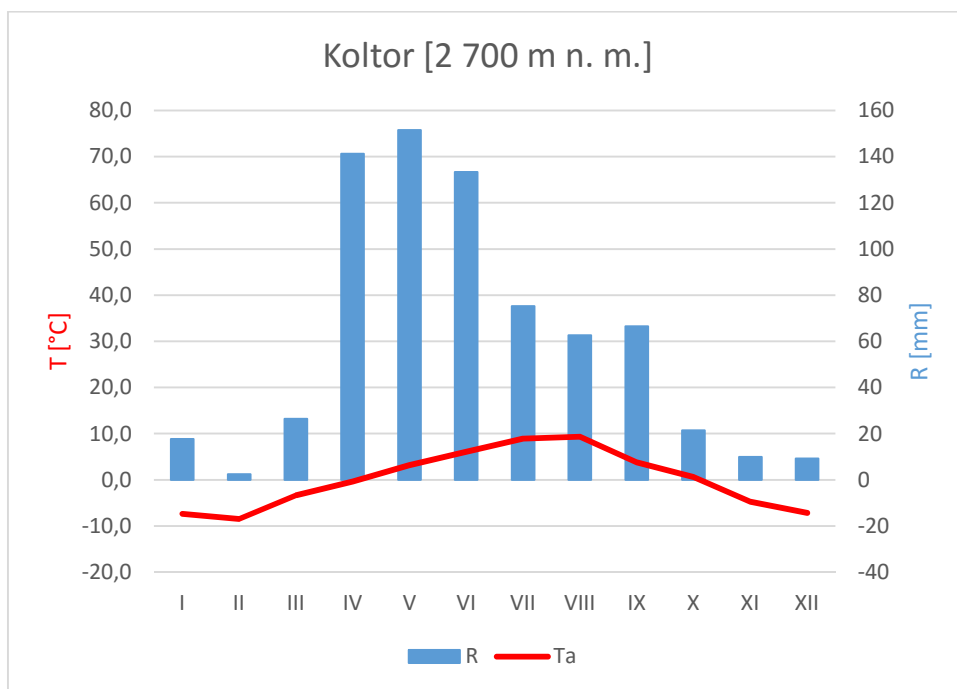
Data pocházela ze stanice Koltor, která měřila dešťové srážky v období červenec 2008 až srpen 2010. Vypočtené charakteristiky (průměrné měsíční a denní úhrny srážek, maximální denní a měsíční úhrny srážek, průměrné počty dní se srážkami a dní se srážkami většími než 2,5 mm) jsou uvedeny v Tab 9.

	$\bar{\Sigma}m$ [mm]	$\bar{\Sigma}d$ [mm]	$\max\Sigma d$ [mm]	$\max\Sigma m$ [mm]	Dsr	D _{2,5}
I	17,75	0,7	25,6	28	3,0	1,0
II	2,5	0,1	1,2	2,5	10,0	0,0
III	27,4	0,9	6,7	26,5	18,0	4,0
IV	140,9	4,7	18,4	141,3	23,0	13,0
V	153,1	4,9	23,2	151,5	26,0	17,0
VI	137,7	4,6	27,9	133,4	20,0	13,0
VII	72,1	2,8	12,1	75,3	16,0	13,5
VIII	64,0	2,1	25,2	91,3	16,7	6,7
IX	66,1	2,4	18,4	113,3	20,0	17,5
X	21,5	0,7	7,3	21,5	9,0	4,0
XI	9,9	0,3	5,7	9,9	6,0	1,0
XII	9,2	0,3	5,4	9,2	3,0	2,0
rok	722,1	2,0	27,9	151,5	170,7	92,7

Tab. 9: Charakteristiky dešťových srážek v období 2008-2010 na stanici Koltor. $\bar{\Sigma}$ =průměrný úhrn (m – měsíční, d – denní); $\max\Sigma$ = maximální úhrn (m – měsíční, d- denní); Dsr = dny se srážkami; D_{2,5} = den s úhrnem srážek alespoň 2,5 mm (Zdroj: Exp. data)

Z dat je patrné, že na stanici byly nejvyšší srážkové úhrny od dubna do června s maximem v květnu (průměrný měsíční úhrn 153,1 mm, denní 4,9 mm). Vyšší srážkové úhrny byly zaznamenávány až do září (Graf 18). Nutno podotknout, že chod srážek více méně odpovídá chodu v roce 2009, protože pro výpočet průměrů byl k dispozici převážně jen měsíce

z tohoto roku. Maximální denní úhrn srážek byl zaznamenán v červnu 2009 a maximální měsíční úhrn v květnu téhož roku. V průměru nejvíce dní se srážkami bylo opět v květnu, zatímco nejvyšší průměrný počet dní se srážkovými úhrny většími než 2,5 mm byl v září. Nejnižší průměrné srážkové úhrny (měsíční i denní) byly zaznamenány v únoru, prosinci a listopadu.



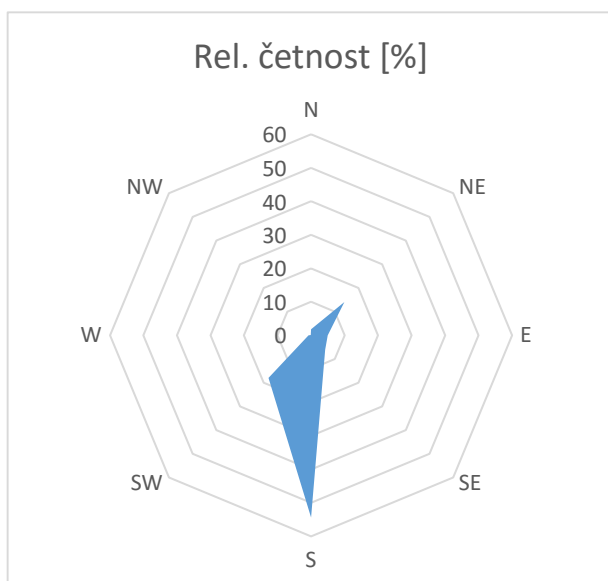
Graf 18: Klimadiagram pro stanici Koltor za období 2008-2010 (Zdroj: Exp. data)

Roční chod srážek převážně odpovídá jejich teoretickému chodu v nadmořské výšce dle Aizena et al. (1996). Lokalita Koltor spadá do kategorie s nadmořskou výškou 2,5 – 3 km n. m., u které je charakteristické srážkové maximum v květnu a minimum zimních měsíců (Obr. 3).

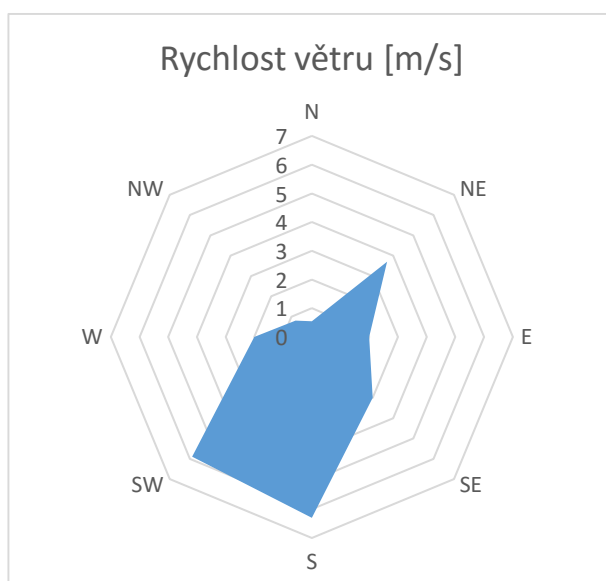
5.2.3. Vítr

Z naměřených dat vyplývá, že na stanici Adygině D po celý rok převládá jižní vítr. Směr větru má svůj denní chod, kdy v ranních a nočních hodinách převládá jižní až jihozápadní proudění, během poledne a odpoledne se směr větru mění, nejčastěji na severovýchodní. Tento denní chod je ovlivněn morfologií reliéfu v okolí stanice – noční proudění z jihu, tedy dolů údolím, je typickým příkladem horského větru, zatímco severovýchodní proudění je kombinací údolních a anabatických svahových větrů. Jižní katabatické proudění je

pravděpodobně zesilováno přítomností ledovce, nad kterým dochází k ochlazení vzduchu. Relativní četnost proudění v jednotlivých směrech větrné růžice lze vidět v Grafu 19.

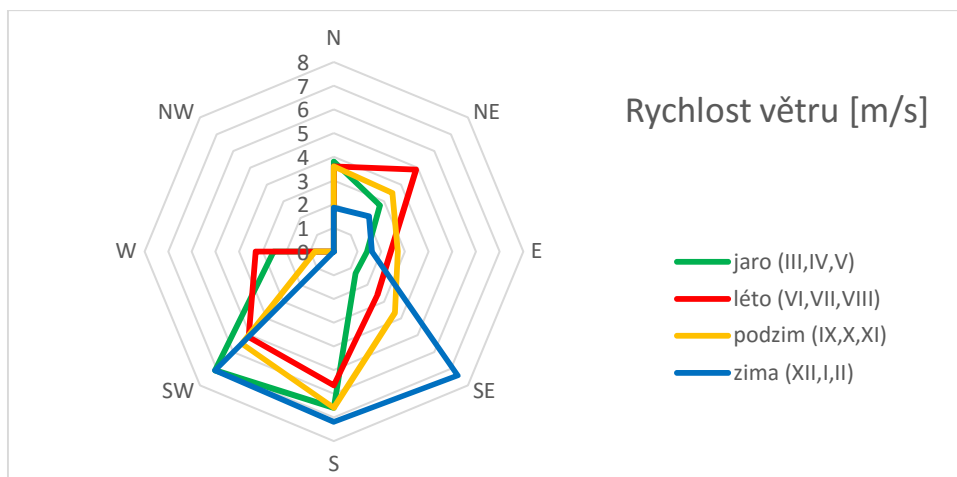


Graf 19: Relativní četnost výskytu proudění v jednotlivých směrech na stanici Adygiene D v období srpen 2012 až červenec 2013 (Zdroj: Exp. data)



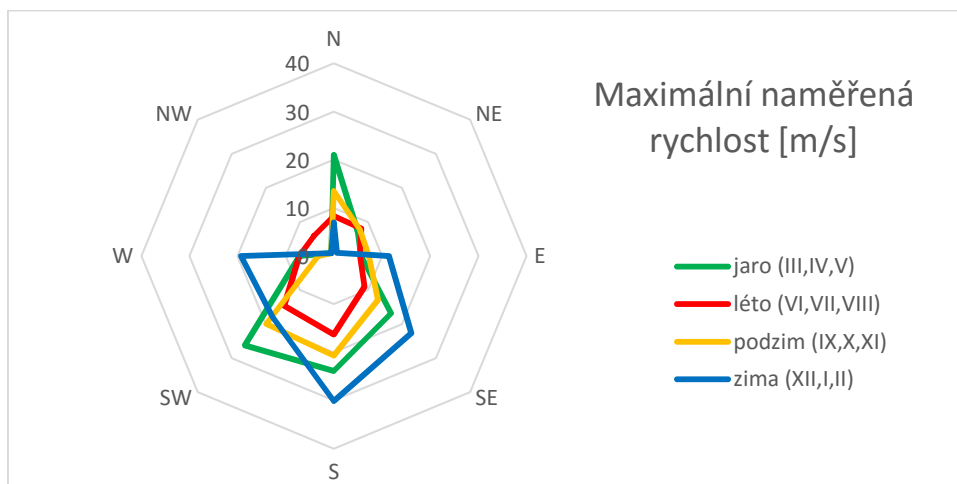
Graf 20: Průměrná rychlost větru v jednotlivých směrech na stanici Adygiene D v období srpen 2012 až červenec 2013 (Zdroj: Exp. data)

V Grafu 20 je znázorněna průměrná rychlost větru dle jednotlivých směrů proudění. Průměrná rychlost byla spočítána jako medián hodnot v daném směru (medián byl vybrán z toho důvodu, že není ovlivněn extrémními hodnotami jako aritmetický průměr). Z grafu je patrné, že nejvyšší průměrné rychlosti dosahuje proudění v jižním a jihozápadním směru, a to přibližně 6 m/s. Dle Beaufortovy stupnice síly větru je proudění o této rychlosti klasifikováno jako dosti čerstvý vítr. Severovýchodní proudění dosahuje v průměru rychlosti 3,7 m/s, což odpovídá mírnému větru. Proudění v ostatních směrech má v průměru sílu slabého větru až vánku. Nejvyšších průměrných rychlostí dosahuje vítr v zimě, kdy vanou převážně větry s jižní směrovou složkou (Graf 21).



Graf 21: Průměrná rychlost větru v jednotlivých ročních obdobích na stanici Adygine D v období srpen 2012 až červenec 2013 (Zdroj: Exp. data)

Průměrná rychlost severovýchodního proudění je v zimě nejnižší a v průběhu roku se vzrůstající teplotou vzduchu stoupá. Severozápadní proudění se v průběhu roku téměř nevyskytovalo (nebo ho stanice nezměřila), v jednotlivých ročních obdobích byl zaznamenán vždy maximálně jeden výskyt, a proto bylo v Grafu 21 vynecháno.



Graf 22: Maximální zaznamenané rychlosti větru v jednotlivých ročních obdobích na stanici Adygine D v období srpen 2012 až červenec 2013 (Zdroj: Exp. data)

Maximální zaznamenané rychlosti větru v jednotlivých ročních obdobích a dle směru jsou znázorněny v Grafu 22. Z grafu je patrné, že maximálních rychlostí dosahuje vítr v zimě a na jaře, přičemž absolutní maximum bylo naměřeno 16. ledna 2013, kdy jižní vítr dosahoval rychlosti 30,1 m/s a na Beaufortově škále by byl klasifikován jako mohutná vichřice. Naopak nejnižší maximální rychlosti byly zaznamenány v létě, a to téměř ve všech směrech.

V průběhu celého roku byly nejvyšší rychlosti zaznamenávány v poledne a odpoledne, což odpovídá obvyklému dennímu chodu rychlosti větru.

5.2.4. Globální záření

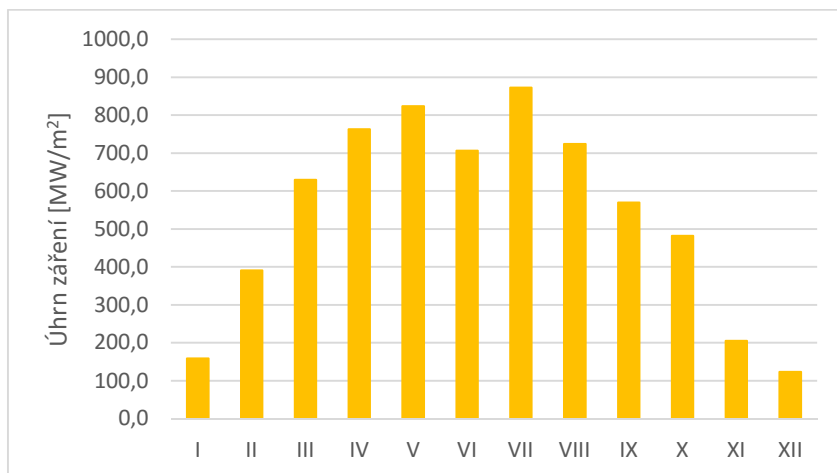
Intenzita globálního (přímého a difuzního) záření byla převedena na jeho denní a potažmo měsíční úhrny v MJ/m², které jsou uvedeny spolu s absolutními maximy a minimy denních úhrnů v Tab. 10. Průměrný roční úhrn globálního záření na stanici Koltor byl 6450 MJ/m². Vzhledem k tomu, že intenzita globálního záření závisí na výšce slunce nad obzorem, průměrné měsíční úhrny by teoreticky měly být největší v červnu a nejmenší v prosinci. Zatímco nejnižší měsíční úhrn 123,1 MJ/m² byl skutečně zaznamenán v prosinci, nejvyšší měsíční úhrn spadl na měsíc červenec (873 MJ/m²) a červnová hodnota byla nižší než hodnoty za duben a srpen (Graf 23). Na vině může být oblačnost, která je dalším hlavním faktorem ovlivňujícím intenzitu globálního záření.

[MJ/m ²]	ØΣm	ØΣd	maxΣd	minΣd
I	158,5	4,4	10,8	1,9
II	391,0	14,0	21,8	7,8
III	629,4	20,3	29,4	5,4
IV	763,4	25,4	37,7	12,7
V	824,0	26,6	40,2	9,0
VI	706,2	23,5	38,4	10,1
VII	873,0	32,1	38,1	12,4
VIII	724,2	27,1	35,0	5,7
IX	569,6	24,2	29,9	3,3
X	482,4	15,6	20,1	6,3
XI	205,2	6,8	13,3	2,2
XII	123,1	4,0	6,7	1,9
rok	6449,9	18,7	40,2	1,9

Tab. 10: Úhrny globálního záření na stanici Koltor za období 2008-2010; ØΣ = průměrný úhrn záření (m – měsíční, d – denní); max/minΣd = maximální/minimální zaznamenaný denní úhrn záření (Zdroj: Exp. data)

Nejvyšší denní úhrn globálního záření byl zaznamenán v 26. května 2009, na stejný den spadá i květnové maximum teploty vzduchu 14,4 °C, což poukazuje na úzkou spjatost

intenzity globálního záření a teploty vzduchu. Minimální denní úhrn byl dosažen 30. prosince 2009.



Graf 23: Průměrné měsíční úhrny globálního záření na stanici Koltor za období 2008-2010

(Zdroj: Exp. data)

5.3. Klasifikace cirkulačních typů

Pro zájmové území byla pomocí metody Jenkinsona a Collisona vytvořena klasifikace cirkulačních typů a posléze i katalog cirkulačních typů pro období srpen 2007 až červenec 2011. Jednotlivé dny byly zařazeny pod 27 různých typů dle rozložení tlakového pole. Četnost výskytů typů za období srpen 2007 až červenec 2011 a v jednotlivých ročních obdobích je shrnuta v Tab. 11.

Typ	Celkem		Zima		Jaro		Léto		Podzim	
	počet	rel. [%]	počet	rel. [%]	počet	rel. [%]	počet	rel. [%]	počet	rel. [%]
B	57	3,9	1	0,3	16	4,3	37	10,1	3	0,8
A	202	13,8	32	8,9	59	16	64	17,4	47	12,9
C	162	11,1	51	14,1	38	10,3	39	10,6	35	9,6
E	176	12	61	16,9	47	12,8	25	6,8	43	11,8
Ea	31	2,1	12	3,3	7	1,9	4	1,1	8	2,2
Ec	43	2,9	23	6,4	8	2,2	4	1,1	8	2,2
N	36	2,5	3	0,8	17	4,6	11	3	5	1,4
Na	11	0,8	2	0,6	5	1,4	1	0,3	3	0,8
Nc	16	1,1	1	0,3	5	1,4	4	1,1	6	1,6
NE	142	9,7	36	10	32	8,7	29	7,9	45	12,4
NEa	43	2,9	10	2,8	14	3,8	11	3	8	2,2
NEc	30	2,1	11	3	5	1,4	6	1,6	8	2,2
NW	32	2,2	1	0,3	10	2,7	13	3,5	8	2,2
NWa	6	0,4	0	0	1	0,3	4	1,1	1	0,3
NWc	4	0,3	0	0	2	0,5	1	0,3	1	0,3
S	72	4,9	23	6,4	16	4,3	3	0,8	30	8,2
Sa	17	1,2	4	1,1	2	0,5	2	0,5	8	2,2
Sc	16	1,1	9	2,5	2	0,5	2	0,5	3	0,8
SE	101	6,9	40	11,1	28	7,6	8	2,2	25	6,9
SEa	17	1,2	4	1,1	6	1,6	0	0	7	1,9
SEc	31	2,1	12	3,3	7	1,9	7	1,9	4	1,1
SW	79	5,4	10	2,8	15	4,1	29	7,9	25	6,9
SWa	33	2,3	4	1,1	7	1,9	12	3,3	10	2,7
SWc	37	2,5	6	1,7	8	2,2	10	2,7	13	3,6
W	37	2,5	4	1,1	5	1,4	22	6	6	1,6
Wa	17	1,2	0	0	5	1,4	10	2,7	2	0,5
Wc	14	1	1	0,3	1	0,3	10	2,7	2	0,5
	1462		361		368		368		364	

Tab. 11: Absolutní a relativní četnost výskytů jednotlivých cirkulačních typů v období srpen 2007 - červenec 2011 a pro jednotlivá roční období (Zdroj: vlastní zpracování)

Z Tab. 11 je patrné, že největší zastoupení měly typy A (13,8 %), E (12 %), C (11,1 %), NE (9,7 %) a SE (6,9 %). Naopak nejmenší zastoupení měly typy NWa (0,4 %) a NWc (0,3 %). Obecně lze říct, že typy s východní složkou proudění měly větší zastoupení než typy

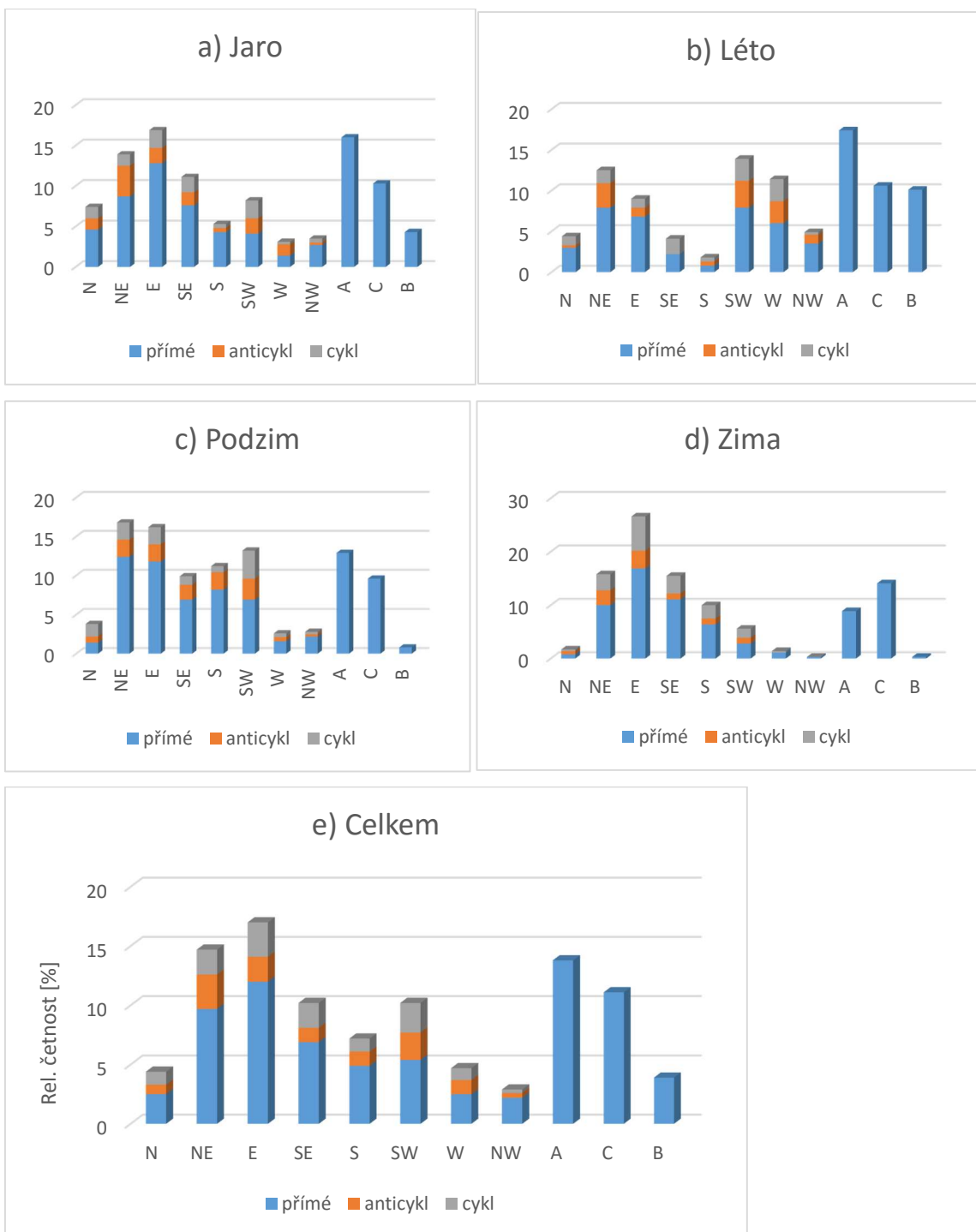
s prouděním západním a hybridní typy (anticyklonální, cyklonální) měly menší zastoupení než jejich přímé varianty.

Výskyty u některých typů byly za zpracovávané období natolik vzácné, že je v další části práce nebylo možné dostatečně analyzovat. To pramenní z poměrně malého časového rozsahu zpracovávaných dat a poměrně velkého výběru typů, pod které mohly být jednotlivé dny zařazeny. V další části práce jsem analyzovala nejen samotné typy, ale i skupiny typů podle směru proudění (severní, severovýchodní, východní, jihovýchodní, jižní, jihozápadní, západní, severozápadní, anticyklóna, cyklóna a barické sedlo) ve snaze zvýšit rozsah analyzovaných souborů.

5.3.1. Sezonalita

Relativní četnost výskytů cirkulačních typů v průběhu jednotlivých období je znázorněna v Grafech 23.a-e. Některé typy, jako například NE a C mají v průběhu roku téměř stejné zastoupení, zatímco u většiny se výskyt v rámci jednotlivých ročních období liší.

V zimě dominují typy s východní složkou proudění a cyklonální typy, naopak v létě vzrůstá zastoupení typů se západní složkou proudění, což lze pozorovat například u typů W a NW. Podobně je na tom typ B, barické sedlo, které má také nejvyšší zastoupení v létě, kdy je tlakové pole obecně méně zřetelně rozložené než v zimě (kdy jsou tlakové výše mohutnější a níže hlubší).



Graf 23.a-e: Relativní četnost výskytů jednotlivých cirkulačních typů v období srpen 2007-červenec 2011; a) na jaře, b) v létě, c) na podzim, d) v zimě, e) z celé období (Zdroj: vlastní zpracování)

5.4. Synopticko-klimatologická analýza

Cílem synopticko-klimatologické analýzy je zjistit, jak ovlivňuje atmosférická cirkulace klimatické prvky, jako jsou například teplota vzduchu nebo srážky. V první fázi analýzy jsem za pomoci K-S testu zjišťovala, zda je „chování“ vybraných klimatických prvků u některých z typů specifické. V ideálním případě by bylo toto chování u každého z typů rozdílné (jeden by byl spojen s extrémně vysokými teplotami, jiný s extrémně nízkými, apod.), naopak v nejhorsím případě by měly všechny cirkulační typy stejné klimatické projevy, pak by byla další analýza zbytečná. Skutečnost je většinou někde na pomezí těchto dvou příkladů: některé typy mají své specifické klimatické projevy, zatímco druhé se podobají jiným typům.

Cirkulační typ, u kterého došlo k zamítnutí nulové hypotézy na jedné stanici, byl většinou zamítnut i na jiných stanicích. U stanic z lokalit Adygine a Koltor nedocházelo k zamítnutí nulové hypotézy tak často jako u kyrgyzských stanic. To může být způsobeno odlišnými podmínkami na těchto stanicích, zároveň je ale pravděpodobné, že kvůli nekompletnosti dat nefungoval test tak dobře, jako by tomu bylo v případě, že by byla k dispozici delší a především kompletnější časová řada. Na druhou stranu se objevovaly i typy, které se podle testu chovaly odlišně pouze na stanicích v experimentálních lokalitách (např. SEa na jaře u Tmax a Tmin) a další analýza tyto výsledky potvrdila.

U skupin typů nedocházelo k častějšímu zamítnutí nulové hypotézy než při testování samostatných typů a jejich sloučení podle směru proudění by popis klimatických prvků neusnadnilo.

V následující části práce jsou shrnuty výsledky analýzy pro jednotlivé klimatické prvky.

5.4.1. Tmax

Testování pomocí K-S testu mě upozornilo na to, že se maximální teplota vzduchu chovala specificky především při těchto cirkulačních typech:

- a) jaro: A, E a SE
- b) léto: C, E, NE, NEa, SEc, SW, SWc a Wa; skupina typů S (samostatně rozlišeny nebyly)
- c) podzim: E, Ea, Ec, S, SE, SW a Wa
- d) zima: A, C, Ea, NEc, SE a SWc

Další analýza odhalila, že při typech A a SE jsou na jaře maximální teploty nadprůměrné, zatímco při typu E jsou podprůměrné. Typ **SE** zároveň patřil k nejteplejším typům⁹ a typ E k typům nejchladnějším (ty budou rozvedeny u minimální teploty). K nejteplejším typům na jaře patřily i **S, SEa, SW, SWa, SWc, W a Wa**. Z toho lze usuzovat, že nejvyšší maximální teploty jsou na jaře vázány na jižní, jihovýchodní, jihozápadní a západní cirkulační typy.

Mezi cirkulační typy se specifickými letními maximálními teplotami patřily typy C, E, NE, NEa, SEc, SW, SWc a Wa. Specifické maximální teploty měla také skupina jižních typů. **Jižní** cirkulační typy spolu s typy **C, SEc, SW, SWc** a navíc ještě typem **W** patřily mezi nejteplejší typy. Typy E a NEa patřily k nejchladnějším typům, u typu NE byly maximální teploty podprůměrné. Nejvyšší maximální teploty vzduchu jsou opět vázány na typy s jižním, jihozápadním a západním prouděním.

V podzimním období K-S test rozlišil typy E, Ea, Ec, S, SE, SW a Wa. Maximální teploty u typu SE byly podprůměrné. Typy E a Ea patřily mezi nejchladnější, zatímco typy **Ec, S, SW** a **Wa** mezi nejteplejší. Mezi nejteplejší cirkulační typy navíc na podzim patřily i typy **C, Na, Sa a Sc, SWa a SWc, W a Wc**. Obecně jsou tedy nejvyšší maximální teploty na podzim vázány na jižní, jihozápadní a západní typy. U jihovýchodních typů se nejvyšší hodnoty maximální teploty objevovaly v menší míře, než tomu bylo u předchozích dvou ročních období.

V zimních měsících byla podle K-S testu maximální teplota vzduchu specifická u cirkulačních typů A, C, Ea, NEc, SE a SWc. Při typu SE byly teploty podprůměrné a typ Ea patřil k nejchladnějším cirkulačním typům, zatímco typy **C, NEc, a SWc** souvisely s výskyty nejvyšších maximálních teplot, stejně jako typy **S, Sa s SEc**. Obecně lze říct, že v zimě jsou nejvyšší maximální teploty vázány na cirkulační typy s jižním a jihozápadním prouděním a na typy cyklonální.

Celoročně jsou nejteplejšími cirkulačními typy **S a SWc**, po většinu roku mezi ně patří i další **jižní a jihozápadní** varianty, různé varianty typu **W** a typ **C**, a to jak u kyrgyzských stanic, tak i u stanic z lokalit Koltor a Adygine.

⁹ Nejteplejší typy byly ty, které se v daném období objevovaly u dní s nejvyššími maximálními teplotami vzduchu.

5.4.2. T_{min}

V případě minimálních teplot rozlišil K-S test na většině stanic následující cirkulační typy:

- a) jaro: E, N, NW, SE, W
- b) léto: C, SW, Wa
- c) podzim: E, Ea, NEc, S, SE, SW, W, Wa
- d) zima: A, C, Ea, NEc, SWc

Na jaře se minimální teplota vzduchu chovala odlišně při typech E, N, NW, SE a W. Jak již bylo zmíněno, typ W se po většinu roku vyznačuje nadprůměrnými maximálními teplotami vzduchu a na jaře to samé platí i pro typ SE. V tomto případě tedy budou oba typy souviset s nadprůměrnými minimálními teplotami vzduchu, stejně jako typ NW. **E** a **N** patří na jaře mezi nejchladnější typy, kam spadají i **Ea**, **NE** a **NEa**. Nejnižší teploty jsou tedy na jaře vázány na východní, severovýchodní a severní typy.

V létě se dle K-S testu minimální teplota odlišovala u typů C, SW a Wa, přičemž C a SW patří mezi nejteplejší typy a tudíž se při nich i minimální teploty pohybují v nadprůměrných hodnotách. Typ **Wa** sice na jaře a na podzim patří mezi nejteplejší cirkulační typy, v létě však naopak spadá do kategorie těch nejchladnějších, spolu s typy **E**, **Ea**, **N**, **Na**, **NEa**, **NWa**, **SE** a u stanic v experimentálních lokalitách i **NE**. Poslední jmenovaný typ je zvláštní tím, že se poměrně pravidelně objevuje ve dnech s nejvyššími i nejnižšími teplotami, a to i v rámci toho samého ročního období. Tato skutečnost ovšem koresponduje se zobecněním, že nejnižší teploty jsou v létě nejčastěji vázané na typy s východní složkou proudění a severní typy.

Na podzim bylo K-S testem rozlišeno nejvíce typů, a to E, Ea, NEc, S, SE, SW, W a Wa. Při typech S, SW, W a Wa byla minimální teplota nadprůměrná, neboť všechny patří v tomto ročním období mezi nejteplejší typy. SE tentokrát patřil mezi typy s podprůměrnou minimální teplotou, ovšem ne mezi nejchladnější typy. Tam spolu s **E**, **Ea** a **NEc** patřily typy **N**, **Nc**, **NE** a **NEa**.

V zimě byla minimální teplota specifická u typů A, C, Ea, NEc a SWc. Typy C a SWc patří k nejteplejším typům, zatímco typy **A** a **Ea** k těm nejchladnějším. Mezi ty patřily jako obvykle i **NE**, **NEa** a **E** a navíc ještě typ **SEa**.

Z výsledků je patrné, že nejnižší teploty vzduchu doprovázely východní, severovýchodní a severní cirkulační typy, zatímco nejvyšší teploty byly vázány na typy západní, jihozápadní

a jižní. Typ SE se nachází na pomezí mezi těmito dvěma skupinami, což může být důvodem pro rozkolísanost teplot vzduchu, které ho doprovází. Zatímco typ SE spadá do obou skupin, typ NW, který se také nachází na tomto pomyslném pomezí nejteplejších a nejchladnějších typů, nespadá ani do jedné, a to ani v jednom ročním období. Spíše ale souvisí s nadprůměrnými teplotami vzduchu.

5.4.3. Srážky

Pro analýzu byla použita data ze stanice Koltor, ze stanic v lokalitě Adygine srážková data k dispozici nebyla. Po analýze srážkových úhrnů v jednotlivých obdobích byly cirkulační typy rozlišeny na „suché¹⁰“, srážkově podprůměrné, průměrné a nadprůměrné.

Mezi suché typy patřily:

- a) jaro: Ec, NWc, S, Sa, SE, SEa, SW, Wc
- b) léto: Ea, Nc, S, Sa, Sc
- c) podzim: B, Ec, S, Sa, SEc, SEa, SW, SWa, Wc
- d) zima: E, Ea, Ec, Nc, NE, NEa, NEc, NW, S, Sa, SE, SEc, SWa, SWc

Mezi srážkově podprůměrné typy spadaly:

- a) jaro: C, E, N, SEc, Wa
- b) léto: B, A, E, Ec, NEa, SE, SEc, Wc
- c) podzim: E, SE
- d) zima: všechny srážkově podprůměrné typy byly zároveň suché

Mezi srážkově průměrné typy patřily:

- a) jaro: NE, NW
- b) léto: C, N, NEc, SWa
- c) podzim: A, N, Na, NEc, NW, SWc
- d) zima: SE, Sc

Mezi srážkově nadprůměrné typy se řadily:

- a) jaro: B, A, Na, NEa, NEc, SWc
- b) léto: NE, NW, NWa, SW, SWc, W, Wa
- c) podzim: C, Nc, NE, NEa, NWc, W
- d) zima: A, C, SW

V zimě nastává na stanici Koltor srážkové minimum, proto je typů, na které jsou vázány nadprůměrné srážkové úhrny relativně málo, patří mezi ně A, C a SW. Mezi srážkově nejchudší typy téměř celoročně patří typy s východním, jižním a jihovýchodním prouděním. Naopak typy se severním, západním a severozápadním prouděním patří mezi ty srážkově

¹⁰ Typy, u kterých byl průměrný úhrn srážek menší nebo roven 0,1 mm.

bohatší. Jihozápadní a severovýchodní typy mohou být mezi srážkově bohatými i mezi suchými, záleží na ročním období.

5.4.4. Sluneční záření

Podobně jako u srážek byly i v případě globálního záření rozděleny cirkulační typy na ty s podprůměrnými, průměrnými a nadprůměrnými úhrny; navíc byly rozlišovány i typy s nejnižšími a nejvyššími úhrny globálního záření. U typů spojených s nejvyššími úhrny globálního záření by měla být nejnižší oblačnost a naopak.

Typy s nejnižšími úhrny záření:

- a) jaro: NE, N, NW, NWc, Ec, C
- b) léto: NE, N, W, Wa, C
- c) podzim: C, W, NWc, Nc, N
- d) zima: NE, A, SE, SWc

Typy s podprůměrnými úhrny:

- a) jaro: NEc, Wa
- b) léto: Nc, NEa, NEc, NW, NWa, SWa, SW
- c) podzim: NW, S, SE, SEc, SWc
- d) zima: C, S, Sc, SW

Typy s průměrnými úhrny:

- a) jaro: NEa, SE, SEc, S
- b) léto: B, SWc, Wc
- c) podzim: NEc
- d) zima: SWa, Sa, NW, NEa

Typy s nadprůměrnými úhrny:

- a) jaro: Na, SW, SWc, Sa, Wc
- b) léto: Ec, SEc, Sc
- c) podzim: A, Ec, Na, Sa, SW, SWa, Wc
- d) zima: Nc, NEc, SEc

Typy s nejvyššími úhrny:

- a) jaro: A, B, E, SEa
- b) léto: A, E, Ea, S, Sa, SE
- c) podzim: B, E, NE, NEa, SEa
- d) zima: E, Ea, Ec

Roztřídit typy dle úhrnů globálního záření bylo složitější než v případě srážek, protože intenzita slunečního záření má výrazný roční chod. Bylo tak těžší rozpoznat, zda byl například daný úhrn nízký kvůli oblačnosti, nebo kratší dobou slunečního svitu. Vliv ročního chodu jsem se snažila snížit převedením denních úhrnů na anomálie.

5.4.5. Shrnutí výsledků synopticko-klimatologické analýzy

Ke každému typu byly přiřazeny základní informace a odpovídající povětrnostní podmínky pro dané roční období. V případě, že nebyl v daném období u konkrétního typu ani jeden výskyt, bylo období vynecháno (a označeno „x“).

Typ A, Anticyklóna

Definice: anticyklóna nad Kyrgyzstánem

Výskyt: celkové zastoupení 13,8 %, z toho jaro 16 %, léto 17,4 % (max), podzim 12,9 %, zima 8,9 % (min)

Teplota vzduchu: jaro - rozkolísaná, léto - rozkolísaná, podzim - rozkolísaná, zima - minimální

Srážky: jaro – nadprůměrné, léto – podprůměrné, podzim – průměrné, zima – nadprůměrné

Záření: jaro – maximální, léto – maximální, podzim – nadprůměrné, zima - minimální

Typ B, Barické sedlo

Definice: barické sedlo nad Kyrgyzstánem

Výskyt: celkové zastoupení 3,9 %

jaro 4,3 %, léto 10,1 % (max), podzim 0,8 %, zima 0,3 % (min)

Teplota vzduchu: jaro - průměrná, léto - průměrná, podzim - nadprůměrná, zima - průměrná

Srážky: jaro - nadprůměrné, léto - podprůměrné, podzim - minimální, zima - x

Záření: jaro - maximální, léto - průměrné, podzim - maximální, zima - x

Typ C, Cyklóna

Definice: cyklóna nad Kyrgyzstánem

Výskyt: celkové zastoupení 11,1%;

jaro 10,3 %, léto 10,6 %, podzim 9,6 % (min), zima 14,1 % (max)

Teplota vzduchu: jaro - nadprůměrná, léto - maximální, podzim - maximální, zima - maximální

Srážky: jaro - podprůměrné, léto - průměrné, podzim - nadprůměrné, zima - nadprůměrné

Záření: jaro - minimální, léto - minimální, podzim - minimální, zima - podprůměrné

Typ E, Východní přímý

Definice: typ s přímočarým východním prouděním

Výskyt: celkové zastoupení 12 %;

jaro 12,8 %, léto 6,8 % (min), podzim 11,8 %, zima 16,9 % (max)

Teplota vzduchu: jaro - minimální, léto - minimální, podzim - minimální, zima - minimální

Srážky: jaro - podprůměrné, léto - podprůměrné, podzim - podprůměrné, zima - minimální

Záření: jaro - maximální, léto - maximální, podzim - maximální, zima - maximální

Typ Ea, Východní anticyklonální

Definice: hybridní typ s převažujícím východním prouděním s anticyklonálním zakřivením

Výskyt: celkové zastoupení 2,1 %;

jaro 1,9 %, léto 1,1 % (min), podzim 2,2 %, zima 3,3 % (max)

Teplota vzduchu: jaro - minimální, léto - minimální, podzim - minimální, zima - minimální

Srážky: jaro - x, léto - minimální, podzim - x, zima - minimální

Záření: jaro - x, léto - maximální, podzim - x, zima - maximální

Typ Ec, Východní cyklonální

Definice: hybridní typ s převažujícím východním prouděním s cyklonálním zakřivením

Výskyt: celkové zastoupení 2,9 %;

jaro 2,2 %, léto 1,1 % (min), podzim 2,2 %, zima 6,4 % (max)

Teplota vzduchu: jaro - nadprůměrná, léto - nadprůměrná, podzim - maximální, zima – nadprůměrná, v lokalitě Adygine maximální

Srážky: jaro - minimální, léto - podprůměrné, podzim - minimální, zima - minimální

Záření: jaro - minimální, léto - nadprůměrné, podzim - nadprůměrné, zima - maximální

Typ N, Severní přímý

Definice: typ s přímočarým severním prouděním

Výskyt: celkové zastoupení 2,5 %; jaro 4,6 % (max), léto 3 %, podzim 1,4 %, zima 0,8 % (min)

Teplota vzduchu: jaro - minimální, léto - minimální, podzim - minimální, zima - průměrná

Srážky: jaro - podprůměrné, léto - průměrné, podzim - průměrné, zima - x

Záření: jaro - minimální, léto - minimální, podzim - minimální, zima - x

Typ Na, Severní anticyklonální

Definice: hybridní typ s převažujícím severním prouděním s anticyklonálním zakřivením

Výskyt: celkové zastoupení 0,8 %;

jaro 1,4 % (max), léto 0,3 % (min), podzim 0,8 %, zima 0,6 %

Teplota vzduchu: jaro - průměrná, léto - podprůměrná, podzim - maximální, zima - průměrná

Srážky: jaro - nadprůměrné, léto - x, podzim - průměrné, zima - x

Záření: jaro - nadprůměrné, léto - x, podzim - nadprůměrné, zima - x

Typ Nc, Severní cyklonální

Definice: hybridní typ s převažujícím severním prouděním s cyklonálním zakřivením

Výskyt: celkové zastoupení 1,1 %;

jaro 1,4 %, léto 1,1 %, podzim 1,6 % (max), zima 0,3 % (min)

Teplota vzduchu: jaro - nadprůměrná, léto - průměrná, podzim - minimální, zima - nadprůměrná

Srážky: jaro - x, léto - minimální, podzim - nadprůměrné, zima - minimální

Záření: jaro - x, léto - podprůměrné, podzim - minimální, zima - nadprůměrné

Typ NE, Severovýchodní přímý

Definice: typ s přímočarým severovýchodním prouděním

Výskyt: celkové zastoupení 9,7 %;

jaro 8,7 %, léto 7,9 % (min), podzim 12,4 % (max), zima 10 %

Teplota vzduchu: jaro - minimální, léto - minimální, podzim - minimální, zima - minimální

Srážky: jaro - průměrné, léto - nadprůměrné, podzim - nadprůměrné, zima - minimální

Záření: jaro - minimální, léto - minimální, podzim - maximální, zima - minimální

Typ NEa, Severovýchodní anticyklonální

Definice: hybridní typ s převažujícím severovýchodním prouděním s anticyklonálním zakřivením

Výskyt: celkové zastoupení 2,9 %;

jaro 3,8 % (max), léto 3 %, podzim 2,2 % (min), zima 2,8 %

Teplota vzduchu: jaro - minimální, léto - minimální, podzim - minimální, zima - minimální

Srážky: jaro - nadprůměrné, léto - podprůměrné, podzim - nadprůměrné, zima - minimální

Záření: jaro - průměrné, léto - podprůměrné, podzim - maximální, zima - průměrné

Typ NEc, Severovýchodní cyklonální

Definice: hybridní typ s převažujícím severovýchodním prouděním s cyklonálním zakřivením

Výskyt: celkové zastoupení 2,1 %;

jaro 1,4 % (min), léto 1,6 %, podzim 2,2 %, zima 3 % (max)

Teplota vzduchu: jaro - nadprůměrná, léto - průměrná, podzim – podprůměrná, v lokalitě Adygine minimální, zima - maximální

Srážky: jaro - nadprůměrné, léto - průměrné, podzim - průměrné, zima - minimální

Záření: jaro - podprůměrné, léto - podprůměrné, podzim - průměrné, zima - nadprůměrné

Typ NW, Severozápadní přímý

Definice: typ s přímočarým severozápadním prouděním

Výskyt: celkové zastoupení 2,2 %;

jaro 2,7 %, léto 3,5 %, podzim 2,2 %, zima 0,3 %

Teplota vzduchu: jaro - nadprůměrná, léto - nadprůměrná, podzim - průměrná, zima - průměrná

Srážky: jaro - průměrné, léto - nadprůměrné, podzim – průměrné, zima - minimální

Záření: jaro - minimální, léto - podprůměrné, podzim - podprůměrné, zima - průměrné

Typ NWa, Severozápadní anticyklonální

Definice: hybridní typ s převažujícím severozápadním prouděním s anticyklonálním zakřivením

Výskyt: celkové zastoupení 0,4 %;

jaro 0,3 %, léto 1,1 % (max), podzim 0,3 %, zima 0 % (min)

Teplota vzduchu: jaro - průměrná, léto - minimální, podzim - průměrná, zima – x

Srážky: jaro - x, léto - nadprůměrné, podzim - x, zima - x

Záření: jaro - x, léto - podprůměrné, podzim - x, zima - x

Typ NWc, Severozápadní cyklonální

Definice: hybridní typ s převažujícím severozápadním prouděním s cyklonálním zakřivením

Výskyt: celkové zastoupení 0,3 %;

jaro 0,5 % (max), léto 0,3 %, podzim 0,3 %, zima 0 % (min)

Teplota vzduchu: jaro - průměrná, léto - průměrná, podzim - průměrná, zima - x

Srážky: jaro - minimální, léto - x, podzim - nadprůměrné, zima - x

Záření: jaro - minimální, léto - x, podzim - minimální, zima - x

Typ S, Jižní přímý

Definice: typ s přímočarým jižním prouděním

Výskyt: celkové zastoupení 4,9 %;

jaro 4,3 %, léto 0,8 % (min), podzim 8,2 % (max), zima 6,4 %

Teplota vzduchu: jaro - maximální, léto - maximální, podzim - maximální, zima - maximální

Srážky: jaro - minimální, léto - minimální, podzim - minimální, zima - minimální

Záření: jaro - průměrné, léto - maximální, podzim - podprůměrné, zima - podprůměrné

Typ Sa, Jižní anticyklonální

Definice: hybridní typ s převažujícím jižním prouděním s anticyklonálním zakřivením

Výskyt: celkové zastoupení 1,2 %;

jaro 0,5 % (min), léto 0,5 % (min), podzim 2,2 % (max), zima 1,1 %

Teplota vzduchu: jaro - nadprůměrná, léto - maximální, podzim - maximální, zima - maximální

Srážky: jaro - minimální, léto - minimální, podzim - minimální, zima - minimální

Záření: jaro - nadprůměrné, léto - maximální, podzim - nadprůměrné, zima - průměrné

Typ Sc, Jižní cyklonální

Definice: hybridní typ s převažujícím jižním prouděním s cyklonálním zakřivením

Výskyt: celkové zastoupení 1,1 %;

jaro 0,5 % (min), léto 0,5 % (min), podzim 0,8 %, zima 2,5 % (max)

Teplota vzduchu: jaro - nadprůměrná, léto - maximální, podzim - maximální, zima - nadprůměrná

Srážky: jaro - x, léto - minimální, podzim - x, zima - průměrné

Záření: jaro - x, léto - nadprůměrné, podzim - x, zima - průměrné

Typ SE, Jihovýchodní přímý

Definice: typ s přímočarým jihovýchodním prouděním

Výskyt: celkové zastoupení 6,9 %;

jaro 7,6 %, léto 2,2 % (min), podzim 6,9 %, zima 11,1 % (max)

Teplota vzduchu: jaro - maximální, léto - minimální, podzim - podprůměrná, zima - průměrná

Srážky: jaro - minimální, léto - podprůměrné, podzim - podprůměrné, zima - minimální

Záření: jaro - průměrné, léto - maximální, podzim - podprůměrné, zima - minimální

Typ SEa, Jihovýchodní anticyklonální

Definice: hybridní typ s převažujícím jihovýchodním prouděním s anticyklonálním zakřivením

Výskyt: celkové zastoupení 1,2 %;

jaro 1,6 %, léto 0 % (min), podzim 1,9 % (max), zima 1,1 %

Teplota vzduchu: jaro - maximální, léto - x, podzim - nadprůměrná, zima - minimální

Srážky: jaro - minimální, léto - x, podzim - minimální, zima - x

Záření: jaro - maximální, léto - x, podzim - maximální, zima - x

Typ SEc, Jihovýchodní cyklonální

Definice: hybridní typ s převažujícím jižním prouděním s cyklonálním zakřivením

Výskyt: celkové zastoupení 2,1 %;

jaro 1,9 %, léto 1,9 %, podzim 1,1 % (min), zima 2,1 % (max)

Teplota vzduchu: jaro – nadprůměrná, v lokalitě Koltor maximální, léto - maximální, podzim - nadprůměrná, zima - maximální

Srážky: jaro - podprůměrné, léto - podprůměrné, podzim - minimální, zima - minimální

Záření: jaro - průměrné, léto - nadprůměrné, podzim - podprůměrné, zima - nadprůměrné

Typ SW, Jihozápadní přímý

Definice: typ s přímočarým jihozápadním prouděním

Výskyt: celkové zastoupení 5,4 %;

jaro 4,1 %, léto 7,9 % (max), podzim 6,9 %, zima 2,8 (min)

Teplota vzduchu: jaro - maximální, léto - maximální, podzim - maximální, zima - nadprůměrná

Srážky: jaro - minimální, léto - nadprůměrné, podzim - minimální, zima - nadprůměrné

Záření: jaro - nadprůměrné, léto - průměrné, podzim - nadprůměrné, zima - podprůměrné

Typ SWa, Jihozápadní anticyklonální

Definice: hybridní typ s převažujícím jihozápadním prouděním s anticyklonálním zakřivením **Výskyt:** celkové zastoupení 2,3 %;

jaro 1,9 %, léto 3,3 % (max), podzim 2,7 %, zima 1,1 % (min)

Teplota vzduchu: jaro - maximální, léto - nadprůměrná, podzim - maximální, zima - nadprůměrná

Srážky: jaro - x, léto - průměrné, podzim - minimální, zima - minimální

Záření: jaro - x, léto - podprůměrné, podzim - nadprůměrné, zima - průměrné

Typ SWc, Jihozápadní cyklonální

Definice: hybridní typ s převažujícím jihozápadním prouděním s cyklonálním zakřivením **Výskyt:** celkové zastoupení 2,5 %;

jaro 2,2 %, léto 2,7 %, podzim 3,6 % (max), zima 1,7 % (min)

Teplota vzduchu: jaro - maximální, léto - maximální, podzim - maximální, zima - maximální

Srážky: jaro - nadprůměrné, léto - nadprůměrné, podzim - průměrné, zima - podprůměrné

Záření: jaro - nadprůměrné, léto - průměrné, podzim - podprůměrné, zima - minimální

Typ W, Západní přímý

Definice: typ s přímočarým západním prouděním

Výskyt: celkové zastoupení 2,5 %;

jaro 1,4 %, léto 6 % (max), podzim 1,6 %, zima 1,1 % (min)

Teplota vzduchu: jaro - maximální, léto - maximální, podzim - maximální, zima - nadprůměrná

Srážky: jaro - x, léto - nadprůměrné, podzim - nadprůměrné, zima - x

Záření: jaro - x, léto - minimální, podzim - minimální, zima - x

Typ Wa, Západní anticyklonální

Definice: hybridní typ s převažujícím západním prouděním s anticyklonálním zakřivením

Výskyt: celkové zastoupení 1,2 %;

jaro 1,4 %, léto 2,7 % (max), podzim 0,5 %, zima 0 % (min)

Teplota vzduchu: jaro - maximální, léto - minimální, podzim - maximální, zima - x

Srážky: jaro - podprůměrné, léto - nadprůměrné, podzim - x, zima - x

Záření: jaro - podprůměrné, léto - minimální, podzim - x, zima - x

Typ Wc, Západní cyklonální

Definice: hybridní typ s převažujícím západním prouděním s cyklonálním zakřivením

Výskyt: celkové zastoupení 1 %; jaro 0,3 % (min), léto 2,7 % (max), podzim 0,5 %, zima 0,3 % (min)

Teplota vzduchu: jaro - nadprůměrná, léto - nadprůměrná, podzim - maximální, zima - průměrná

Srážky: jaro - minimální, léto - podprůměrné, podzim - minimální, zima - x

Záření: jaro - nadprůměrné, léto - průměrné, podzim - nadprůměrné, zima - x

6. Diskuze

Diskuzi jsem pro větší přehlednost rozdělila do bloků podle daného tématu.

Homogenizace

Při analýze homogenity a následné opravě řad maximální, minimální a průměrné denní teploty vzduchu na stanici Adygine H jsem používala statistický test SNHT. Ten je určen pro analýzu dat s alespoň měsíčním časovým krokem, při aplikaci na data s vyšším časovým rozlišením (např. denní hodnoty) ztrácí svou schopnost spolehlivě identifikovat nehomogenitu v datech. Proto se používá na měsíční průměry dané klimatické řady a případná oprava je potom aplikována na data denní. Aby mezi posledním a prvním dnem sousedních měsíců kvůli různým hodnotám opravy nevznikl skok, musí se hodnoty opravy směrem k okrajovým dnům měsíce přepočítat (výčet metod, jak toho docílit shrnuli Vincent et al., 2002).

Tento krok mohl být v práci vynechán, neboť spolu měsíce s jinou velikostí opravy kvůli chybějícím hodnotám nesousedily. Přestože byly hodnoty nehomogenního úseku v řadách teploty vzduchu opraveny poměrně razantním způsobem, došlo díky jejich homogenizaci ke zvýšení kvality datových řad, což dokazuje i zvýšení hodnot korelace mezi daty stanice Adygine H a kyrgyzskými stanicemi.

Doplnění hodnot

Data z experimentálních lokalit obsahovala několik poměrně dlouhých výpadků, které jsem ve většině případů neopravovala. Chybějící hodnoty by se teoreticky daly doplnit pomocí dat z nejbližší stanice, čímž by se sice řady zacelily, ovšem ve výsledku by v nich byl příliš velký počet dopočítaných hodnot. Data by přišla o svou jedinečnost a snížila by se jejich vypovídací hodnota a použitelnost pro další klimatickou analýzu. Pokud by ale měla být použita za účelem, kde není potřeba stejná přesnost jako u klimatických analýz, je tento postup doplnění hodnot možný.

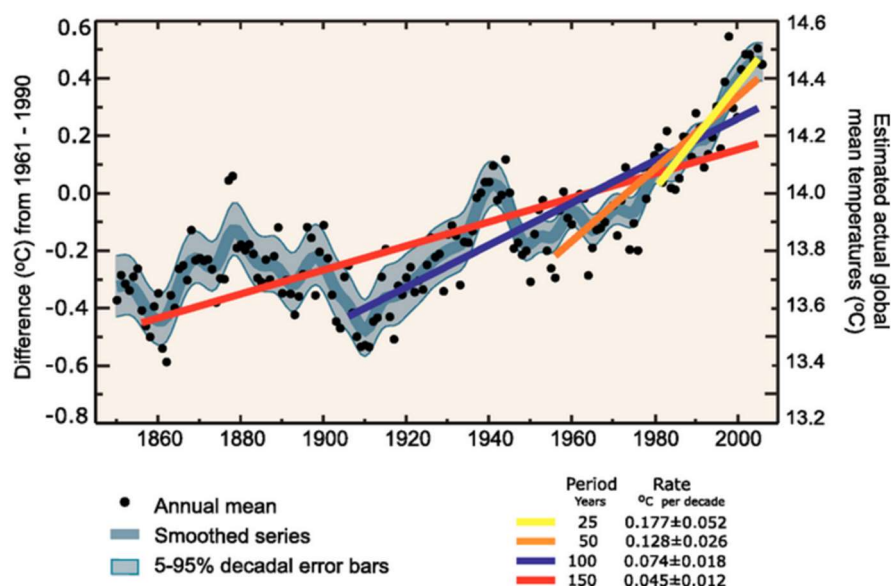
Dlouhodobé průměry klimatických prvků

Vzhledem k tomu, že jsem velké výpadky neopravovala, často jsem neměla k dispozici pro konstrukci „dlouhodobých“ měsíčních průměrů více než jednu měsíční hodnotu. Některé vypočítané hodnoty (např. dlouhodobá lednová teplota na stanici Adygine H) tak budou nižší, popř. vyšší, než by byl skutečný dlouhodobý průměr v dané lokalitě, a lze je použít pouze orientačně.

Výsledky zpracování klimatických řad

I přes relativně krátkou dobu měření se výsledky zpracování klimatických řad z lokalit Adygine a Koltor dobře shodují s poznatky Aizena et al. (1996, 1997) a Aizen a Aizen (1997). Liší se pouze hodnoty trendů teploty vzduchu u kyrgyzských stanic, které jsou v této práci mnohonásobně vyšší.

Na vině jsou jinak zvolená časová rozmezí dat, která byla k výpočtům trendů použita – v této práci bylo zvoleno období 1985 – 2015, Aizen et al. (1997) výpočty prováděli v období 1940 – 1991. Zatímco v mnou zvoleném období docházelo k poměrně rovnoměrnému růstu teplot, druhé období zahrnovalo pokles průměrné teploty vzduchu mezi lety 1947 až 1955 a navíc končilo v roce 1991. Z Obr. 24 je patrné, jak může výběr analyzovaného období ovlivnit výpočet trendů. Tento případ dokazuje, jak důležité je informovat se při srovnávání trendů o délce období, ze kterého byly odvozeny.



Obr. 24: Průměrná globální teplota vzduchu v období 1850-2005. Barevné linie označují lineární trendy za posledních 25 (žlutá), 50 (oranžová), 100 (modrá) a 150 let (červená). (Zdroj: IPCC, 2016)

Subjektivita v objektivní klasifikaci

Jednou z hlavních výhod metody Jenkinsona a Collisona (1977) je její objektivita. Tím, že jsem se rozhodla nepoužívat typ U a místo toho daný den s nerozlišeným tlakovým polem zařadit buď pod nejpodobnější typ, nebo pod zvláštní typ B, jsem do procesu zavedla subjektivní prvky. Tento postup jsem zvolila z toho důvodu, abych měla v další části analýzy

k dispozici co nejvíce klasifikovaných dnů. Analýza byla prováděna na relativně krátkém období srpen 2007 – červenec 2011, které zahrnuje 1 461 dní, a z toho odhadem 6 % bylo přiřazeno subjektivním způsobem. Vzhledem k tomu, že stanice Adygine H má v analyzovaném období zhruba 54% pokrytí, Koltor 43% a Adygine D má pokrytí pouze 32%, přítomnost neklasifikovaných dní by u nich ještě více znesnadnila synopticko-klimatologickou analýzu.

Katalog cirkulačních typů

Při porovnání frekvence výskytu jednotlivých cirkulačních typů v mém katalogu a katalogu Spellmana (2015), který klasifikoval atmosférickou cirkulaci v jihozápadním Rusku, byly objeveny zjevné souvislosti:

V obou případech byl nejčastěji se vyskytujícím typem typ A. Ve Spellmanově katalogu se objevoval u 23 % klasifikovaných dnů, v mém u 14 % dnů.¹¹ Typ C byl také v obou případech jedním z nejčastějších (12 a 11 %).

Třetím nejčastěji se vyskytujícím typem byl u Spellmana se 7,3 % typ W, který se v Kyrgyzstánu příliš často nevyskytuje (cca 2,5 %); v Kyrgyzstánu však stejné rozložení tlakového pole, které je v Rusku klasifikováno jako typ W, odpovídá typu SE. Ten měl stejně častý výskyt jako ruský typ W (7 %).

Konečně, v obou katalozích se v průběhu roku nejméně objevovaly hybridní typy. I když jsou od sebe obě domény poměrně vzdálené, jejich synoptické podmínky spolu souvisejí, což je patrné i ze shod v obou katalozích cirkulačních typů.

Velký počet typů x malý počet výskytů

Poměrně velký počet cirkulačních typů by mohl být zredukován jejich seskupením podle podobného rázu počasí. V práci jsem zkoumala možnost sloučit typy podle směru proudění, u skupin typů vytvořených podle tohoto kritéria však nebyla dostatečně jasná vazba na projevy klimatických prvků (až na skupinu jižních typů).

Ze předběžné analýzy výsledků se zdá, že některé typy by mohly být seskupeny podle podobnosti klimatických projevů, například byla nalezena podobnost mezi typy S a Sa, SEc a Ec, E a Ea.

¹¹ Na tomto místě je třeba podotknout, že se daný typ neobjevuje v ten samý den v obou lokalitách, například typ A v jihozápadním Rusku bude v Kyrgyzstánu spíše odpovídat typu E.

Synop-klim analýza

Cílem synopticko-klimatologické analýzy bylo přiřadit ke každému cirkulačnímu typu alespoň přibližný údaj o rázu povětrnostních podmínek, které při něm panují. V ideálním případě by tak mohl kdokoliv, odkudkoliv jenom za pomoci denní mapy MSLP a několika rovnic určit, jaké se v lokalitách Adygine a Kotor počasí (jestli se dají očekávat nadprůměrné nebo podprůměrné teploty, jaké se dají očekávat srážkové úhrny nebo úhrny záření apod.).

Rozložení teplot při daných typech bylo získáno analýzou experimentálních a kyrgyzských dat, zatímco analýza srážek a globálního záření probíhala pouze na datech ze stanice Koltor, to by ovšem nemělo vadit. Podle Aizena et al. (X) jsou totiž v údolích na severním svahu Kyrgyzského hřbetu analogické klimatické podmínky, a to znamená, že by se měly charakteristiky klimatických prvků při daných cirkulačních typech uvedené v kapitole 5.4.5. vztahovat nejen na Adygine, ale i na ostatní lokality v této oblasti.

Jak bylo popsáno v rešerši, klasifikace atmosférické cirkulace mohou být využity k identifikaci atmosférických podmínek spojených s extrémními projevy klimatických prvků (typy spojené s intenzivními a velkoplošnými srážkami, rychlým táním sněhu, horkými a studenými vlnami, apod.). Je tedy možné identifikovat cirkulační typy, které zvyšují riziko průvalu ledovcových jezer. Mělo by se jednat o typy spojené s extrémně vysokými teplotami, vysokými úhrny záření, popřípadě extrémními úhrny dešťových srážek, a to v letních měsících, kdy jsou jezera zásobována vodou z tajícího ledovce. Dešťové srážky by také mohly, minimálně u jezera Koltor, způsobit sesuv sutě ze svahů do jezera. Takovými typy by mohly být např. **SW**, **SWc** a **W**.

Další způsob, jak by mohly být identifikovány nebezpečné cirkulační typy, je analýza atmosférické cirkulace předcházející průvaly, ke kterým již došlo.

Bylo by vhodné aplikovat postup uvedený v této práci na větší soubor dat. Nepochybně by se tak zpřesnily výsledky, kterých bylo v této práci dosaženo.

7. Závěr

Tým KFGG PřF UK se podílel na intenzivním výzkumu v oblasti kyrgyzských ledovcových jezer. U těch se v souvislosti s růstem průměrné teploty vzduchu v oblasti zvyšuje riziko průvalu. Součástí výzkumu byl i sběr klimatických dat na třech meteorologických stanicích v lokalitách Kolor (2 700 m n. m.) a Adygine (3 500 m n. m. a 3800 m n. m.).

Cílem této práce bylo analyzovat homogenitu klimatických dat naměřených v experimentálních lokalitách, podrobit je základnímu klimatologickému zpracování, vytvořit pro zájmové území klasifikaci cirkulačních typů a nakonec kvantifikovat vztahy mezi jednotlivými cirkulačními typy a hodnotami vybraných klimatických prvků.

Výsledkem první části analýzy byla homogenizovaná řada průměrných, maximálních a minimálních denních teplot vzduchu stanice Adygine H. V druhé části analýzy jsem z experimentálních dat vypočítala základní charakteristiky pro teplotu vzduchu, srážky, globální záření a větrné proudění. Zároveň byly vypočítány trendy teploty vzduchu u pěti kyrgyzských stanic za období 1985-2015: za posledních 30 let se zvyšovaly v průměru o $0,05^{\circ}\text{C/rok}$. Nejvíce teplota stoupala v jarních měsících, což by mohlo uspišit tání sněhové a potažmo ledovcové pokrývky a dále zvýšit riziko průvalů u ledovcových jezer.

Výsledkem třetí části práce bylo vytvoření katalogu cirkulačních typů na zájmovém území v období srpen 2007 až červenec 2011. Nejčastěji se vyskytovaly typy A (anticyklóna, 14 %), E (přímé východní proudění, 12 %) a typ C (cyklóna, 11 %), nejméně se vyskytovaly hybridní typy (např. NWa a NWc s frekvencí výskytu 0,4 a 0,3 %).

Výsledkem synopticko-klimatologické analýzy bylo shrnutí „chování“ teploty vzduchu, srážek a globálního záření při jednotlivých cirkulačních typech. Výsledky jsou zatím spíše orientační, protože byly vypočítány z relativně malého množství dat, a nehodí se tak například na předpověď počasí, nicméně do budoucna by se daly použít pro definování nebezpečných typů, zvyšujících riziko spojené s průvaly ledovcových jezer ve zkoumaných lokalitách. Takové typy by měly být nadprůměrně teplé, spojené s vysokými úhrny globálního záření nebo s vysokými úhrny dešťových srážek, jako jsou například typy SW, SWc a W.

Seznam použité literatury

Aizen, V. B. (1988). The glaciation and its evolution in the North Tien Shan (Doctoral dissertation, PhD Thesis).

Aizen, V. B., Aizen, E. M., & Melack, J. M. (1996). Precipitation, melt and runoff in the northern Tien Shan. *Journal of Hydrology*, 186(1), 229-251.

Aizen, V. B., Aizen, E. M., Melack, J. M., & Dozier, J. (1997). Climatic and hydrologic changes in the Tien Shan, central Asia. *Journal of Climate*, 10(6), 1393-1404.

Aizen, V., & Aizen, E. (1997). Hydrological cycles on the north and south peripheries of mountain-glacial basins of central Asia. *Hydrological Processes*, 11(5), 451-469.

Aizen, V.B., (1988). The glaciation and its evolution in the North Tien Shan (in Russian). Ph.D. Thesis, Academy of Sciences of the USSR, Moscow, 218 s.

Alexandersson H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology* 6: 661–675.

Alexandersson, H., & Moberg, A. (1997). Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends. *International Journal of climatology*, 17(1), 25-34.

Brádka, J., Dřevíkovský, A., Gregor, Z., Kolesám, J. (1961): Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích. Hydrometeorologický ústav, Praha, 126 s.

Beck, C., Jacobeit, J., Jones, P.D., (2007). Frequency and within-type variations of large-scale circulation types and their effects on low-frequency climate variability in Central Europe since 1780. *Int. J. Climatol.*, 27, 473-491.

Brázdil, R., Budíková, M. (1999). An urban bias in air temperature fluctuations at the Klementinum, Prague, the Czech Republic. *Atmospheric environment*, 33.24: 4211-4217.

Brunet, M., Saladié, O., Jones, P., Sigró, J., Aguilar, E., Moberg, A. & Almarza, C. (2006). The development of a new dataset of Spanish daily adjusted temperature series (SDATS)(1850–2003). *International Journal of Climatology*, 26(13), 1777-1802.

Buishand, T., Brandsma, T. (1997). Comparison of circulation classification schemes for predicting temperature and precipitation in the Netherlands. *International Journal of Climatology*, 17(8), 875-889.

Buslov, M. M., De Grave, J., Bataleva, E. A. V., & Batalev, V. Y. (2007). Cenozoic tectonic and geodynamic evolution of the Kyrgyz Tien Shan Mountains: A review of geological, thermochronological and geophysical data. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29(2), 205-214.

Costa, A. C., & Soares, A. (2009). Homogenization of climate data: review and new perspectives using geostatistics. *Mathematical Geosciences*, 41(3), 291-305.

Čekal, R. (2007). Analýza atmosférických příčin povodní na případu povodí horní Ohře. In: *Povodně a změny v krajině*. Edit. J. Langhammer. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, s. 113–121.

Černý, M., Janský, B., Šobr, M., Engel, Z., Česák, J., Kocum, J., Žáček, M., Yerokhin, S. A. (2007) Monitoring vysokohorských ledovcových jezer a ochrana obyvatelstva před katastrofálními následky povodní vzniklých průtržemi morénových. Závěrečná zpráva projektu rozvojové spolupráce mezi Českou a Kyrgyzskou republikou RP/27/2004 GEOMIN družstvo, Jihlava, 2 části, 206 s.

Černý, M., Šobr, M., Engel, Z., Kocum, J., Hrdinka, T., Janský, B., Hůlka, L., Žáček, M., Yerokhin, S. A., Ermangaev, B., Zaginaev, V. V., Kuznecov, B. A., Zajagin, D. (2010). Analýza rizik a omezení důsledků protržení hrází vysokohorských jezer. Závěrečná zpráva projektu rozvojové spolupráce mezi Českou a Kyrgyzskou republikou RP9/2007, GEOMIN družstvo, Jihlava, 2 části, 20 příloh, 242 s.

DeGaetano, A.T., (2006). Attributes of several methods for detecting discontinuities in mean temperature series. *J. Climate*, 19, 838-853.

Dittmann, E. (2007): Foreword. In: Proceedings from the 5th annual meeting of the European Meteorological Society, Session AW8 Weather types classifications, Utrecht, 9-15.

Ducré-Robitaille, Jean-François; Vincent, Lucie A.; Boulet, Gilles. (2003). Comparison of techniques for detection of discontinuities in temperature series. *International Journal of Climatology*, 23.9: 1087-1101.

Dzunuzova, M. (2008). National report on the state of plant genetic resources for food and agriculture in Kyrgyzstan. Country report. 49 s.

Easterling, David R.; Peterson, Thomas C. (1995). A new method for detecting undocumented discontinuities in climatological time series. *International journal of climatology*, 1995, 15.4: 369-377.

Falátková, K. (2014). Glaciální jezera v Kyrgyzstánu ohrožená průvalem. Diplomová práce. PřF UK. Praha, 114 s.

Firat, M., Dikbas, F., Koc, A. C., & Gungor, M. (2012). Analysis of temperature series: estimation of missing data and homogeneity test. *Meteorological Applications*, 19(4), 397-406.

Georgescu, F., & Stefan, S. (2010). Cyclonic activity over Romania in connection with the air circulation types. *Romanian Reports in Physics*, 62(4), 878-886.

Hakuba, M. Z., Folini, D., Sanchez-Lorenzo, A., & Wild, M. (2013). Spatial representativeness of ground-based solar radiation measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(15), 8585-8597.

Hladný, J., Blažek, V., Dvořák, V., Kubát, J. (1998). Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997. Souhrnná zpráva projektu. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha. 163 s.

Huth, R., Ustrnul, Z., Dittmann, E., Bissolli, P. et al. (2007). Inventory of circulation classification methods and their applications in Europe within the COST 733 action. In: Proceedings from the 5th annual meeting of the European Meteorological Society, Session AW8 Weather types classifications, Utrecht, 9-15.

Huth, R., et al., (2008). Classifications of atmospheric circulation patterns: recent advances and applications. *Ann. N. York Acad. Sci.*,1146, 105-152.

Chemonics International Inc. (2001): Biodiversity Assessment for Kyrgyzstan. USAID Central Asian Republics Mission, Almaty, Kazakhstan.

Janský, B., Šobr, M., & Engel, Z. (2010). Outburst flood hazard: case studies from the Tien-Shan Mountains, Kyrgyzstan. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 40(4), 358-364.

Janský, B., Šobr, M., Engel, Z., Černý, M., (2013). Deset let výzkumu nebezpečných jezer v Kyrgyzstánu: výstava [online]. Praha : Geografická sekce Přírodovědecké fakulty.

Dostupné z: http://ucebny.natur.cuni.cz/gk/vystavy/vystavy-10let_vyzkumu_jezer.html

Jenkinson, A. F., & Collison, F. P. (1977). An initial climatology of gales over the North Sea. *Synoptic climatology branch memorandum*, 62, 18.

Jones, P. D., Harpham, C., & Briffa, K. R. (2013). Lamb weather types derived from reanalysis products. *International Journal of Climatology*, 33(5), 1129-1139.

Jones, P.D., Hulme, M., Briffa, K.R., (1993). A comparison of Lamb circulation types with an objective classification scheme. *Int. J. Climatol.*,13, 655-663.

Khaliq, M. N., & Ouarda, T. B. M. J. (2007). On the critical values of the standard normal homogeneity test (SNHT). *International Journal of Climatology*,27(5), 681-687.

Kidson, J. W. (1994). Relationship of New Zealand daily and monthly weather patterns to synoptic weather types. *International Journal of Climatology*, 14(7), 723-737.

Koppes, M., Gillespie, A. R., Burke, R. M., Thompson, S. C., & Stone, J. (2008). Late quaternary glaciation in the Kyrgyz Tien Shan. *Quaternary Science Reviews*, 27(7), 846-866.

Marchenko, S. S., Gorbunov, A. P., & Romanovsky, V. E. (2007). Permafrost warming in the Tien Shan mountains, central Asia. *Global and Planetary Change*, 56(3), 311-327.

Kreienkamp, F., Spekat, A., Enke, W. (2010). A robust method to identify cyclone tracks from gridded data. *Advances in Science and Research*, 4(1), s. 105-114.

Křivancůvá, S., Vavruška, F. (1997). Základní meteorologické prvky v jednotlivých povětrnostních situacích na území České republiky v období 1961-1990. *Český hydrometeorologický ústav*. 114 s.

Kuglitsch, F. G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della-Marta, P. M., Luterbacher, J., & Wanner, H. (2009). Homogenization of daily maximum temperature series in the Mediterranean. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D15).

Kyselý, J. (2007). Implications of enhanced persistence of atmospheric circulation for the occurrence and severity of temperature extremes. *International Journal of Climatology*, 27(5), 689-695.

Kyselý, J. (2008). Influence of the persistence of circulation patterns on warm and cold temperature anomalies in Europe: analysis over the 20th century. *Global and Planetary Change*, 62(1), 147-163.

Kyselý, J., Kakos, V., Huth, R., Buchtele, J. (2003). Atmosférická cirkulace a povodňové situace na Vltavě. In: *Bioklimatologické pracovní dny. Funkcia energetickej a vodnej bilancie v bioklimatických systémoch* [internet], Račková dolina, 5 s.

Dostupné z: <http://www.cbks.cz/>

Lamb, H. H. (1972). British Isles weather types and a register of the daily sequence of circulation patterns 1861-1971. Her Majesty's stationery office.

Mestre, O., Gruber, C., Prieur, C., Caussinus, H., & Jourdain, S. (2011). SPLIDHOM: A method for homogenization of daily temperature observations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50(11), 2343-2358.

O'Hare, G., & Sweeney, J. (1993). Lamb's circulation types and British weather: an evaluation. *Geography*, 43-60.

Peterson, T. C., & Vose, R. S. (1997). An overview of the Global Historical Climatology Network temperature database. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(12), 2837-2849.

Peterson, T. C., Easterling, D. R., Karl, T. R., Groisman, P., Nicholls, N., Plummer, N., Vincent, L. (1998). Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. *International journal of climatology*, 18(13), 1493-1517..

Philipp, A., Bartholy, J., Beck, C., Erpicum, M., Esteban, P., Fettweis, X., ... & Krennert, T. (2010). Cost733cat—A database of weather and circulation type classifications. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35(9), 360-373.

Phillipp, A., Bartholy, J., Beck, C., Erpicum, M. et al. (2010). Cost733cat—A database of weather and circulation type classifications. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35(9), s. 360-373.

Rhoades, D. A.; Salinger, M. J. (1993). Adjustment of temperature and rainfall records for site changes. *International Journal of climatology*, 13(8), 899-913.

Romero, R., Sumner, G., Ramis, C., & Genovés, A. (1999). A classification of the atmospheric circulation patterns producing significant daily rainfall in the Spanish Mediterranean area. *International Journal of Climatology*, 19(7), 765-785.

Spellman, G. (2016). An assessment of the Jenkinson and Collison synoptic classification to a continental mid-latitude location. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-14.

Sýkorová, P. (2013). Využitelnost synoptické typizace podle Hesse a Brezowského k popisu klimatických prvků v Evropě. *Bakalářská práce. PřF UK, Praha*, 60 s.

Štěpánek, P. (2005): Variabilita teploty vzduchu na území České republiky v období přístrojových měření. *Disertační práce. Geografický ústav PřF MU, Brno*, 136 s

Štěpánek, P., Zahradníček, P., Brázdil R., Tolasz, R. (2011). Metodologie kontroly a homogenizace časových řad v klimatologii. Praha: Český hydrometeorologický ústav. 118 s. ISBN 978-80-86690-97-1.

Trigo, R. M., & DaCamara, C. C. (2000). Circulation weather types and their influence on the precipitation regime in Portugal. *International Journal of Climatology*, 20(13), 1559-1581.

Tuomenvirta, H. Homogeneity testing and adjustment of climatic time series in Finland. *Geophysica*, 2002, 38.1-2: 15-41.

Ustrnul, Z., Czekierda, D., Wypych, A. (2010). Extreme values of air temperature in Poland according to different atmospheric circulation classifications. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35(9), s. 429-436.

Vincent, L. A., Zhang, X., Bosnal, B. R., Hogg, W. D. (2002). Homogenizations of daily temperatures over Canada. *Journal of Climate*, 15, 1322-1334.

Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (Vol. 100). Academic press.

Yerokhin, S. A. Study and monitoring of dam failure safety of high-mountain lakes in Kyrgyzstan. State Institute of Geology, Bishkek, 2003, 156 pp.

Seznam ostatních zdrojů

Geologická mapa Kyrgyzského hřbetu 1:200 000. www.kyrgyzstan.ethz.ch [online] cit. 15.4.2016

Geoportal of Kyrgyzstan (2016). Geology of Kyrgyzstan. <http://www.geoportal-kg.org/index.php/geology/about-geology> [online] cit. 20.4.2016

IPCC (2016). https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/figure-ts-6.html [online] cit. 20.4.2016

Seznam tabulek

Tab. 1.: Základní informace o kyrgyzských stanicích (Zdroj: data GHCN)

Tab. 2: Velikost opravy hodnot daného klimatického prvku v jednotlivých měsících na stanici Adygine H; T_d – průměrná denní teplota, T_{max} – maximální denní teplota; T_{min} – minimální denní teplota (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Tab. 3: Korelační koeficienty mezi denními řadami klimatických prvků na jednotlivých stanicích; Adygine H 2 – homogenizovaná řada daného klimatického prvku Adygine H; (Zdroj: Exp. data, data GHCN, vlastní zpracování)

Tab. 4: Charakteristiky teploty vzduchu u Adygine H za období 2007-2010; T_a – dlouhodobá měsíční teplota vzduchu, T_{max} - dlouhodobá maximální (T_{min} minimální) měsíční teplota, $absT_{max}$ - absolutní denní maximum ($absT_{min}$ minimum) teploty vzduchu v daném měsíci za celou dobu měření. D_m - průměrný počet mrazových dnů v daném měsíci, D_{ld} - ledové dny, D_a – arktické dny. V posledním řádku jsou uvedeny roční hodnoty těchto charakteristik, odvozené z hodnot měsíčních. (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Tab. 5: Charakteristiky teploty vzduchu u Adygine D za období 2008-2013; pro vysvětlivky viz Tab. 4. (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Tab. 6: Charakteristiky teploty vzduchu u stanice Koltor za období 2008-2010; pro vysvětlivky viz Tab. 4. (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Tab. 7: Meziroční přírůstky resp. úbytky průměrné teploty na kyrgyzských stanicích za období 1985-2015. Tučně zvýrazněné hodnoty jsou statisticky významné (hladina významnosti 0,05), hodnoty jsou uvedené v °C. TA – Talas, TO – Tokmak, NA – Naryn, DA – Džalal Abad, TS – Ťan Šan. (GHCN, 2016)

Tab. 8: Pořadí roků v období 1985-2015 podle průměrné roční teploty (data GHCN)

Tab. 9: Charakteristiky dešťových srážek v období 2008-2010 na stanici Koltor. $\emptyset\Sigma$ = průměrný úhrn (m – měsíční, d – denní); $\max\Sigma$ = maximální úhrn (m – měsíční, d- denní); D_{sr} = dny se srážkami; $D_{2,5}$ = den s úhrnem srážek alespoň 2,5 mm (Zdroj: Exp. data)

Tab. 10: Úhrny globálního záření na stanici Koltor za období 2008-2010; $\emptyset\Sigma$ = průměrný úhrn záření (m – měsíční, d – denní); $\max/\min\Sigma d$ = maximální/minimální zaznamenaný denní úhrn záření (Zdroj: Exp. data)

Tab. 11: Absolutní a relativní četnost výskytů jednotlivých cirkulačních typů v období srpen 2007 - červenec 2011 a pro jednotlivá roční období (Zdroj: vlastní zpracování)

Seznam obrázků

Obr. 1: Výřez z Geologické mapy Kyrgyzského hřbetu 1:200 000; 1 – gabro-diority, granity, 2 – granity, 3 – gabro-diority, diority a grano-diority, 4 – vápence, pískovce (1 – 4 svrchní ordovik); 5 – pleistocenní sedimenty, 6 – holocenní sedimenty (Zdroj: www.kyrgyzstan.ethz.ch; upraveno)

Obr. 2: Průměrný roční úhrn srážek v Kyrgyzstánu; šipka označuje Kyrgyzský hřbet (Zdroj: Jánský et al., 2013; upraveno)

Obr. 3: Roční chod srážek v regionu Severní Ťan Šan podle nadmořských výšek (Zdroj: Aizen et. al, 1996)

Obr. 4: Rozmístění klimatických stanic; TO – Tokmak, TA – Talas, DA – Džalal Abad, NA – Naryn, TS – Ťan Šan; A – lokalita Adygině, K – lokalita Koltor

Obr. 5: Křivky Tx; a) jeden zlom v řadě, b) trend v řadě, c) čtyři zlomy v řadě, jeden zamaskován, d) přerušovaný trend v řadě (Alexandersson a Moberg, 1997)

Obr. 6: Uzlové body pravidelné sítě nad střední Asií (Zdroj: Reanalýza, upraveno)

Graf 7: Průměrné denní hodnoty tlaku vzduchu na stanici Adygině H v období 2007-2010 (Zdroj: Exp. data)

Graf 8: Četnost hodnot tlaku vzduchu naměřených na stanici Adygině H v období 2007- 2010 (Zdroj: Exp. data)

Graf 9: Křivky Tx v jednotlivých kolech homogenizace při použití referenční řady z nejlépe korelovaných stanic (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Graf 10: Původní a upravené hodnoty průměrné denní teploty vzduchu na stanici Adygině H (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Graf 11: Původní a opravené hodnoty tlaku vzduchu na stanici Adygině v období 2007-2010 (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Graf 12: Křivky Tx dle jednotlivých referenčních řad u stanice Adygině D (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Graf 13: Křivky Tx dle jednotlivých referenčních řad u stanice Koltor (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Graf 14: Křivky průměrné teploty pro roky 2007, 2008, 2009, 2010 a období 1985-2015 na stanici Ťan Šan (Zdroj: GHCN)

Graf 15: Průměrné teploty vzduchu na stanici Adygine H za období 2007-2010 (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Graf 16: Průměrné teploty vzduchu na stanici Adygine D za období 2008-2013 (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Graf 17: Průměrné teploty vzduchu na stanici Koltor za období 2008-2010 (Zdroj: Exp. data, vlastní zpracování)

Graf 18: Klimadiagram pro stanici Koltor za období 2008-2010 (Zdroj: Exp. data)

Graf 19: Relativní četnost výskytu proudění v jednotlivých směrech na stanici Adygine D v období srpen 2012 až červenec 2013 (Zdroj: Exp. data)

Graf 20: Průměrná rychlost větru v jednotlivých směrech na stanici Adygine D v období srpen 2012 až červenec 2013 (Zdroj: Exp. data)

Graf 21: Průměrná rychlost větru v jednotlivých ročních obdobích na stanici Adygine D v období srpen 2012 až červenec 2013 (Zdroj: Exp. data)

Graf 22: Maximální zaznamenané rychlosti větru v jednotlivých ročních obdobích na stanici Adygine D v období srpen 2012 až červenec 2013 (Zdroj: Exp. data)

Graf 23.a-e: Relativní četnost výskytů jednotlivých cirkulačních typů v období srpen 2007-červenec 2011; a) na jaře, b) v létě, c) na podzim, d) v zimě, e) z celé období (Zdroj: vlastní zpracování)

Obr. 24: Průměrná globální teplota vzduchu v období 1850-2005. Barevné linie označují lineární trendy za posledních 25 (žlutá), 50 (oranžová), 100 (modrá) a 150 let (červená). (Zdroj: IPCC, 2016)

rok	měsíc	Koltor	Adygine H	Adygine D	rok	měsíc	Adygine D
2007	srpen		10.8.		2012	srpen	3.8.
	září					září	
	říjen					říjen	
	listopad					listopad	24.11.
	prosinec					prosinec	
2008	leden				2013	leden	13.1.
	únor		22.2.			únor	
	březen					březen	
	duben					duben	
	květen		23.5.			květen	
	červen					červen	
	červenec	17.7.		25.7.		červenec	19.7.
	srpen			26.8.		srpen	
	září					září	
	říjen		30.10.			říjen	
	listopad					listopad	
	prosinec					prosinec	
2009	leden		28.1.				
	únor						
	březen						
	duben						
	květen						
	červen						
	červenec						
	srpen						
	září		12.9.	13.9.			
	říjen						
	listopad						
	prosinec						
2010	leden	13.1.					
	únor						
	březen		9.3.				
	duben						
	květen		19.5.				
	červen						
	červenec	24.7.		9.7.			
	srpen						
	září	1.9.	6.9.	6.9.			
	říjen		1.10.				
	listopad						
	prosinec			3.12.			

Příloha 1: Pokrytí zpracovávaných dat z lokalit Koltor a Adygine; zelená – měsíce bez chybějících měření; oranžová – měsíce s chybějícími hodnotami; prázdná pole – data chybí; (Zdroj: Exp. data)