

Karanin A., Sukhova M., Kocheeva N., Zhuravleva O., Nikolchenko Yu., Bakulin A.,
Politova N., Kaizer M., Larina G., Elchininiva O., Shitov A.

Preučevanje dinamike procesov izsuševanja gorskih ekosistemov s pomočjo daljinsko zaznanih podatkov (študija primera jugovzhodnega Altaja)



Uvod

V geoloških, geografskih in geoekoloških raziskavah je najtežja naloga prepoznavanje smeri in hitrosti spreminjanja naravnih procesov. V današnjem času narašča pomen takšnih raziskav zaradi aktualnih sprememb v podnebnem sistemu.

Napovedi podnebja v bližnji prihodnosti prikazujemo v obliki podnebnih vzorcev. Da bi jih lahko razvili, se poslužujemo novih podatkov in razvijamo nove metode, tehnične naprave za zbiranje eksperimentalnih podatkov in obdelavo podatkov dolgoročnih opazovanj pa postajajo vedno bolj zapletene. Številni raziskovalci opažajo, da ti vzorci pogosto napovedujejo spremembo povprečne sezonske temperature in padavin [1]. Vendar pa je za proces vzdrževanja življenja pomembno, da smo seznanjeni z vedenjem naravnih rastišč pod takšnimi pogoji.

Trenutne spremembe nedvomno najbolj vplivajo na arktične sisteme [2], vedenje gorskih ledenikov [3] in sušna območja [4]. Izrazita lastnost ekoregije Altaj-Sayan (ASE), ki zajema jugovzhodni Altaj (sl.1, 2), je visoka stopnja raznolikosti pokrajine. Jugovzhodni Altaj ima obsežna območja step in polpuščav. Ta so stoletja služila kot zaloga krme za živinorejo na tem območju, stanje teh območij pa je pomembno za objektivno napoved razvoja proizvodnje.

Po mnenju avtorjev stopnjevanje sušnosti močno ogroža stepske ekosisteme. Ta širna območja, ki so morda pod vplivom procesa večanja sušnosti, danes večinoma spadajo v kategorijo polpuščav. Globalni vzorci zaenkrat ne morejo nedvoumno napovedati smeri sprememb podnebnega sistema in značilnosti odziva na podnebne spremembe na območju ASE [1, 40]. Zaradi tega moramo poiskati metode in pristope, s katerimi bi rešili ta problem.

Pregled literature

Problem povečevanja sušnosti ekosistemov preučuje veliko število znanstvenih del [1, 4, 18, 7, 19, 22, 24]. Zanimanje za to temo spodbuja dejstvo, da je dezertifikacija (opuščavljanje) proces preoblikovanja, ki lahko privede do nepopravljivih sprememb pokrajinskih elementov [28]. Eden od najpomembnejših

¹Karanin A.,
^{1,2}Sukhova M.,
¹Kocheeva N.,
¹Zhuravleva O.,
¹Nikolchenko Yu.,
¹Bakulin A.,
¹Politova N., Kaizer M.,
 Larina G., Elchininiva
 O., Shitov A.

¹Gorno-Altajsk State University

²Inštitut za vodna in ekološka vprašanja (IWEP) v mestu Gorno-Altajsk, sibiriska veja Ruske akademije znanosti

³IWEP sibirske veje Ruske akademije znanosti

Glede na omenjene vidike obstaja še en dejavnik, ki ločuje območje jugovzhodnega Altaja in sosednji območji Mongolije in Kitajske od ostrega celinskega podnebja in stalne tendence k izsuševanju, in sicer naraščanje temperature zraka ob enakih ali nižjih količinah atmosferskih padavin.

Povzetek

Jugovzhodni Altaj velja za visokogorsko območje. Za posamezne dele gorovja je značilno precej suho podnebje. Visokogorski ekosistemi se začnejo takšnim pogojem prilagajati. Z uporabo dveh metod ocenjevanja pogojev naravnih rastišč v sušnih območjih smo prišli do primerljivih rezultatov, na podlagi katerih lahko izberemo najbolj racionalen pristop k prepoznavanju obstoječe tendence. Pridobljeni rezultati nam omogočajo, da ocenimo smer teh procesov. Človeški vpliv na polpuščavske pokrajine ovira potek naravnih procesov. To se odraža v maksimalni spremenljivosti uporabljenih indikatorjev – v vegetacijskem indeksu NDVI.

Ključne besede: sušna območja, visokogorska področja, dezertifikacija, metode daljinskega raziskovanja, vegetacijski indeks NDVI.

Studying the dynamics of aridization processes of mountain ecosystems using remote sensing data

(case study of southeastern Altai)

Abstract

Southeastern Altai is considered to be a high-mountainous zone. Its separate areas are characterized by considerable aridity of climate. High-mountainous ecosystems are compelled to adapt to such conditions. The results of two methods of assessment of conditions of natural sites located in arid territories yield comparable results. This gives a possibility to choose the most rational approach for the identification of the existing tendency. The obtained results allow us to estimate the orientation of the processes. The human impact on semidesertic landscapes complicates the course of natural processes. It is reflected in the maximum variability of the used indicators – the NDVI.

Key words: arid territories; high-mountainous zones; desertification; remote research methods; Normalized Difference Vegetation Index.

dejavnikov, ki vplivajo na povečevanje sušnosti, je stanje podnebja. Soodvisnost med globalnimi podnebnimi spremembami in procesi dezertifikacije omenja vrsta del [22, 23, 24, 25, 26]. Skoraj vsi raziskovalci so mnenja, da je zadnjih 100 let v svetu prisoten pozitivni trend. Poročilo Zvezne hidrometeorološke in okoljevarstvene opazovalne službe Rusije navaja, da je ozemlje Ruske federacije izpostavljeno

intenzivnejšim temperaturnim spremembam kot preostanek sveta [26]. Klimatologi opažajo, da se povišanje povprečnih letnih temperatur kaže v taljenju permafrosta in povečanju ablacije ledenikov in procesov erozije, zaradi česar rahlo vlažna območja prizadene povečevanje sušnosti in izguba tradicionalnih virov vnosa vlage [23, 28]. Takšni pogoji najbolj ogrožajo stepske pokrajine in pokrajine gozdnih step v gorskih dolinah, ki jih ljudje uporabljajo za kmetovanje [22]. Nekateri raziskovalci [21, 22] poročajo o degradaciji gozdov v Sibiriji in povečanju števila požarov z vedno večjim obsegom in stopnjo nevarnosti. Ti dejavniki vodijo v preoblikovanje pokrajin, ki na lestvici, ki kaže na stopnjo povečanja sušnosti, preidejo v območja, kjer je ta pojav bolj opazen.

Glede na omenjene vidike obstaja še en dejavnik, ki ločuje območje jugovzhodnega Altaja in sosednji območji Mongolije in Kitajske od ostrega celinskega podnebja in stalne tendence k povečevanju sušnosti, in sicer naraščanje temperature zraka ob enakih ali nižjih količinah padavin [1, 21, 23, 28, 29 in slike 3, 4 in 5].

To idejo promovirajo ne samo dela fizičnogeografskega in ekološkega značaja, temveč tudi gradiva o raziskovanju prebivalstva preučevanih regij in oblik lokalne uporabe zemljišč ter naravnih virov [27]. Kljub nizki gostoti prebivalstva v tej regiji so spremembe, ki jih povzročata dezertifikacija tega območja, zlasti naravovarstveni in kmetijski problem.

Cilj raziskave

Glavna naloga raziskovalnega dela je ugotoviti smer procesov povečevanja sušnosti na območju gorske regije Altaj-Sayan (sliki 6 in 7). Avtorji raziskave nakazujejo možnost uporabe daljinskih metod za preučevanje pogojev mozaičnega širjenja suhih in polpuščavskih gorskih verig v južni Sibiriji.

Predmet raziskave

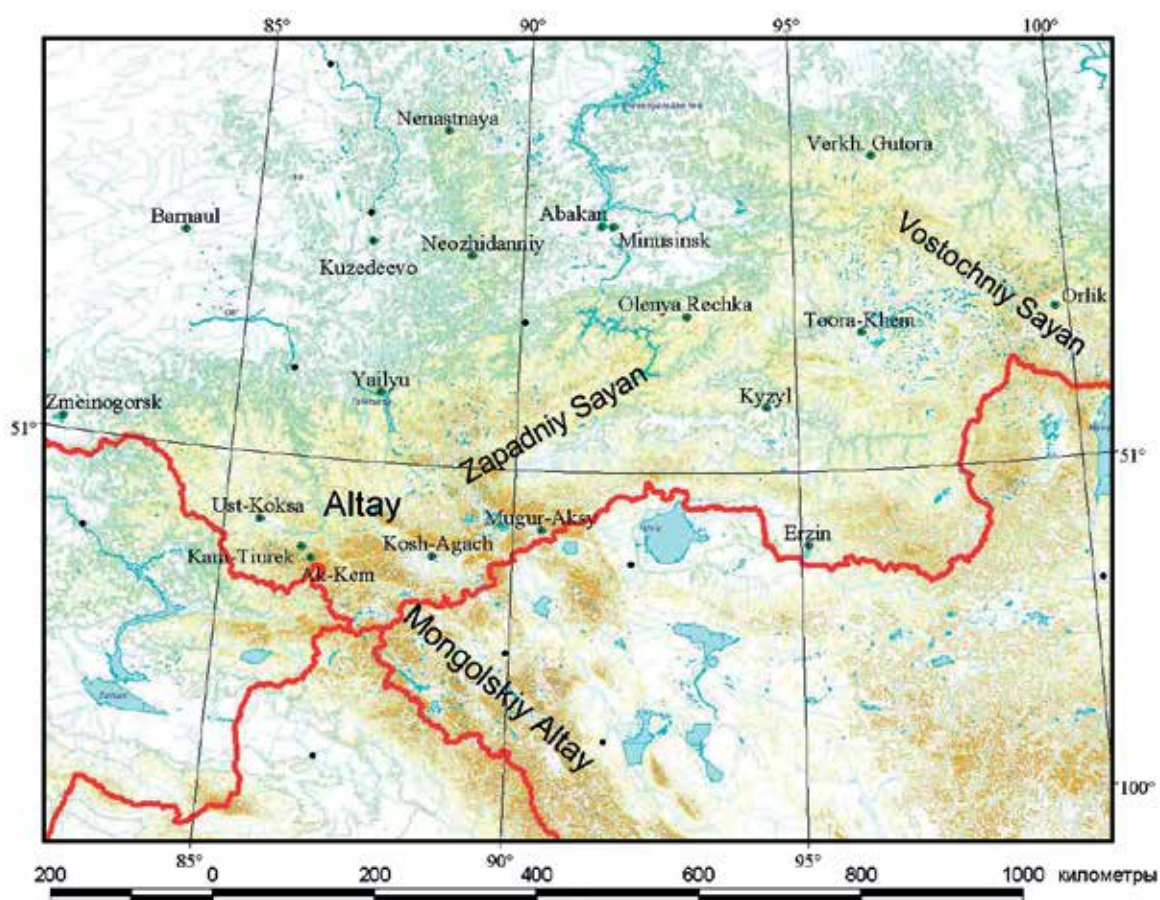
Jugovzhodna provinca Altaj na zemljevidu ozemlja Altajski kraj iz leta 1978 [5], ki se nahaja v upravnem okrožju Kosh-Agach v Altajski republiki.

Raziskovalna gradiva

Zemljevid ozemlja Altajski kraj iz leta 1978 [5] in pokrajinski zemljevid ekoregije Altaj-Sayan, ki ga je leta 2011 izdala G. S. Samoilova oz. je sodelovala pri izdaji, tvorita kartografsko



Slika 1: Lokacija regije Altaj-Sayan in jugovzhodnega Altaja



Slika 2: Fizičnogeografski zemljevid regije Altaj-Sayan



Slika 3: Povprečna letna temperatura zraka (1966-2009)



Slika 4: Predvidena povprečna letna температура zraka za obdobje 2025-2034



Slika 5: Razporeditev skupnih letnih padavin v ekoregiji Altaj-Sayan 1986-2009



Slika 6: Planota Ukok, Rusija, regija Altaj-Sajan, jugovzhodni Altaj.

Pogled na reko Ukok in Južni Altaj. Po grebenu poteka meja med Rusijo in Kitajsko. Nadmorska višina uravnave je okrog 2250 m, gore v ozadju pa dosejajo do 3400 m višine.

podlago za raziskavo. Pri sestavljanju teh zemljevidov so bile uporabljene enake metode, kar omogoča primerjavo med zemljevidoma.

Obrisi pokrajin so bili uporabljeni kot enote pri kartiranju. Na obrisih so vidni značilni pojavi določene stopnje izsušenosti, npr. »polpuščava« [5, str. 150].

Kot dodatni indikator stanja vegetacije smo uporabili vegetacijski indeks (NDVI). Vegetacijski indeks NDVI predstavlja normalizirano razliko (diferenco) v intenzivnosti sevanja zemeljskega površja v rdečih in skoraj infrardečih spektrih. Na internetu je dostopnih nekaj podatkov o indeksu NDVI, ki so bili pridobljeni s pomočjo sistema za daljinsko zaznavanje MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) in ki jih objavlja NASA (ZDA). Uporabili smo 16-dnevne zbirke podatkov NDVI MODIS [14, 15, 16, 17], ki so prosto dostopne [8]. Kot podlago za raziskavo smo uporabili podatke z resolucijo 500 metrov (MOD13A1), kar zadostuje za dovolj natančno analizo ozemlja preučevane regije.

Raziskovalne metode

Med preučevanjem smo izvedli posebno analizo s pomočjo programa ArcView GIS 3.2. Površino

preučevalnih enot (pokrajin) smo izračunali s pomočjo modula Mila Utilities 2.0. Pokrajine smo uvrstili v različne razrede povečevanja sušnosti na podlagi njihove klasifikacije na zemljevidih iz leta 1978 in 2011. Sešteli smo površine pokrajin, ki spadajo v isti razred sušnosti, da bi ugotovili splošno površino sušnih območij v letih 1978



Slika 7: Severno makropobočje grebena Chuya, Rusija, regija Altaj-Sajan.

in 2011. Analiza posebne diferenciacije ozemelj pod vplivom dezertifikacije je rezultat primerjave velikosti, obrisov in površin teh območij v letih 1978 in 2011.

Vegetacijski indeks (NDVI) služi kot indikator poraslosti v obdobju med letoma 2000 in 2014. Računske metode, načela in načine uporabe tega indeksa lahko zasledimo v številnih raziskovalnih delih [9, 10, 11, 12, 13 itd.]. Območij z nizkim indeksom NDVI (manj kot 0,3), ki nimajo skoraj nič vegetacije, nismo vključili v analizo. Kot okvirno obdobje za analizo vegetacije smo uporabili obdobje od začetka maja do konca avgusta.

Da bi lahko označili problematična področja, smo primerjali vrednosti indeksa v odnosu do prostora in časa (odstotni deleži medletnih vrednosti, standardni odkloni medletnih podatkov indeksa za to območje itd.). S pomočjo rezultatov analize smo lahko pripravili številne zemljevide.

Rezultati in diskusija

Po predhodnem pregledu treh zemljevidov, ki so bili na voljo, smo upoštevali dva: pokrajinski

zemljevid ozemlja Altaj, 1978 [5], in pokrajinski zemljevid ekoregije Altaj-Sayan (ASE), ki je bil izdan leta 2011. Obrise, ki so odražali stopnjo sušnosti, npr. »polsušen«, smo uporabili kot enote na zemljevidu [5, C.150].

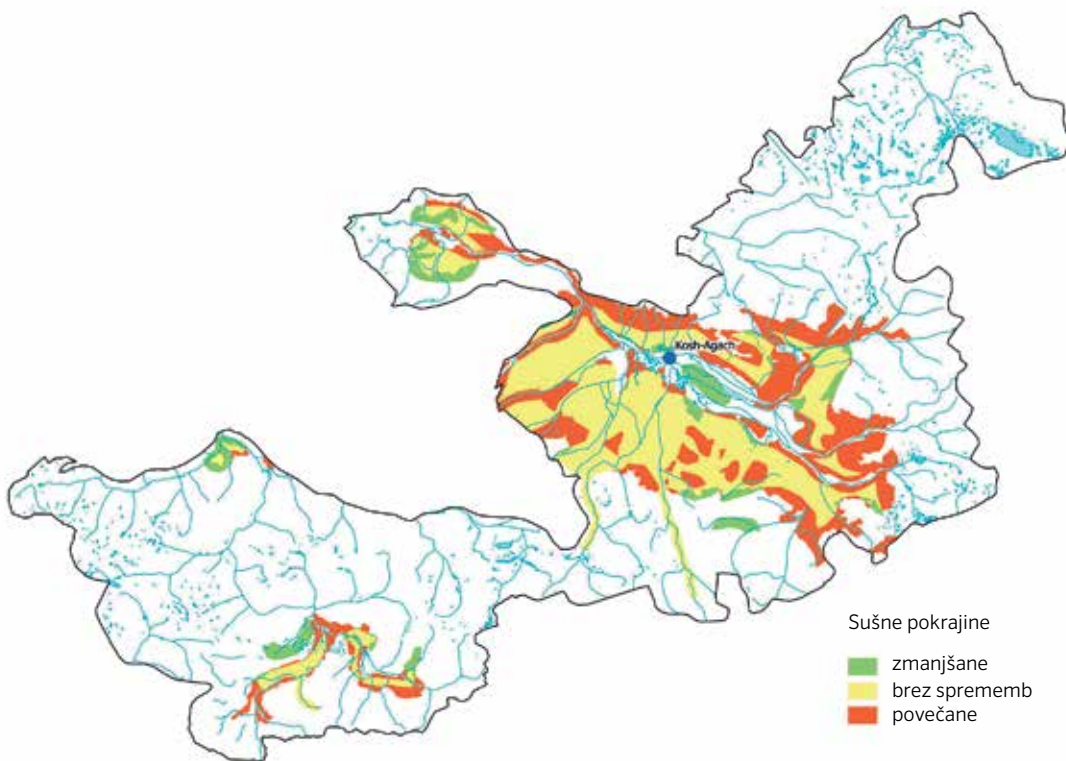
Površina sušnih območij znotraj ekoregije ASE znaša 1.076.258 km². Največ sušnih območij znotraj ASE spada k Mongoliji, nato h Kitajski – 45 %, Kazahstanu – 17 % in Rusiji – 4 % (od celotne površine znotraj ASE).

Opravljen raziskava je pokazala, da so se v obdobju 36 let (1978-2014) sušna območja razširila s 15,5 % na 19,8 % (sl. 8). To pomeni, da letno v povprečju 1.399 km² površine ASE postane del območij, ki jih je prizadela dezertifikacija. Z lahkoto lahko ocenimo, da bo preostalo mongolsko ozemlje, ki tvori del ASE, postalo sušno območje v roku 384 let, če se trenutna tendenca podnebja in gospodarske uporabe ne bo spremenila. Za ozemlje Kazahstana je to obdobje daljše, in sicer 638 let.

Treba je omeniti, da so sušna območja bolj ali manj omejena na **medgorske kotanje (kotline)**. Fiziografske značilnosti gorskih regij določajo visoko stopnjo raznolikosti naravnih procesov, njihovo součinkovanje pa pogosto uravnava stanje naravnega okolja. Na podlagi tega lahko

sklepamo, da se zaradi ohranitve sodobnega geomorfološkega profila proces povečevanja sušnosti omejuje na kotanje in nizke (v primerjavi z gorskim ogrodjem kotanj) vzpetine, ki neposredno obrobajo kotanje in pobočja glavnih grebenov, obrnjenih proti kotanjam. Izsuševanje bo povzročilo največ škode na rastiščih, ki niso opazna na analiziranih zemljevidih, so pa prisotna na različnih nadmorskih višinah.

Tekom raziskave smo prepoznali rastišča, kjer se je režim vlaženja izboljšal, vegetacijska odeja pa se je obnovila. Vendar pa bo treba to tendenco še dodatno



Slika 8: Spremembe površine sušnih pokrajin v jugovzhodnem Altaju med 1978 in 2011.

preveriti. Morda je razlog zanjo zmanjšan človeški vpliv, ki ga opazamo v regiji v zadnjem desetletju v povezavi z gospodarsko krizo s konca devetdesetih.

Preučili smo prostorsko diferenciacijo območij, ki jih je prizadela dezertifikacija, in izračune. Ugotovili smo, da je na tem območju prišlo do splošnega povečanja dezertifikacije in spremembe obrisov (preučevalnih enot). Pomembna značilnost odkritih sprememb je zmanjšanje količine zaplat, kar se kaže v združevanju obrisov raziskovanih parcel. Prepoznana tendenca k bolj neprekinjeni razporeditvi zemljišč, ki jih je prizadela dezertifikacija, spodbuja nelinearnost procesa povečevanja sušnosti.

S to metodo torej pridobimo rezultate, s katerimi lahko ocenimo stanje naravnih rastišč znotraj meja parcel, ki so vidne na pokrajinskih zemljevidih.

Vendar pa moramo zaradi velikosti, značilnosti vzorčnega rastišča in merila zemljevidov uporabiti tudi druge metode, ki omogočajo podrobnejši vpogled v problem povečevanja sušnosti znotraj regije. Z namenom, da bi pridobili izčrpne rezultate za ozemlje jugovzhodnega Altaja, smo uporabili metodo daljinskega zaznavanja. Vegetacijski indeks (NDVI) smo uporabili kot enega od objektivnih indikatorjev. Indeks izračunamo kot normalizirano diferenco (razliko) v intenzivnosti sevanja zemeljskega površja v rdečih in skoraj infrardečih spektrih [6].

Treba je omeniti, da v območjih, kjer vegetacijska odeja ni bogata, indeks NDVI slabo pokaže njeno stanje [6]. Iz tega razloga nismo upoštevali območij, kjer povprečna vrednost indeksa NDVI ni preseгла 0,3 točke. V jugovzhodnem Altaju se skromna vegetacijska odeja razteza preko velikih površin – preko skoraj celotnega območja kotanj Chuisky in Kuraisky. Ti kotanji sta izpostavljeni povečevanju sušnosti v večji meri kot druga območja, poleg tega smo s pomočjo kartografske metode tukaj precej dobro prepoznali značilnosti obnašanja naravnih procesov. Te kraje (z izjemo poplavljenih in namakalnih parcel) smo izključili iz analize in uvrstili v kategorijo »potencialno sušen«. V tem delu raziskave nismo upoštevali ledenikov. Področje, ki smo ga analizirali z uporabo omenjenega indeksa, posledično tvori skoraj 12.800 km² ali 85 % celotne površine regije.

Na podlagi podatkov iz zadnjih 15 let (2000-2014) smo pripravili zemljevid povprečnih vrednosti indeksa NDVI za mesec maj in poletne mesece. Ta zemljevid smo uporabili kot filter



Slika 9: Dinamika povprečnih vrednosti indeksa NDVI v jugovzhodnem Altaju (na območjih s povprečnim letnim indeksom NDVI nad 0,3).

pri ocenjevanju vegetacije v preučevani regiji. Povprečne vrednosti indeksa NDVI v raziskovani regiji so nam pomagale določiti trend v dinamiki indeksa med letoma 2000 in 2014 (sl. 9).

Stalnega trenda sicer nismo odkrili, smo pa zaznali opazno spremenljivost v vedenju indeksa. V različnih letih so nihanja skupnih vrednosti indeksa NDVI dosegla 14,5 %, njihovi standardni odkloni za celotno obdobje pa po izračunih znašajo 5,7 %.

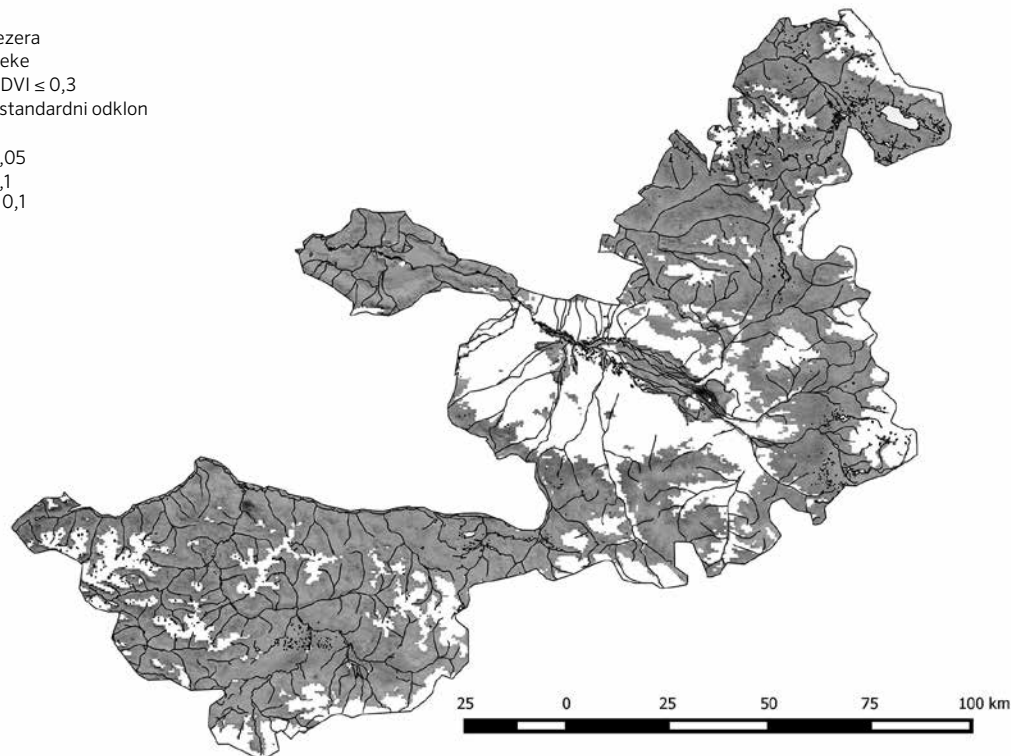
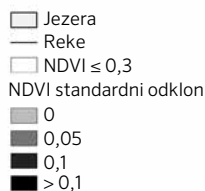
Sodeč po avtorjih to kaže na prevlado naravnega elementa v delovanju naravnih rastišč v jugovzhodnem Altaju. Na tej točki ima človeški vpliv podrejeno vlogo. Pridobljeni rezultati kažejo, da je za delovanje vegetacijske odeje značilna tri ali štiriletna periodičnost (sl. 9).

Splošno gledano so za regijo značilne nizke vrednosti indeksa NDVI (okoli 0,4). To je posledica težkih okoljskih razmer, ki že dolgo prevladujejo na tem območju. Rezultati izračunov in kartiranja ne razkrivajo anomalij v padu količine rastlinske biomase.

Moramo se zavedati, da prepoznane vrednosti podajajo splošen oris sprememb vegetacijske odeje in ne odražajo lokalnih razlik znotraj regije. V primeru majhnih sprememb letne vrednosti skupnega indeksa NDVI se lahko pojavijo bistvene razlike med ločenimi lokacijami v jugovzhodnem Altaju zaradi neravne površine zemeljskih oblik, medtem ko različna ekspozicija pobočij ustvarja različne mikroklimatske pogoje.

Za namene zaznavanja območij, ki so izpostavljena spremembam v večji meri, smo sestavili zemljevid velikosti standardnega

Pridobljeni rezultati kažejo, da je za delovanje vegetacijske odeje značilna tri ali štiriletna periodičnost.



Slika 10: Standardni odkloni indeksa NDVI v obdobju 2000-2014

odklona od vrednosti indeksa za celotni jugovzhodni Altaj (sl. 10).

V tem primeru smo izračunali standardni odklon na podlagi absolutnih vrednosti indeksa, ki se gibljejo med -1 in +1, zaradi česar se vrstni red številčk razlikuje od prejšnjih izračunov, ki so bili opravljeni na podlagi relativnih indikatorjev (odstotni delež glede na indikatorje iz leta 2000). Kljub temu lahko ugotovimo, da so področja z znatnimi letnimi razlikami v indeksu NDVI (več kot 0,1) zanemarljiva in skupaj tvorijo 10 km². Na podlagi raziskave lahko trdimo, da področja z znatnimi letnimi razlikami v indeksu NDVI (več kot 0,1) niso velika in tvorijo manj kot 10 kvadratnih km. Vendar smo definirali kotanje (okoli 3.500 kvadratnih km) kot območja iz kategorije »potencialno sušna območja«. Menimo, da bi morali izdelati sistem za spremljanje in preprečevanje negativnih vplivov povečevanja sušnosti.

Velikost standardnega odklona nam omogoča, da ocenimo stopnjo prisotnih sprememb, vendar ne v vseh primerih. Če vegetacijska odeja iz leta v leto niha drugače in ima geografsko raznolik značaj, morda ne bomo zaznali področij z večjim obsegom neponavljajočih se nihanj, saj pri računanju standardnega odklona uporabljamo povprečje najvišjih vrednosti. Po drugi strani pa izrazite razlike rastlinske biomase privedejo

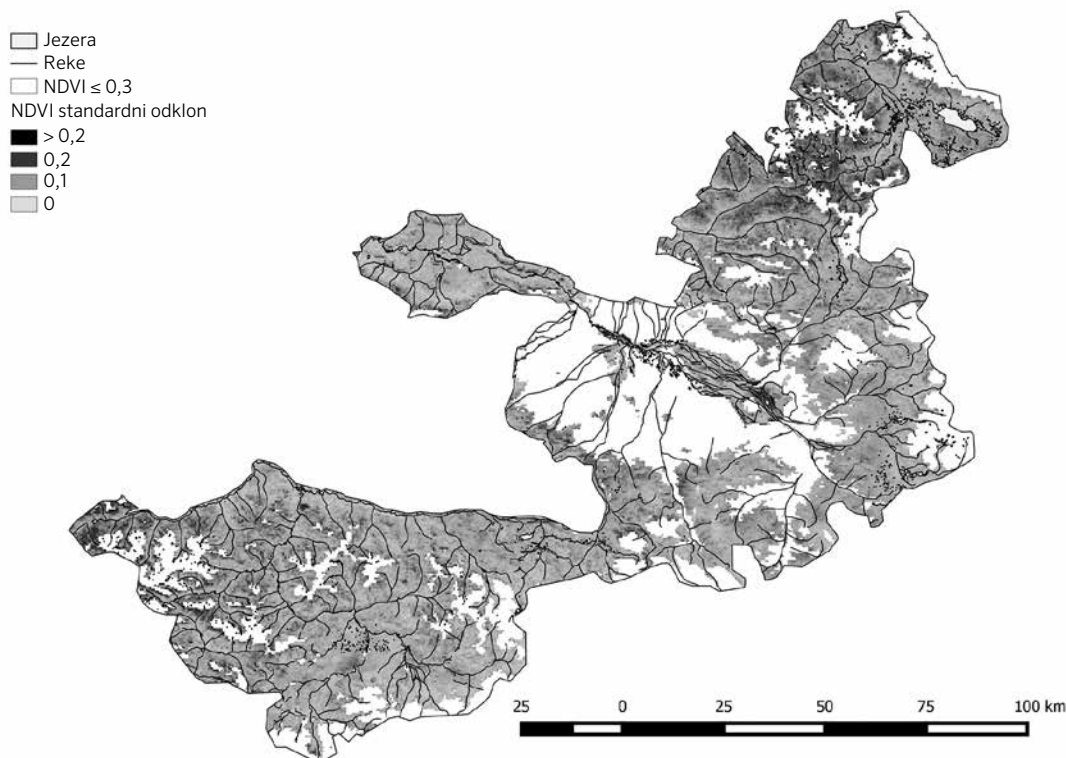
do tveganja zamenjave in spremembe vrstne sestave. Da bi lahko zaznali takšna področja, smo ustvarili zemljevid maksimalne negativne letne spremembe vrednosti indeksa NDVI v preučevanem obdobju (sl. 11).

Do upada vrednosti indeksa NDVI za 0,1 točko in za več kot eno točko v enem letu (v primerjavi s prejšnjim letom) je prišlo vsaj enkrat v obdobju od leta 2000 do 2014 v okviru 32 % območja jugovzhodnega Altaja, pri čemer so enkratna nihanja znotraj 1 % tega območja preseгла 0,2 točke.

Območja, ki so podvržena izrazitim razlikam v vrednostih indeksa, imajo žariščni značaj. Velik del teh območij (arealov) se nahaja v območju z minimalnim antropogenim vplivom, kar nakazuje, da so izrazite spremembe v biomasi vegetacije teh krajev naravnega izvora. Hkrati so velike razlike v indeksu NDVI (tudi v rednih indeksih) značilne za namakalna območja in območja z intenzivno pašo.

Študije procesov povečevanja sušnosti v tujih državah so pokazale, da so dandanes ti procesi intenzivnejši zaradi podnebnih sprememb [18, 19]. Vredno omenbe je, da se ruske znanstvene raziskave podnebnih sprememb izvajajo na zvezni in regionalni ravni, zlasti v regijah, ki so podvržene izsuševanju (Kalmikija) in degradaciji

Ruske znanstvene raziskave podnebnih sprememb se izvajajo na zvezni in regionalni ravni, zlasti v regijah, ki so podvržene izsuševanju (Kalmikija) in degradaciji trajne zmrzali (Sibirija).



Slika 11: Največje negativne letne razlike v indeksu NDVI za obdobje 2000-2014.

trajne zmrzali – permafrosta (Sibirija) [1, 4]. Danes znanstveniki aktivno preučujejo procese povečevanja sušnosti s pomočjo daljinsko zaznanih podatkov v Republiki Tuva [20]. Menimo, da je pomembno, da daljinsko zaznane podatke uporabljamo širše za preučevanje dinamike ekosistemov v gorskih regijah. V tej smeri se bo verjetno razvijala svetovna znanost na področju spremljanja in raziskovanja dinamike procesov izsuševanja v različnih regijah s pomočjo rezultatov daljinskega zaznavanja.

Sklep

Raziskovanje dinamike povečevanja sušnosti gorskih ekosistemov je pomembno z vidika kompleksnosti pridobljenih rezultatov. Omogoča nam, da pridemo do naslednjih zaključkov:

1. Zaradi hortikulturnih vplivov je odziv vegetacije na spremembe v naravi bolj kompleksen. Je dokaz nastajajoče napetosti v ekološkem stanju kmetijsko ranljivih območij.
2. Nihanja celotne rastlinske biomase v regiji v zadnjih petnajstih letih (2000-2014) ne kažejo izrazitega trenda, čeprav so velika. To nakazuje visoko stopnjo odvisnosti tega indikatorja od naravnih in podnebnih

razmer. Tudi dejavnik kmetijstva ni zanemarljiv, a je drugotnega pomena.

3. Skupni trend dinamike povečevanja sušnih območij v jugovzhodnem Altaju v daljšem časovnem obdobju triintridesetih let (1978-2011) je pozitiven. V tem času so se sušna območja povečala za 4,3 odstotke.
4. Trenutno je večina ekosistemov znotraj preučevane regije relativno stabilna. Vendar pa je za nekatere od njih značilna znatna letna sprememba količine rastlinske biomase (nad 0,1 NDVI). Od količine rastlinske biomase so odvisni kvantitativni indikatorji favne in pa trajnostnost ekosistemov. Nenadna spremenljivost obsega in kakovosti rastlinske odeje ustvarja stresne pogoje za obstoj populacije divjih živali in vpliva na stanje kmetij.

Zgoraj opisane razmere pričajo o pomembnosti trajnostne uporabe naravnih virov, kar zajema ne le varstvo flore in favne na posameznih, zlasti posebnih varstvenih območjih, temveč tudi ukrepe za razvoj tistih območij, ki so (naj) bolj ranljiva. V gorskih območjih, kjer je veliko kamnitih pobočij in ledenikov, so kmetije bolj usmerjene v živinorejo. Tam proces povečevanja sušnosti in degradacije zemlje, četudi na manjših površinah, otežuje tako kmetovanje kot trajnostni razvoj regije.



Slika 12: Polsušna medgorska pokrajina na obrobem območju Altaja.

Raziskava je bila izvedena s pomočjo subvencije s strani Ministrstva za izobraževanje Ruske federacije št. 440.

Literatura

1. Blecharczyk T. A., Gerasimchuk, I. V., Gruza G. V., Kameneva I. E., Kokorin A. O., Parfenova E. I., Rankova E. Ya., Semenov V. A., She N. M. climate Change and its impact on ecosystems, population and economy of the Russian portion of the Altai-Sayan Ecoregion: assessment report, ur. A. O. Kokorin; world wildlife Fund (WWF Russia). – M., 2011. – str. 168.
2. Kotlyakov V. M. Glaciology Of Antarctica / Kotlyakov Vladimir Mikhailovich. – M.: Nauka. 2000. – str. 289 – (Selected writings. Book 1).
3. National Snow and Ice Data Center. <http://nsidc.org>.
4. Zolotokryshin A. N. Climatic desertification. Moscow:Nauka. 2003, str. 245.
5. Altai Krai. Atlas. Vol. 1. M. Main office of geodesy and cartography under the Council of Ministers of the USSR. Moscow-Barnaul. 1978. str. 222.
6. Dubinin M. Vegetation indexes / GIS-Lab “Geographic information systems and remote sensing”. 06.09.2006. <http://gis-lab.info/qa/vi.html>.
7. Anisimova V. V., Kocheeva N. A., Mendeshev A. G. The conjugacy time course of adverse weather events on remote stations and at the stations located in the highland basins / news of Altai Republican branch of the Russian geographical society. Issue 3. – Gorno-Altai: RIO Gaga, 2012.
8. Vegetation Indices 16-Day L3 Global 500 m / LAND PROCESSES DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIVE CENTER. https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/mod13a1.
9. John Weier, David Herring. Measuring Vegetation (NDVI & EVI) / NASA Earth Observatory. 30. avgust 2000. http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_1.php. 195-200.
10. Dubinin M. NDVI - theory and practice / GIS-Lab “Geographic information systems and remote sensing”. 27.12.2002. <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html>.
11. Chistyakov K. V., Ganyushkin D. A., Kurochkin Yu. Current status and dynamics of Nival-glacial systems of arrays of Mongun-Taiga and Tavan-

- Bogdo-Ola / Ice and Snow · 2015 · No. 1 (1). Str. 49-60.
12. Deering, D.W. 1978. Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors. Ph.D. Diss. Texas A&M Univ., College Station, 338p.
 13. Deering D.W., J.W. Rouse, Jr., R.H. Haas, and J.A. Schell. 1975. Measuring „forage production“ of grazing units from Landsat MSS data, str. 1169–1178. In Proc. Tenth Int. Symp. on Remote Sensing of Environment. Univ. Michigan, Ann Arbor.
 14. Nouri, H. S. Beecham, S., Anderson, P. Nagler (2014) High Spatial Resolution WorldView-2 Imagery for Mapping NDVI and Its Relationship to Temporal Urban Landscape Evapotranspiration Factors <http://www.mdpi.com/2072-4292/6/1/580>.
 15. V. V. Salomonson, W. L. Barnes, P. W. Maymon et al. MODIS: Advanced facility instrument for studies of the Earth as a system // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1989, letnik 27, str. 145-153.
 16. C. O. Justice, J. R. G. Townshend, E. F. Vermote et al. An overview of MODIS land data processing and product status // Remote Sens. Environ., 2002, letnik 83, str. 3-15.
 17. C. O. Justice, E. Vermote, J. R. G. Townshend et al. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1998, letnik 36, št. 4, str. 1228 – 1249.
 18. Huete, K. Didan, T. Miura et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices // Remote Sens. Environ., 2002, letnik 83, str. 195 – 213.
 19. Kovda F.A. Land aridization and drought control. Boulder, Colo. West view Press; 1980. str. 277.
 20. Remus Pravalie, Igor Sirodov and Daniel Peptenatu. Changes in the forest ecosystems in areas impacted by aridization in south-western Romania. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2014, 12:2
 21. Konovalova T. I, Sherstobitova L. T. Geosystems transformation in Eastern Siberia // Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety, 2014, letnik 8, ISSN 1314-7234 (spletna izdaja), objavljena na: <http://www.scientific-publications.net>.
 22. Plyusnin V. M., Danko L.V. Global Change and Regional Landscape Response and Desertification in Siberia // J. Resour. Ecol. 2011, letnik 2(3), str. 277-279.
 23. Chlachula J., Sukhova M.G. Regional manifestations of present climate change in the Altai, Siberia // 2011 2nd International Conference on Environmental Engineering and Applications. 2011, IPCBEE letnik 17 IACSIT Press, Singapore. str. 134-139.
 24. Anisimova V. V., Gerina A. V., Kocheeva N. A. Adverse weather phenomena in arid territory of the Republic of Altai // Modern scientific research and their practical application, ur. Alexandr G. Shibaev, Alexandra D. Markova. Vol. J21302 (Kupriyenko SV, Odessa, 2013) – URL: <http://www.sworld.com.ua/e-journal/J21302.pdf>.
 25. Ranjeet John, Jiquan Chen, Zu-Tao Ou-Yang, Jingfeng Xiao, Richard Becker, Arindam Samanta, Sangram Ganguly, Wenping Yuan and Ochirbat Batkhisig Vegetation response to extreme climate events on the Mongolian Plateau from 2000 to 2010 // Environ. Res. Lett. 8 (2013) 035033. 2013, IOP Publishing Ltd <http://iopscience.iop.org/1748-9326/8/3/035033>.
 26. V. P. Meleshko, O. A. Anisimov, Yu. A. Anokhin, L. I. Boltneva, E. A. Vaganov, G. V. Gruza, A. S. Zaitsev, A. N. Zolotokrylin, Yu. A. Izrael, G. E. Insarov, I. L. Karol, V. M. Kattsov, N. V. Kobysheva, A. G. Kostianoy, A. N. Krenke, A. V. Mescherskaya, V. M. Mirvis, V. V. Oganessian, A. V. Pchelkin, B. A. Revich, A. I. Reshetnikov, V. A. Semenov, O. D. Sirotenko, P. V. Sporyshev, F. S. Terziev, I. E. Frolov, V. Ch. Khon, A. V. Tsyban, B. G. Sherstyukov, I. A. Shiklomanov, V. V. Yasukevich. Assessment report on climate change and its consequences in Russian Federation. General Summary. Moscow, 2008 - Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet).
 27. Dirin D. A., Brown N. K. Transformation processes in environmental management of the indigenous population of South-Eastern Altai // news ASU . 2013. Št. 3 (79).
 28. Mandych A. F., Yashina T. V., Artemov I. A., Dekenov V. V., Insarov G. E., Ostanin O. V., Rotanova I. N., Sukhova M. G., Kharlamova N. F., Shishikin A. S., Shmakin A. B. Biodiversity Conservation in the Russian Portion of the Altai-Sayan Ecoregion Under Climate Change. Adaptation Strategy. – Krasnoyarsk, 2012. – str. 62.
 29. Zhou, G.S.; Zhang, X.S. Study on NPP of natural vegetation in China under global climate changes. Acta Phytoecol. Sin. 1996, 20, 11-19