



EUROPEAN Geographical Studies

Has been issued since 2014.
E-ISSN 2413-7197
2019. 6(1). Issued once a year

EDITORIAL BOARD

Dr. Rybak Oleg – Scientific Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russian Federation (Editor-in-Chief)

Dr. Elizbarashvili Elizbar – Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia (Deputy Editor-in-Chief)

Dr. Abdrakhmatov Kanat – Institute of seismology NAS, Bishkek, Kyrgyzstan

Dr. Barmin Aleksandr – Astrakhan State University, Astrakhan, Russian Federation

Dr. Basilashvili Tsisana – Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia

Dr. Chincharashvili Iza – Iakob Gogebashvili Telavi State University, Telavi, Georgia

Dr. Deene Shivakumar – Central University of Karnataka, Karnataka, India

Dr. Kalinichenko Valerii – Don State Agrarian University, Persianovsky, Russian Federation

Dr. Rajović Goran – International Network Centre for Fundamental and Applied Research, Russian Federation

Dr. Tikunov Vladimir – Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Journal is indexed by: **CiteFactor** (USA), **CrossRef** (UK), **EBSCOhost Electronic Journals Service** (USA), **Electronic scientific library** (Russia), **Open Academic Journals Index** (USA), **Sherpa Romeo** (Spain), **Universal Impact Factor** (Australia).

All manuscripts are peer reviewed by experts in the respective field. Authors of the manuscripts bear responsibility for their content, credibility and reliability.

Editorial board doesn't expect the manuscripts' authors to always agree with its opinion.

Postal Address: 1367/4, Stara Vajnorska
str., Bratislava – Nove Mesto, Slovak
Republic, 831 04

Release date 15.09.19.
Format 21 × 29,7/4.

Website: <http://ejournal9.com/en/index.html>
E-mail: aphr.sro@gmail.com

Headset Georgia.

Founder and Editor: Academic Publishing
House Researcher s.r.o.

Order № 116.

European Geographical Studies

2019

Is. 1

CONTENTS

Articles and Statements

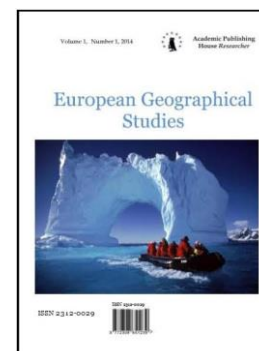
Wind Regime of Imereti Territory N.M. Berdzenishvili	3
The Dependence of Precipitation on Air Temperature During Global Warming in Georgia E.Sh. Elizbarashvili	10
A Comprehensive Assessment of Land Use and Land Cover in Lateritic terrain through Remote Sensing and GIS in West Bengal S. Halder, M. Biswas Roy, P. Kumar Roy	21
Agrarian and Forest Landscapes in Steppe: Prevention of Soil Deflation During Climate Warming E. Paramonov, I. Rybkina, M. Gubarev	39
Catastrophic Precipitation in Georgia E.Sh. Elizbarashvili, M.E. Elizbarashvili, Sh.E. Elizbarashvili, M.G. Pipia, N.Z. Chelidze	60

Copyright © 2019 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
European Geographical Studies
Has been issued since 2014.
E-ISSN: 2413-7197
2019, 6(1): 3-9

DOI: 10.13187/egs.2019.1.3
www.ejournal9.com



Articles and Statements

Wind Regime of Imereti Territory

Nana M. Berdzenishvili ^{a, *}

^a Iakob Gogebashvili Telavi State University, Georgia

Astract

The wind regime of one of the regions of Georgia-Imereti, located in its central part, on the southern winding slope of the Greater Caucasus, is systematized. The repeatability of the prevailing wind directions is established. According to the monthly average data, the repeatability of the winds of the eastern regions reaches 53 %, and the repeatability of the winds of the western regions is 43 %. At night, the frequency of easterly winds increases to 69–70 %, and the frequency of westerly winds is greatest in the afternoon, amounting to 40–50 %.

The highest average annual wind speed is observed in Mta-Sabueti and is 9.2 m/s where the wind speed throughout the year is quite high, amounting to 7.9-10.6 m/s. Increased wind speeds in Kutaisi up to 5 m/s are due to the phenic effect, in other places the average annual wind speed mainly does not exceed 3 m/s.

The range of changes in the average annual number of days with strong winds ranges from 12 (Korbouli) to 162 days (Mta-Sabueti). The maximum number of days with a strong wind was recorded in Mta-Sabueti-222, in Kutaisi the maximum number of days with a strong wind is 124, and in other places it ranges from 40–80 days.

Keywords: Imereti, wind, direction, speed, strong wind, number of days.

1. Введение

Имерети, регион Грузии, расположенный в ее центральной части, на южном извилистом склоне Большого Кавказа. Природные условия Имерети разнообразны. В западной части расположена имеретинская низменность, которая представляет собой окончание восточной части Колхетской низменности, а восточную часть Имерети, занимает Имеретинская возвышенность.

Сложный, в основном изрезанный рельеф Имерети, обуславливает большую контрастность в распределении направления и скорости ветра. Регион характеризуется частой повторяемостью ураганных ветров, при которых скорость достигает 43-49 м/с (Элизбарашвили, 2013; Элизбарашвили, Элизбарашвили, 2012; Varazanashvili et al., 2012.). В формировании ветрового режима региона большую роль играет Чёрное море и рельеф местности. Здесь хорошо развита мусонная, бризовая, горно-долинная циркуляции, отмечаются ледниковые ветры и фен (Элизбарашвили 2007, 2017; Бердзенишвили, 2012 и др.).

* Corresponding author

E-mail addresses: nanaka.berdzenishvili@yahoo.com (N.M. Berdzenishvili)

Ветровой режим Имеретинского региона рассматривался в ряде монографиях совместно с ветровым режимом Грузии или Кавказа в целом (Климат и климатические ресурсы Грузии, 1971; Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе, 1983; Элизбарашвили 2007, 2017 и др.) Данная статья посвящена исследованию ветрового режима конкретно территории Имерети.

2. Материалы и методы

В исследовании использованы материалы Справочников по климату (Справочник по климату СССР, 1968), а также база метеорологических данных Института гидрометеорологии Грузинского технического университета и литературные данные (Berdzenishvili, 2012, 2018). Используются картографические и статистические методы обработки наблюдений.

3. Обсуждение

Направление ветра

Перемещение воздушных масс на территории Имерети, как и на территории Грузии, осуществляется в основном с запада или с востока. Однако рельеф местности и сезонность циркуляционных процессов атмосферы вносят свои коррективы. В холодный период года Сибирский антициклон и установившееся над Черным морем низкое атмосферное давление способствуют развитию в основном восточных процессов и преобладают ветра восточных румбов. Летом же под влиянием Азорского максимума преобладающими являются западные ветры. В среднегодовом разрезе господствующими являются также ветры с западной и восточной составляющими (Таблица 1).

Таблица 1. Повторяемость различных направлений ветров за год (%)

Пункты	Высота, м	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Сачхере	415	3	3	19	12	4	18	38	4
Хони	114	1	8	35	8	2	23	21	2
Цкалтубо	121	2	18	26	4	1	11	36	2
Ткибули	535	7	53	10	1	4	21	3	1
Кутаиси	114	1	3	53	2	1	3	35	2
Самтредиа	25	1	1	48	3	2	7	36	2
Сакара	148	0	2	45	10	2	2	38	1
Корбоули	798	0	2	51	5	0	3	39	0
Дими	200	2	7	25	14	10	2	29	5
Вани	46	2	2	36	9	2	3	39	7
Мта-Сабуети	1242	0	14	38	1	0	2	43	2
Ципа	673	12	50	6	0	1	23	8	0
Харагаули	280	1	1	3	59	4	1	5	26

Согласно Таблице 1, повторяемость ветров восточных румбов достигает 53 % (Кутаиси), а повторяемость ветров западных румбов составляет 43 % (Мта-Сабуети). Редко отмечаются ветры с северной и южной составляющими.

На Рисунке 1 представлены повторяемости различных направлений ветров за год в различные часы суток. Из Рисунка 1 следует, что повторяемость направлений ветров для всех пунктов за все сроки наблюдений также наибольшая для ветров восточных и западных румбов. В Кутаиси в ночные часы повторяемость восточных ветров достигает 69–70 % (серии 1 и 2), а повторяемость западных ветров наибольшая во второй половине дня, составляя 40–50 % (серия 4). В горах (Мта-Сабуети) также преобладают западные и восточные направления ветров, однако в ночные часы несколько возрастает повторяемость западных ветров.

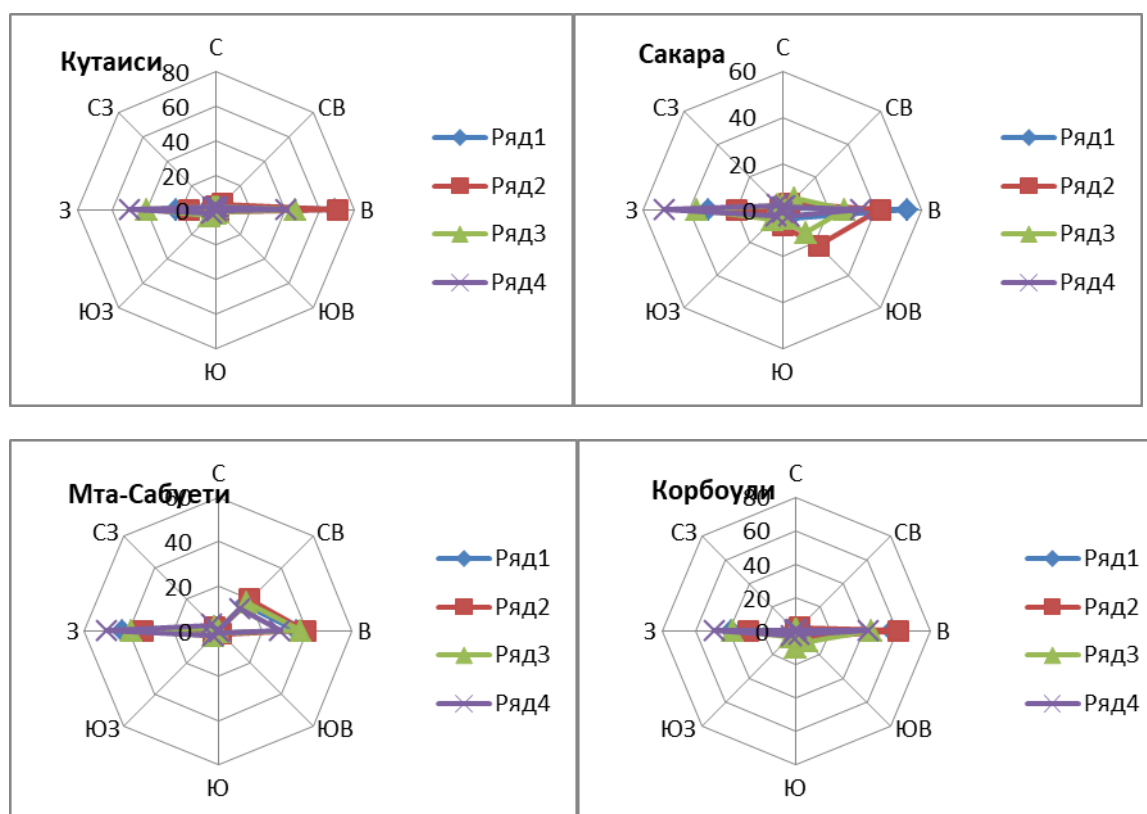


Рис. 1. Роза повторяемости различных направлений ветров за год в различные часы суток (%). Сроки наблюдений, серии: 1) – 1 час, 2) – 7 час, 3) – 13 час, 4) – 19 час

Скорость ветра

В Таблице 2 представлены средняя месячные и годовые скорости ветра в некоторых пунктах, расположенных в различных физико-географических условиях Имерети.

Таблица 2. Средняя месячная и годовая скорость ветра (м/с)

Пункты	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Сачхере	1.1	1.4	2.1	2.6	2.2	2.3	2.3	2.0	1.8	1.3	1.3	0.9	1.8
Хони	2.3	2.4	2.6	2.6	2.0	1.6	1.4	1.5	1.4	1.8	2.7	2.5	2.1
Цхалтубо	1.6	1.6	1.9	2.2	1.6	1.4	1.3	1.4	1.1	1.2	1.8	1.6	1.6
Кутаиси	5.6	5.6	5.9	5.7	4.6	3.7	3.0	3.4	3.6	4.8	7.2	6.7	5.0
Самтредиа	3.2	3.4	3.6	3.4	2.8	2.3	1.8	1.8	1.8	2.3	3.6	3.6	2.8
Мта-Сабуети	8.8	9.2	9.6	10.0	8.9	8.3	7.9	8.8	9.4	9.7	10.6	9.1	9.2
Ципа	4.0	3.9	4.2	4.2	3.7	3.2	3.0	3.3	3.6	3.7	4.8	4.2	3.8

Из Таблицы 2 следует, что наибольшая годовая скорость ветра отмечается в среднегорной зоне, на станции Мта-Сабуети и составляет 9.2 м/с. Здесь скорость ветра в течение всего года довольно высокая, составляя 7.9-10.6 м/с. Максимальная скорость ветра отмечается в ноябре, а минимальная – в июле. В низменных районах территории наибольшие скорости ветра отмечаются зимой и весной, минимальные – в основном летом (Кутаиси, Цхалтубо, Хони). Повышенные скорости ветра в Кутаиси обусловлены фоновым эффектом, число дней с фоновыми ветрами в Кутаиси достигает 120.

В суточном ходе скорость ветра наибольших значений достигает в 13 час, а наименьших значений – в основном в 1 час ночи.

Выше рассмотрены средние месячные и годовые значения скорости ветра. В действительности же скорость ветра изменяется в широком диапазоне, об этом свидетельствуют данные [Таблицы 3](#).

Таблица 3. Максимальная скорость ветра возможная за различные периоды времени

Пункт	Скорость ветра м/с				
	1 год	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет
Сачхере	21	31	33	35	36
Хони	32	40	44	46	48
Кутаиси	47	57	61	64	66
Самтрედია	32	40	43	44	45
Мта-Сабуети	41	47	49	50	51
Ципа	32	38	41	43	45

Из [Таблицы 2](#) следует, что за различные периоды времени скорость ветра может существенно изменяться. Наибольшая скорость ветра ежегодно превышает 20 м/с, за 5-летний период скорость может превышать 30 м/с и т.д., а за 20 – летний период по данным наблюдений станции Кутаиси скорость ветра может достичь величины 70 м/с.

Число дней с сильным ветром

Сильным считается ветер, когда ее скорость достигает или превышает 15 м/с. Такие ветры относятся к опасным явлениям погоды. Они наносят большой ущерб экономике и населению: повреждают линии связи и электропередачи, нарушают работу транспорта, вызывают волнение в море и на водохранилищах, пыльные бури, перенос снега, эрозию почв и другие неблагоприятные явления.

В [Таблице 4](#) представлены среднее месячное и годовое число дней с сильным ветром.

Таблица 4. Среднее число дней с сильным ветром м/с

Пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Сачхере	0.9	0.8	2.8	3.3	1.9	1.3	1.1	1.6	1.2	1.1	9.7	9.6	17
Цхалтубо	0.8	1.3	1.7	1.8	1.1	0.5	0.2	0.6	0.8	0.7	2.4	1.5	13
Ткибули	2.6	2.2	3.2	2.9	1.9	0.1	1.4	2.5	2.8	2.6	3.3	2.8	28
Кутаиси	7.5	6.9	8.5	8.1	7.1	4.2	2.7	4.3	5.4	7.2	9.6	9.6	81
Корбоули	0.6	0.6	1.8	1.2	0.7	0.2	0.4	1.0	1.4	1.3	1.9	1.4	12
Самтрედია	2.9	2.8	2.9	2.7	1.8	1.0	9.5	0.8	0.9	1.7	3.0	3.0	24
Сакара	2.7	3.1	4.8	4.6	3.5	2.5	1.8	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	34
Вани	3.2	3.4	4.2	3.0	2.0	1.4	0.8	2.0	2.1	2.2	4.3	4.2	33
Мта- Сабуети	13.3	14.0	15.0	15.0	13.6	10.0	10.0	13.0	14.0	14.6	15.7	12.45	162
Харагаули	1.8	2.5	3.7	2.5	1.0	0.4	0.5	1.0	1.9	2.8	3.8	2.6	24

Как видно из [Таблицы 4](#) диапазон территориального изменения числа дней с сильным ветром колеблется в пределах 12 (Корбоули) до 162 дней (Мта- Сабуети). В Кутаиси число дней с сильным ветром составляет 81 дней, а в остальных пунктах число дней с сильным

ветром существенно уменьшается составляя 20–30 дней за год. Более подробно о пространственном распределении годового числа дней с сильным ветром на территории Имерети можно судить из карты, представленной на [рисунке 2](#).

Максимальное число дней с сильным ветром зафиксировано в Мта-Сабуети-222, в Кутаиси максимальное число дней с сильным ветром составляет 124, а в остальных пунктах колеблется в пределах 40–80 дней.

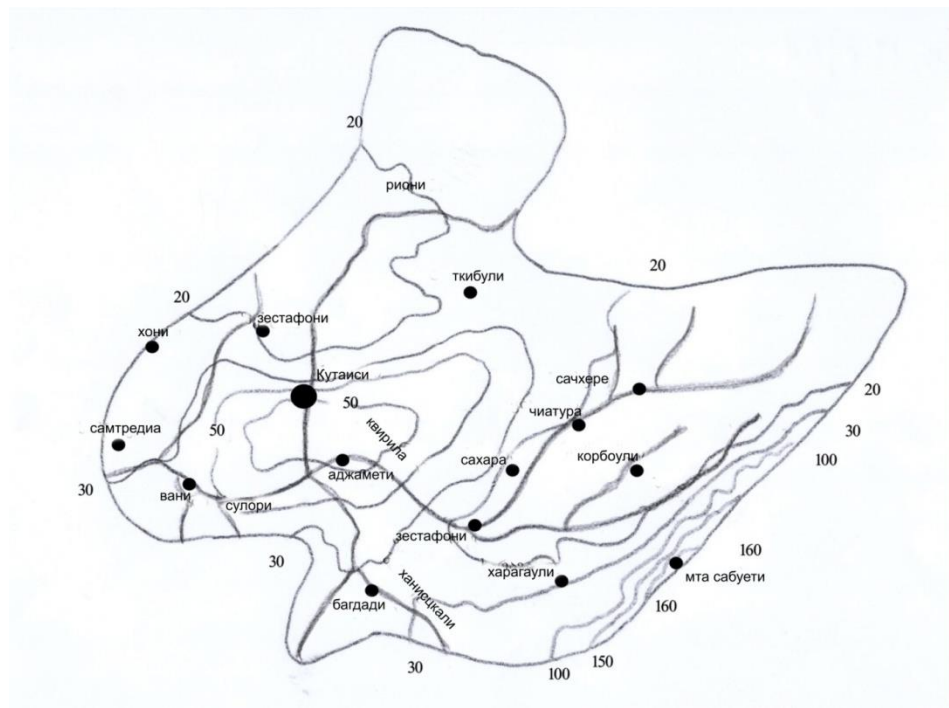


Рис. 2. Число дней с сильным ветром 15 м /сек

4. Заключение

1. Господствующими являются ветры с западной и восточной составляющими. По среднемесячным данным повторяемость ветров восточных румбов достигает 53 %, а повторяемость ветров западных румбов составляет 43 %. В ночные часы повторяемость восточных ветров увеличивается до 69–70 %, а повторяемость западных ветров наибольшая во второй половине дня, составляя 40–50 %.

2. Наибольшая средняя годовая скорость ветра отмечается в Мта-Сабуети и составляет 9.2 м/с где скорость ветра в течении всего года довольно высокая, составляя 7.9-10.6 м/с. Повышенные скорости ветра в Кутаиси до 5м/с обусловлены фоновым эффектом, в остальных пунктах средняя годовая скорость ветра главным образом не превышает 3 м/с.

3. Диапазон изменения среднегодового числа дней с сильным ветром колеблется в пределах 12 (Корбоули) до 162 дней (Мта-Сабуети). Максимальное число дней с сильным ветром зафиксировано в Мта-Сабуети-222, в Кутаиси максимальное число дней с сильным ветром составляет 124, а в остальных пунктах колеблется в пределах 40–80 дней.

В заключении отметим, что полученные результаты могут быть использованы при планировании и проектировании гражданских и промышленных сооружений, линий связи, электропередач и трубопроводов, а также в сельском хозяйстве.

Литература

[Бердзенишвили, 2012](#) – Бердзенишвили Н.М. Климатические ресурсы Имеретинского региона, 2012.

[Климат и климатические ресурсы..., 1971](#) – Климат и климатические ресурсы Грузии. Тр. ЗакНИГМИ, вып. 44 (50), Л., 1971.

[Опасные гидрометеорологические явления..., 1983](#) – Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1983.

[Справочник по климату СССР, 1968](#) – Справочник по климату СССР, вып14, часть.4, Ленинград, 1968, 385 с.

[Элизбарашвили, 2007](#) – *Элизбарашвили Э.* Климатические ресурсы Грузии. Институт гидрометеорологии, Тбилиси, 2007.

[Элизбарашвили, 2017](#) – *Элизбарашвили Э.* Климат Грузии. Институт гидрометеорологии, Тбилиси, 2017.

[Элизбарашвили и др., 2013](#) – *Элизбарашвили Э.Ш., Варазанашвили О.Ш., Церетели Н.С., Элизбарашвили М.Э.* Ураганные ветры на территории Грузии. Метеорология и гидрология, №3, 2013, с. 43-46.

[Элизбарашвили, Элизбарашвили, 2012](#) – *Элизбарашвили Э.Ш., Элизбарашвили М.Э.* Стихийные метеорологические явления на территории Грузии. Зеон. Тбилиси, 2012, 104 с.

[Berdzenishvili, 2012](#) – *Berdzenishvili N.* Anthropogenization in Georgia. *European Researcher*, 2012, Vol.37(12).

[Berdzenishvili, 2018](#) – *Berdzenishvili N.* Global warming impact on ecosystems. Telavi, 2018.

[Varazanashvili et al., 2012](#) – *Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia S., Arevadze N., Gventcadze A.* Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. *Natural Hazards Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*. Vol. 64. 2012, 2021-2056.

References

[Berdzenishvili, 2012](#) – *Berdzenishvili N.* (2012). Anthropogenization in Georgia. *European Researcher*, Vol. 37(12).

[Berdzenishvili, 2012](#) – *Berdzenishvili N.M.* (2012). Klimaticheskie resursy Imeretinskogo regiona [Climatic resources of the Imereti region]. [in Russian]

[Berdzenishvili, 2018](#) – *Berdzenishvili N.* (2018). Global warming impact on ecosystems. Telavi.

[Elizbarashvili i dr., 2013](#) – *Elizbarashvili E.Sh., Varazanashvili O.Sh., Tsereteli N.S., Elizbarashvili M.E.* (2013). Uragnnye vetry na territorii Gruzii [Hurricane winds in Georgia]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 3: 43-46. [in Russian]

[Elizbarashvili, 2007](#) – *Elizbarashvili E.* (2007). Klimaticheskie resursy Gruzii [Climatic resources of Georgia]. Institut gidrometeorologii, Tbilisi. [in Russian]

[Elizbarashvili, 2017](#) – *Elizbarashvili E.* (2017). Klimat Gruzii [Climate of Georgia]. Institut gidrometeorologii, Tbilisi. [in Russian]

[Elizbarashvili, Elizbarashvili, 2012](#) – *Elizbarashvili E.Sh., Elizbarashvili M.E.* (2012). Stikhiinye meteorologicheskie yavleniya na territorii Gruzii [Natural weather phenomena in Georgia]. Zeon. Tbilisi, 104 p. [in Russian]

[Klimat i klimaticheskie resursy..., 1971](#) – *Klimat i klimaticheskie resursy Gruzii* [Climate and Climate Resources of Georgia]. *Tr. ZakNIGMI*, Vyp. 44 (50), L., 1971. [in Russian]

[Opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya..., 1983](#) – *Opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya na Kavkaze* [Dangerous hydrometeorological phenomena in the Caucasus]. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1983. [in Russian]

[Spravochnik po klimatu SSSR, 1968](#) – *Spravochnik po klimatu SSSR* [Handbook of the USSR Climate]. Vyp14, chast'.4, Ленинград, 1968, 385 p. [in Russian]

[Varazanashvili et al., 2012](#) – *Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia S., Arevadze N., Gventcadze A.* (2012). Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. *Natural Hazards Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, Vol. 64: 2021-2056.

Ветровой режим территории Имерети

Нана М. Бердзенишвили ^{а, *}

^аТелавский государственный университет имени Якоба Гогешаши, Телави, Грузия

Аннотация. Систематизирован ветровой режим одного из регионов Грузии-Имерети, расположенной в ее центральной части, на южном извилистом склоне Большого Кавказа. Установлены повторяемости господствующих направлений ветра. По среднемесячным данным повторяемость ветров восточных румбов достигает 53 %, а повторяемость ветров западных румбов составляет 43 %. В ночные часы повторяемость восточных ветров увеличивается до 69–70 %, а повторяемость западных ветров наибольшая во второй половине дня, составляя 40–50 %.

Наибольшая средняя годовая скорость ветра отмечается в Мта-Сабуети и составляет 9.2 м/с где скорость ветра в течение всего года довольно высокая, составляя 7.9–10.6 м/с. Повышенные скорости ветра в Кутаиси до 5м/с обусловлены фоновым эффектом, в остальных пунктах средняя годовая скорость ветра главным образом не превышает 3 м/с.

Диапазон изменения среднегодового числа дней с сильным ветром колеблется в пределах 12 (Корбоули) до 162 дней (Мта-Сабуети). Максимальное число дней с сильным ветром зафиксировано в Мта-Сабуети-222, в Кутаиси максимальное число дней с сильным ветром составляет 124, а в остальных пунктах колеблется в пределах 40–80 дней.

Ключевые слова: Имерети, ветер, направление, скорость, сильный ветер, число дней.

* Корреспондирующий автор

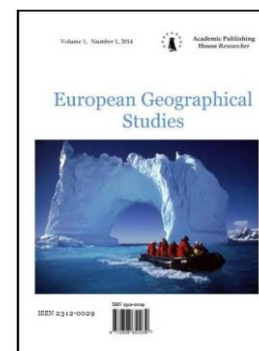
Адреса электронной почты: nanaka.berdzenishvili@yahoo.com (Н.М. Бердзенишвили)

Copyright © 2019 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
European Geographical Studies
Has been issued since 2014.
E-ISSN: 2413-7197
2019, 6(1): 10-20

DOI: 10.13187/egs.2019.1.10
www.ejournal9.com



The Dependence of Precipitation on Air Temperature During Global Warming in Georgia

Elizbar Sh. Elizbarashvili ^{a, b, *}

^a Georgian Technical University, Institute of Hydrometeorology, Georgia

^b Iakob Gogebashvili Telavi State University, Georgia

Abstract

Based on the observations of 60 meteorological stations of Georgia for the period 1936-2015, the effect of air temperature on the pattern of changes in precipitation during global warming was investigated. The regression equations for calculating the characteristics of precipitation depending on the characteristics of temperature were obtained. In the long-term series of temperature and precipitation, oscillations of opposite cyclical nature with the duration of the Brickner cycle were revealed.

The correlation between the amount of precipitation and temperature is mainly negative and significant with a confidence of 0.99 or 0.95, with the exception of July, when these characteristics are uncorrelated in Western Georgia.

The interrelation of the rates of change in temperature and precipitation under global warming is also negative and well manifested in all seasons of the year and in terms of a year, but in the cold period of the year a positive relationship prevails.

Keywords: temperature, precipitation, correlation coefficient, coefficient of determination, significance.

1. Введение

Исследуя корреляционные связи между колебаниями температуры и осадков в Западной Европе, Брикнер выдвинул положение о противоположности хода между этими элементами ([Bruckner, 1890](#)). Позднее отрицательная связь между температурой и осадками для европейской территории России была обнаружена О.А. Дроздовым, в то же время им было показано, что положение Брикнера подтверждается лишь для теплого периода года, в то время как в холодный период года наблюдается прямая связь ([Дроздов, 1983](#); [Дроздов, Григорьева, 1971](#)).

Установление связей между температурой и осадками приобретает особое значение в условиях глобального потепления. Еще А.И. Воейков отмечал, что потепление приводит к уменьшению количества осадков на значительной части территории континентов ([Воейков, 1884](#)). Уменьшение осадков с ростом температуры объясняется изменениями меридионального градиента температуры, который оказывает влияние на характер атмосферной циркуляции. В самых общих чертах уменьшение меридионального градиента температуры приводит к уменьшению потоков водяного пара, поступающего с океанов

* Corresponding author

E-mail addresses: elizbar@hotmail.com (E.Sh. Elizbarashvili)

вглубь умеренных широт континентов, и уменьшению количества осадков на значительной части внутриконтинентальных районов, и наоборот (Будыко, 1974).

В настоящее время установлено, что при глобальном потеплении в высоких широтах отмечается рост количества осадков, в особенности холодного периода года, а в низких широтах – уменьшение осадков (IPCC Climate change, 1990; 1996; 2007; Vinnikov, 1990; Trenberth, 2011; Dai, Qian, Trenberth, Milliman, 2009). Граница раздела проходит примерно на широте 55° северной широты. Таким образом, Грузия, расположенная в субтропических широтах, южнее указанной границы, находится в зоне уменьшения количества осадков (Рисунок 1).



Рис. 1. Местоположение Грузии на Земном Шаре

Однако, выполненные нами исследования (Элизбарашвили и др., 2013а; Элизбарашвили и др., 2013б; Elizbarashvili et al, 2012а; Elizbarashvili et al, 2012b и др.) показали, что благодаря чрезвычайно разнообразной природе Грузии, что обусловлено её расположением на границе Азии с Восточной Европой, контрастным рельефом и разнообразными ландшафтами с множеством различных типов климата, этот тезис не всегда оправдывается. Аналогичная картина отмечается и в других регионах Земного Шара. Зависимость изменения атмосферных осадков от температуры определяется множеством факторов, в том числе, главным образом от географических условий и, характерных для этих условий, циркуляционных процессов атмосферы (Nicholson, 1995; Allan, Haylock, 1993; Hansson-Bauer, Forland, 1994; Smith, 1995).

Таким образом, установление знака и степени связи количества атмосферных осадков от температуры воздуха при глобальном потеплении является актуальной задачей. В глобальном масштабе такая задача была рассмотрена ранее (Dai et al., 2009).

Целью настоящей статьи является количественная оценка влияния температуры воздуха на характер изменения атмосферных осадков при глобальном потеплении с учетом годового хода и физико-географических особенностей территории Грузии.

2. Материалы и методы исследования

В качестве исходных данных использованы материалы наблюдений около 60 метеорологических станций Грузии за период 1936–2015 годы.

Использованы, апробированные в климатологии статистические методы и методы корреляционного анализа. Значимость коэффициента корреляции проверялся путем сравнения абсолютной величины коэффициента корреляции с его критическими значениями для различных значений надежности вывода p . Если величина коэффициента корреляции превышала ее критическое значение при некотором уровне p , то с надежностью вывода p отвергалась гипотеза о некоррелированности рассматриваемых величин и взаимосвязь между ними считалась надежной (Румшиский, 1971).

3. Обсуждение

Многолетний ход температуры и осадков

Несмотря на текущие процессы глобального потепления, в отдельных районах Грузии температура воздуха даже понижается, а количество осадков возрастает. Сказанное подтверждается [Рисунком 2](#), где представлен многолетний ход температуры и осадков и соответствующие уравнения регрессии для 4-х пунктов, расположенных в различных физико-географических условиях Грузии: Тбилиси, расположенный на высоте 404м в условиях степного континентального климата Восточной Грузии, Дедоплис Цкаро, расположенный в степном континентальном климате Восточной Грузии (800м), Поти, расположенный на побережье Черного моря, и Кеда, расположенный в Абхазии, в 40 км от Черноморского побережья (256 м).

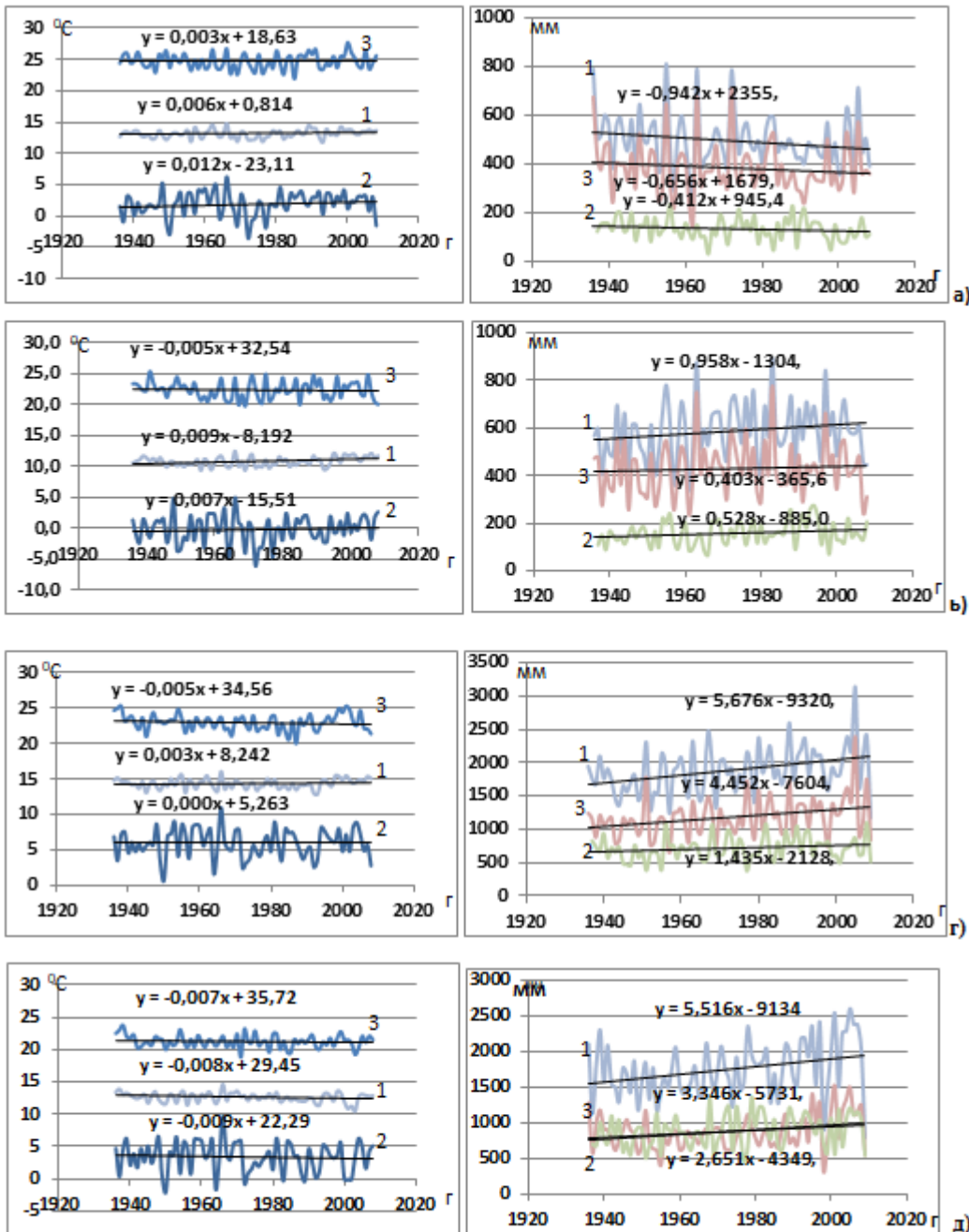


Рис. 2. Многолетний ход температуры воздуха (1 – год, 2 – январь, 3 – июль) и атмосферных осадков (1 – год, 2 – холодный период, 3 – теплый период) и соответствующие уравнения регрессии: а) Тбилиси, б) Дедоплис Цкаро, г) Поти, д) Кеда

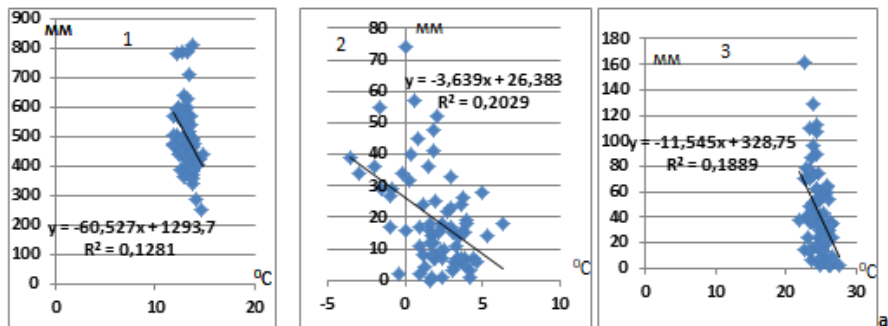
Как следует из [Рисунка 2](#) в Кеда, расположенном в Аджарии, в 40 км от Черноморского побережья, средняя годовая температура воздуха уменьшается со значительной скоростью (0.08° за декаду), а годовая сумма осадков возрастает со скоростью 55 мм за декаду, с надежностью вывода 0.95. В Поти, на побережье Черного моря, при незначительном потеплении (0.03 за декаду) годовое количество осадков также существенно возрастает (57 мм за декаду), это изменение статистически значимо на уровне надежности 0.99. Если причиной увеличения осадков в указанных пунктах может быть увеличение потоков водяного пара, поступающего с Черного моря, то трудно объяснить возрастание осадков, правда с меньшей скоростью, на уровне надежности 0.90, на континентальной станции Дедоплис Цкаро, где отмечается значительное потепление (0.09 за декаду).

Из [Рисунка 2](#) следует также, что на этих 3-х станциях (Дедоплис Цкаро, Поти, Кеда) в условиях глобального потепления уменьшается средняя июльская температура, а суммы осадков холодного и теплого периодов года также увеличиваются. Увеличение осадков холодного периода года в Дедоплис Цкаро статистически незначимо. Тбилиси является единственным пунктом, где при возрастании годовой и месячных температур, отмечается тенденция уменьшения годовых и сезонных сумм осадков. Уменьшение годовых сумм осадков и осадков теплого периода в Тбилиси статистически значимы на уровне надежности 0.90, а уменьшение сумм осадков холодного периода года статистически незначимо.

Таким образом, зависимость многолетнего хода осадков от многолетнего хода температуры в различных физико-географических условиях Грузии имеет различный характер. Возрастание количества осадков может наблюдаться как на фоне уменьшения температуры, также на фоне ее увеличения. В большинстве случаев же количество осадков уменьшается.

Корреляционные связи между температурой и количеством осадков

Несмотря на различный характер многолетнего изменения температуры и осадков в различных физико-географических условиях Грузии, корреляционная связь осадков от температуры в основном отрицательная ([Рисунок 3](#)).



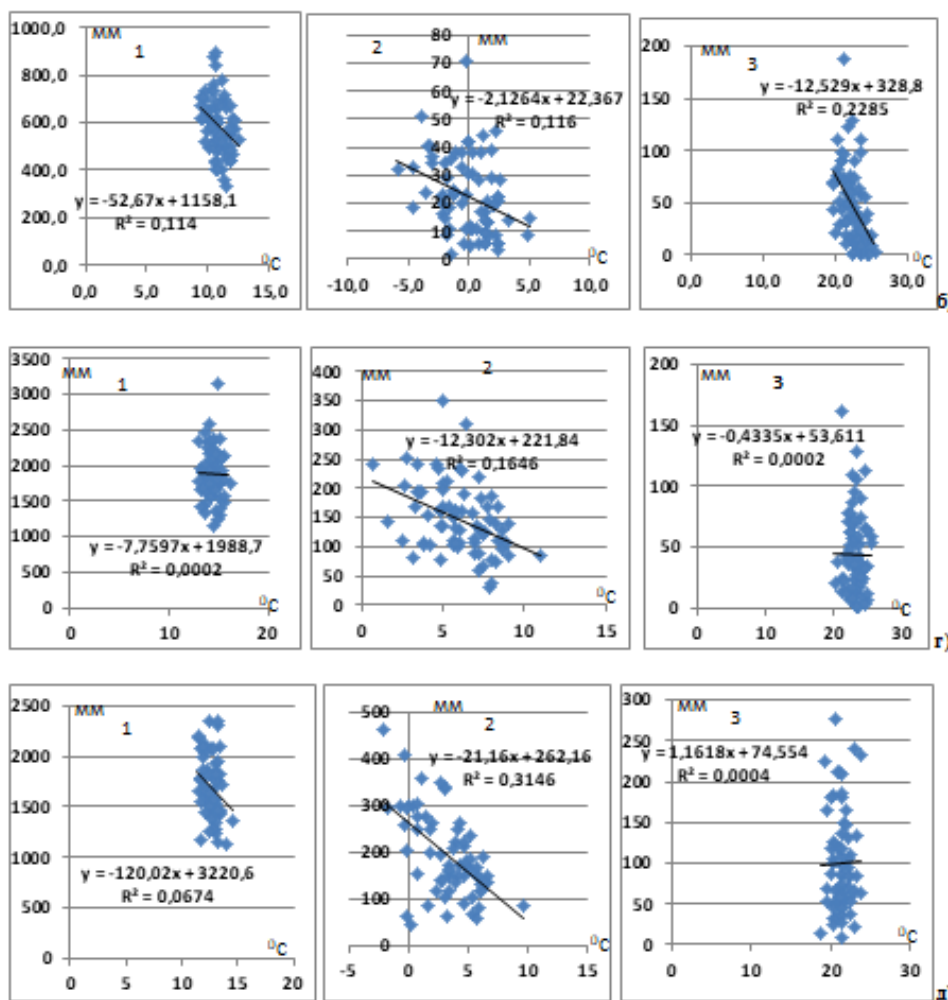


Рис. 3. Зависимость количества атмосферных осадков от температуры воздуха, соответствующие уравнения регрессии и коэффициенты детерминации (R^2): а) Тбилиси, б) Дедоплис Цкаро, г) Поти, д) Кеда. 1 – год, 2 – январь, 3 – июль.

Несмотря на слабую корреляцию и значительный разброс точек, по значениям коэффициента детерминации можно судить о вкладе температуры воздуха в суммарном количестве осадков. Например, в январе холодные воздушные массы, перемещающиеся на территории Грузии с запада, с Черного моря, являясь влагонесущими, приносят значительное количество осадков в основном в Западной Грузии. Судя по коэффициентам детерминации вклад температуры в формировании январских осадков составляет в Кеда – 31 %, а в Поти – 16 %. Перемещаясь в Восточной Грузии воздушные массы теряют влагу и количество осадков уменьшается, что и является причиной некоторого уменьшения коэффициента детерминации (Тбилиси, Дедоплис Цкаро) и соответственно уменьшения роли температуры воздуха (12–20 %). Эти оценки значимы с надежностью вывода 0.99.

В июле влияние температуры на формирование осадков в Западной Грузии ослабляется, коэффициенты детерминации равны нулю. В континентальном же климате Восточной Грузии, где сильно развиты конвективные процессы, часто выпадают ливневые осадки, что вызывает уменьшение температуры. В результате коэффициент детерминации возрастает (0.19–0.23). Таким образом, взаимосвязь между температурой воздуха и количеством осадков в июле в Восточной Грузии также является значимой с надежностью вывода 0.99, в то время, как эти характеристики в Западной Грузии не коррелируемы.

Роль среднегодовых температур в формировании годового количества осадков в Восточной Грузии значительнее (11–13 %), чем в Западной Грузии (до 7 %). Связь годовых сумм осадков со среднегодовой температурой в Восточной Грузии значима также с

надежностью вывода 0.99. На станциях же Западной Грузии или не значима, или значима с надежностью вывода 0.95.

Зависимость скорости изменения осадков от скорости изменения температуры в условиях глобального потепления

На **Рисунке 4** представлены зависимости скорости изменения осадков от скорости изменения температуры для различных интервалов временного осреднения по данным метеорологических станций за период 1936–2015 годы, а также соответствующие уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.

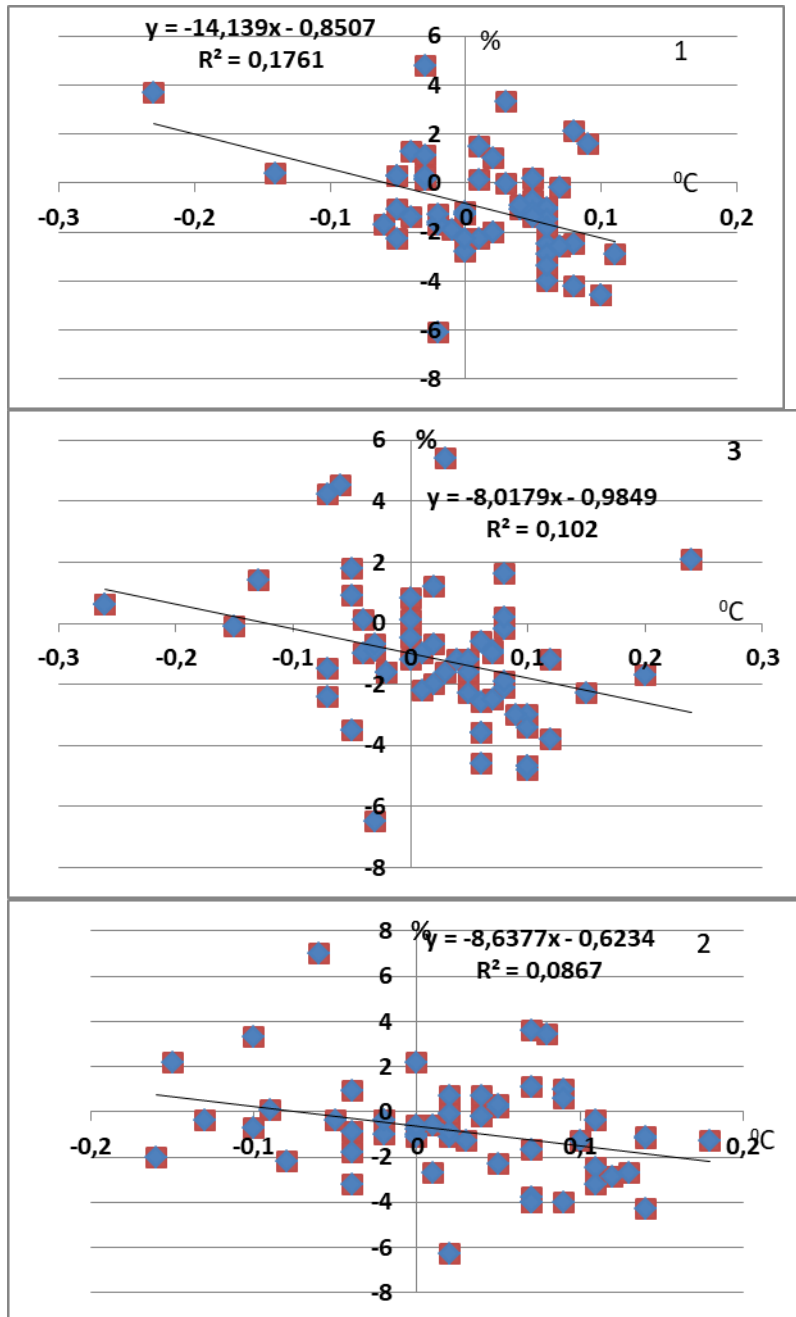


Рис. 4. Зависимость скорости изменения осадков (% за декаду) от скорости изменения температуры (°C за декаду) по данным метеостанций, соответствующие уравнения регрессии и коэффициенты детерминации (R^2): 1 – год, 2 – холодный период, 3 – теплый период

Из [Рисунка 4](#) следует, что несмотря на некоторый разброс точек, взаимосвязь в изменении скоростей температуры и осадков в условиях глобального потепления в основном отрицательна и хорошо проявляется в теплый период года и в целом за год. Результаты оценки показали, что скорость изменения годовой суммы осадков и осадков теплого периода года с надежностью вывода 0.99 зависит от скорости изменения температуры за соответствующие интервалы осреднения. Для холодного периода года взаимосвязь скоростей изменения температуры и осадков значима с надежностью вывода 0.95.

Из [Рисунка 4](#) следует также, что в среднем за год на 40 метеостанциях из 58, что составляет около 69 %, преобладает отрицательная связь между скоростями изменения температуры и осадков. В большинстве из них при повышении температуры осадки уменьшаются (30 станций). Это главным образом метеостанции, расположенные в переходной от субтропического к умеренному климатической зоне (26 станций), исключением являются некоторые станции влажной субтропической климатической зоны (Бахмаро, Корбоули, Кутаиси, Квезани). По данным 8 метеорологических станций (14 %) с увеличением температуры осадки также увеличиваются. В этой группе имеются в одинаковом количестве станции, расположенные во влажной субтропической зоне, также в переходной от субтропического к умеренному климатической зоне, в том числе в сухой континентальной подзоне. На остальных 20 станциях температура воздуха уменьшается, на 10 из них (17 %) осадки возрастают. Все они расположены во влажной субтропической климатической зоне. На остальных 10 станциях с уменьшением температуры осадки также уменьшаются. В эту группу поровну входят станции из обеих климатических зон, в особенности из сухой климатической подзоны.

Аналогичная ситуация отмечается в теплый период года. В холодный период года по данным большинства станций преобладает положительная связь.

Таким образом, характер изменения температуры и осадков на метеорологических станциях Грузии находится в тесной связи с типом климата. В переходной от субтропического к умеренному климатической зоне при повышении температуры осадки главным образом уменьшаются, хотя в редких случаях, в особенности в сухой континентальной подзоне, отмечается увеличение осадков. Во влажной субтропической климатической зоне температура воздуха по данным большинства станций уменьшается, а осадки преимущественно возрастают.

Циклические колебания температуры и осадков

В предыдущих разделах предполагалось, что тренды температуры и осадков имеют линейный характер. Однако, как было показано Дроздовым ([Дроздов, Григорьева, 1971](#)), внутри вековой ход осадков характеризуется циклическими колебаниями, что многие авторы связывают с внешними факторами: солнечной активностью, атмосферной циркуляцией, прозрачностью атмосферы и т.д. Многолетний ход осадков на территории Грузии также характеризуется циклическостью, длительность которой хорошо соответствует длительности брикнеровского цикла колебания осадков (30-35 лет) ([Bruckner, 1902](#)).

Это хорошо видно из [Рисунка 5](#), на которой многолетние изменения осадков были описаны полиномами 6-ой степени, что позволило погасить колебания вызванные случайными факторами (короткопериодические циклические колебания, местная циркуляции, микроклиматические особенности и т.д.) и выделить главные тенденции их колебания.

Из [Рисунка 5](#) следует, что в конце 30-х годов прошлого века во всех пунктах, за исключением Дедоплис Цкаро, в циклическом колебании осадков отмечается многоводная фаза. Она сменяется маловодной фазой уровня осадков (1940–1950 гг.). Далее осадки возрастают и пик многоводной фазы соответствует 60-70 годам. В 80-ые годы опять наступает маловодная фаза осадков (1975–1990 гг.), после чего осадки возрастают, и начиная с конца XX и начала XXI веков, начинается маловодная фаза осадков.

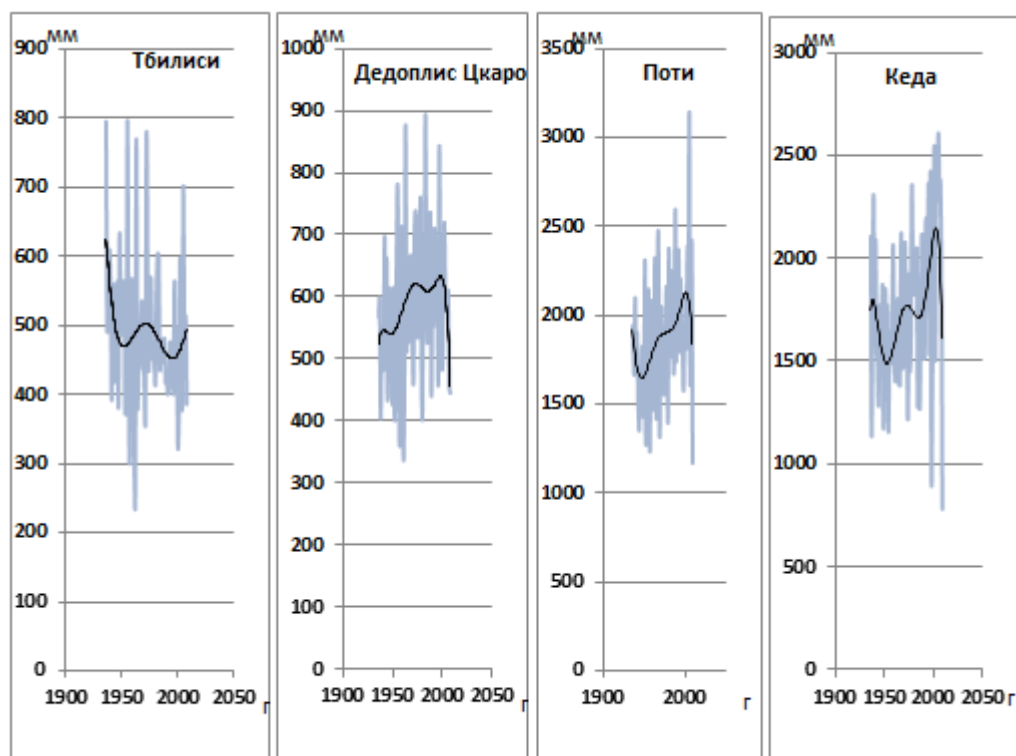


Рис. 5. Циклические колебания осадков

Колебания циклического характера отмечаются и в рядах температуры воздуха, хотя они менее выражены и в основном противоположны по фазе колебаниям осадков. Например, многоводной фазе осадков в начале 30-х годов соответствует некоторое потепление, которое в конце 30-х и в начале 40-х годов сменяется похолоданием. При уменьшении осадков в 40-50-ые годы отмечается повышенный фон температуры (1945–1955 гг.). В 60-ые 70-ые годы отмечается новая волна холода, соответствующая максимальной фазе осадков. Маловодной фазе осадков 1975-1990 годов соответствует увеличение температуры. Начало этого периода характеризовалось интенсивными засухами на всей территории Европы. С конца XX и начала XXI веков начинается интенсивное потепление и уменьшение осадков.

Циклические колебания температуры и осадков в некоторой степени можно объяснить циклическим характером атмосферной циркуляции. Так, в конце 30-х годов прошлого века увеличение уровня осадков на фоне кратковременного повышения температуры происходило в эпоху восточной циркуляции. Такой характер колебания температуры и осадков объясняется положительной корреляцией температуры и количества осадков с восточными вторжениями воздушных масс (Elizbarashvili, Aladashvili, 1999). В 40–50-е годы ослабляется роль восточной циркуляции и господствующим становится меридиональная циркуляция, в результате формируется маловодная фаза осадков с повышенной температурой. В 50–60-ые годы параллельно меридиональной циркуляции активизируется восточная циркуляция, поэтому температура уменьшается, а количество осадков возрастает, хотя не достигает уровня предыдущей многоводной фазы эпохи восточной циркуляции. Со второй половины 60-х годов преобладающим является опять восточная циркуляция, на что накладывается глобальное потепление, в результате чего температура возрастает, а осадки уменьшаются. Рост температуры и уменьшение осадков, начатое с конца прошлого века и продолжающееся по настоящее время, можно объяснить интенсивными процессами глобального потепления.

Будущее климата, по всей вероятности, также будет зависеть от особенностей циркуляции атмосферы. Поэтому вполне можно согласиться с недавно предложенным альтернативным сценарием климата, основанной не на современных климатических моделях, а на реальных вариациях температуры (Вакуленко и др., 2015), согласно которой в

ближайшие десятилетия не только сохранится продолжающаяся уже 15 лет стабилизация температуры, но и возможно некоторое похолодание.

4. Заключение

1. Зависимость многолетнего хода осадков от многолетнего хода температуры в различных физико-географических условиях Грузии имеет различный характер. Возрастание количества осадков может наблюдаться как на фоне уменьшения температуры, также на фоне ее увеличения.

2. Корреляционная связь сумм осадков от температуры в основном отрицательна и значима с надежностью вывода 0.99 или 0.95, исключением является июль, когда эти характеристики в Западной Грузии не коррелируемы.

3. Взаимосвязь скоростей изменения температуры и осадков в условиях глобального потепления в основном отрицательна и хорошо проявляется в теплый период года и в целом за год, однако в холодный период года преобладает положительная связь.

4. Характер изменения температуры и осадков на метеорологических станциях Грузии находится в тесной связи с типом климата. В переходной от субтропической к умеренной климатической зоне при повышении температуры осадки главным образом уменьшаются, хотя в редких случаях, в особенности в сухой континентальной подзоне, отмечается увеличение осадков. Во влажной субтропической климатической зоне температура воздуха по данным большинства станций уменьшается, а осадки преимущественно возрастают.

5. В многолетних рядах температуры и осадков выявлены противоположные по фазе, колебания циклического характера длительностью брикнеровского цикла.

6. Полученные уравнения регрессии между характеристиками температуры и осадков могут быть использованы в сверхдолгосрочных прогностических схемах для проведения соответствующих расчетов.

Литература

[Беручашвили, 1995](#) – Беручашвили Н.Л. Кавказ: ландшафты, модели, эксперименты. Тбилиси: Мировой банк, 1995, 315 с.

[Будыко, 1974](#) – Будыко М.И. Изменение климата. Л; Гидрометеиздат, 1974. 280 с.

[Вакуленко и др., 2015](#) – Вакуленко Н.В., Нигматулин Р.И., Сонечкин Д.М. К вопросу о глобальном изменении климата. Метеорология и гидрология, №9, 2015, С. 89-97.

[Воейков, 1884](#) – Воейков А.И. Климаты Земного Шара в особенности России. Санкт-Петербург, 1884, 672 с.

[Дроздов, 1983](#) – Дроздов О. А. Влияние термического режима на увлажнение суши. Тр. ГГИ, вып. 280, 1983, с. 3-14.

[Дроздов, Григорьева, 1971](#) – Дроздов О.А., Григорьева А.С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л; Гидрометеиздат, 1971, 158 с.

[Румшицкий, 1971](#) – Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов Эксперимента. М, Наука, 1971, 192 с.

[Элизбарашвили и др., 2013а](#) – Элизбарашвили Э.Ш., Татишвили М.Р., Элизбарашвили М.Э., Элизбарашвили Ш.Э., Месхия Р.Ш. Изменение климата Грузии в условиях глобального потепления. Тбилиси, 2013, 128 с. (на груз. яз).

[Элизбарашвили и др., 2013б](#) – Элизбарашвили Э.Ш., Татишвили М.Р., Элизбарашвили М.Э., Элизбарашвили Ш.Э., Месхия Р.Ш., Горгишели В.Э., Лашаури К.А. Создание сеточных массивов климатических данных высокого разрешения для территории Грузии. Метеорология и гидрология, 2013, №9, с. 71-79.

[Allan, Haylock, 1993](#) – Allan R.J., Haylock R.M. Circulation features associated with the winter rainfall decrease in Southwestern Australia. *J. Climate*, 1993, 6, pp. 1356-1367.

[Bruckner, 1890](#) – Bruckner E.D. Klimaschwankungen seit 1700 nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Deluvialzeit. Geograph. Abhandt. von. A. Penck., Bd.4, Wien, 1890.

[Bruckner, 1902](#) – Bruckner E.D. Zur Frage der 35-jährigen Klimaschwankungen. Peterm. Geogr. Mitteil., Bd. 48, 1902.

[Dai et al., 2009](#) – Dai A, Qian T, Trenberth K.E., Milliman J.D. Changes in continental freshwater discharge from 1949-2004. *J. Climat*, 2009, 22, pp. 2773-2791.

Elizbarashvili, Aladashvili, 1999 – Elizbarashvili E., Aladashvili T. On Circulation Factors of Climate Centennial Fluctuation. *Bulletin of the Georgian Academy sciences*, 1999, 159, №1, pp. 68-71.

Elizbarashvili et al., 2012a – Elizbarashvili E., Elizbarashvili M., Tatishvili M., Meskhia R., Shavliasvili L. Climate change tendencies under global warming conditions in Georgia. 12-tr International multidisciplinary scientific geoconference. SGEM 2012. Albena, Bulgaria, vol. 4, pp. 293-298.

Elizbarashvili et al., 2012b – Elizbarashvili E., Elizbarashvili M., Tatishvili M., Elizbarashvili S., Meskhia R., Kutaladze N., King L., Keggenhoff I., Khardziani T. Georgian climate change under global warming conditions. *Annals of Agrarian Science*, 2012, 15, pp. 17-25.

Hanssn-Bauer, Forland, 1994 – Hanssn-Bauer J., Forland E. Homogenizing of long Norwegian precipitation series. *J. Climate*, 1994, 7, pp. 1001-1013.

IPCC Climate change, 1990 – IPCC Climate change. Cambridge, UK, 1990, 365 p.

IPCC Climate change, 1996 – IPCC Climate change. Cambridge, UK, 1996, 570 p.

IPCC Climate change, 2007 – IPCC Climate change. Cambridge, UK, 2007, 570 p.

Nicholson, 1995 – Nicholson S.E. Variability of African rainfall on interannual and decadal time scales. *Natural Climate Variability on Decade to-Century Time Scales*, USA, National Academy Press, in Press, 1995.

Smith, 1995 – Smith K. Precipitation over Scotland 1757-1992: Some aspects of temporal variability. *Jnt. J. Climatology.*, 1995, 15, pp. 543-556.

Trenberth, 2011 – Trenberth K.E. Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 2011, Vol. 47, pp. 123-138.

Vinnikov, 1990 – Vinnikov K.Ya., Groisman P.Ya., Lugina K.M. Empirical data on contemporary global changes. *J. Climate*, 1990, vol. 3, pp. 662-677. [Electronic resource]. URL: <http://lin.irk.ru/pdf/11660.pdf>

References

Allan, Haylock, 1993 – Allan R.J., Haylock R.M. (1993). Circulation features associated with the winter rainfall decrease in Southwestern Australia. *J. Climate*, 6, pp. 1356-1367.

Beruchashvili, 1995 – Beruchashvili N.L. (1995). Kavkaz: landschafty, modeli, eksperimenty [Caucasus: landscapes, models, experiments]. Tbilisi: Mirovoi bank, 315 p. [in Russian]

Bruckner, 1890 – Bruckner E.D. (1890). Klimaschwankungen seit 1700 nebst Bemerkungen uber die Klimaschwankungen der Deluvialzeit. *Geograph. Abhandt. von. A. Penck., Bd.4, Wien.*

Bruckner, 1902 – Bruckner E.D. (1902). Zur Frage der 35-jahrigen Klimaschwankungen. *Peterm. Geogr. Mitteil., Bd. 48.*

Budyko, 1974 – Budyko M.I. (1974). Izmenenie klimata [Changing of the climate]. L.: Gidrometeoizdat, 280 p. [in Russian]

Dai et al., 2009 – Dai A, Qian T, Trenberth K.E., Milliman J.D. (2009). Changes in continental freshwater discharge from 1949-2004. *J. Climat*, 22, pp. 2773-2791.

Drozdov, 1983 – Drozdov O.A. (1983). Vliyanie termicheskogo rezhima na uvlazhnenie sushi [Influence of the thermal regime on land moisture]. *Tr. GGI, vyp. 280, pp. 3-14.* [in Russian]

Drozdov, Grigor'eva, 1971 – Drozdov. O.A., Grigor'eva A.S. (1971). Mnogoletnie tsiklicheskie kolebaniya atmosferykh osadkov na territorii SSSR [Long-term cyclic fluctuations of precipitation in the USSR]. L.: Gidrometeoizdat, 158 p. [in Russian]

Elizbarashvili et al., 2012a – Elizbarashvili E., Elizbarashvili M., Tatishvili M., Meskhia R., Shavliasvili L. (2012). Climate change tendencies under global warming conditions in Georgia. 12-tr International multidisciplinary scientific geoconference. SGEM. Albena, Bulgaria, vol. 4, pp. 293-298.

Elizbarashvili et al., 2012b – Elizbarashvili E., Elizbarashvili M., Tatishvili M., Elizbarashvili S., Meskhia R., Kutaladze N., King L., Keggenhoff I., Khardziani T. (2012). Georgian climate change under global warming conditions. *Annals of Agrarian Science*, 15, pp. 17-25.

Elizbarashvili i dr., 2013a – Elizbarashvili E.Sh., Tatishvili M.R., Elizbarashvili M.E., Elizbarashvili Sh.E., Meskhiya R.Sh. (2013). Izmenenie klimata Gruzii v usloviyakh global'nogo potepeniya. Tbilisi, 128 p. (na gruz. yaz) [Climate change in Georgia in the context of global warming]. [in Russian]

Elizbarashvili i dr., 2013b – Elizbarashvili E.Sh., Tatishvili M.R., Elizbarashvili M.E., Elizbarashvili Sh.E., Meskhiya R.Sh., Gorgisheli V.E., Lashauri K.A. (2013). Sozдание setochnykh

massivov klimaticheskikh dannyykh vysokogo razresheniya dlya territorii Gruzii [Creation of grid arrays of high-resolution climate data for the territory of Georgia]. *Meteorologiya i gidrologiya*, №9, pp. 71-79. [in Russian]

[Elizbarashvili, Aladashvili, 1999](#) – *Elizbarashvili E., Aladashvili T.* (1999). On Circulation Factors of Climate Centennial Fluctuation. *Bulletin of the Georgian Academy sciences*, 159, №1, pp. 68-71.

[Hanssn-Bauer, Forland, 1994](#) – *Hanssn-Bauer J., Forland E.* (1994). Homogenizing of long Norwegian precipitation series. *J. Climate*, 7, pp. 1001-1013.

[IPCC Climate change, 1990](#) – IPCC Climate change. Cambridge, UK, 1990, 365 p.

[IPCC Climate change, 1996](#) – IPCC Climate change. Cambridge, UK, 1996, 570 p.

[IPCC Climate change, 2007](#) – IPCC Climate change. Cambridge, UK, 2007, 570 p.

[Nicholson, 1995](#) – *Nicholson S.E.* (1995). Variability of African rainfall on interannual and decadal time scales. *Natural Climate Variability on Decade to-Century Time Scales*, USA, National Academy Press, in Press.

[Rumshiskii, 1971](#) – *Rumshiskii L.Z.* (1971). *Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov Eksperimenta* [Mathematical processing of the results of the Experiment]. M, Nauka, 192 p. [in Russian]

[Smith, 1995](#) – *Smith K.* (1995). Precipitation over Scotland 1757-1992: Some aspects of temporal variability. *Jnt. J. Climatology*, 15, pp. 543-556.

[Trenberth, 2011](#) – *Trenberth K.E.* (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, Vol. 47, pp. 123-138.

[Vakulenko i dr., 2015](#) – *Vakulenko N.V., Nigmatulin R.I., Sonechkin D.M.* (2015). K voprosu o global'nom izmenenii klimata [To the issue of global climate change]. *Meteorologiya i gidrologiya*, №9, pp. 89-97. [in Russian]

[Vinnikov, 1990](#) – *Vinnikov K.Ya., Groisman P.Ya., Lugina K.M.* (1990). Empirical data on contemporary global changes. *J. Climate*, vol. 3, pp. 662-677. [Electronic resource]. URL: <http://lin.irk.ru/pdf/11660.pdf>

[Voeikov, 1884](#) – *Voeikov A.I.* (1884). *Klimaty Zemnogo Shara v osobennosti Rossii* [Climates of the globe in particular Russia]. Sankt-Peterburg, 672 p. [in Russian]

Зависимость изменения атмосферных осадков от температуры воздуха при глобальном потеплении на территории Грузии

Элизбар Шалвович Элизбарашвили ^{a, b, *}

^a Грузинский технический университет, Институт гидрометеорологии, Грузия

^b Телавский государственный университет им. Я. Гогешаши, Грузия

Аннотация. По материалам наблюдений 60 метеорологических станций Грузии за период 1936-2015 годы исследованы влияние температуры воздуха на характер изменения атмосферных осадков при глобальном потеплении. Получены уравнения регрессии для расчета характеристик осадков в зависимости от характеристик температуры.

В многолетних рядах температуры и осадков выявлены противоположные по фазе колебания циклического характера длительностью брикнеровского цикла.

Корреляционная связь сумм осадков от температуры в основном отрицательна и значима с надежностью вывода 0.99 или 0.95, исключением является июль, когда эти характеристики в Западной Грузии не коррелируемы.

Взаимосвязь скоростей изменения температуры и осадков в условиях глобального потепления также отрицательна и хорошо проявляется во все сезоны года и в целом за год, однако в холодный период года преобладает положительная связь.

Ключевые слова: температура, осадки, коэффициент корреляции, коэффициент детерминации, значимость.

* Корреспондирующий автор

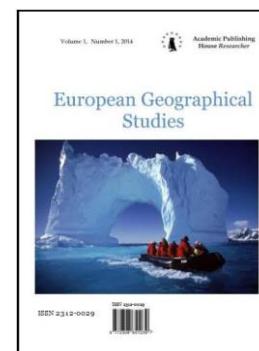
Адреса электронной почты: elizbar@hotmail.com (Э.Ш. Элизбарашвили)

Copyright © 2019 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
European Geographical Studies
Has been issued since 2014.
E-ISSN: 2413-7197
2019, 6(1): 21-38

DOI: 10.13187/egs.2019.1.21
www.ejournal9.com



A Comprehensive Assessment of Land Use and Land Cover in Lateritic terrain through Remote Sensing and GIS in West Bengal

Sudipa Halder^a, Malabika Biswas Roy^b, Pankaj Kumar Roy^{a,*}

^aJadavpur University, Calcutta, India

^bWomen's College, Calcutta, India

Abstract

Climate change is an important consequence of the land degradation. There is an urgent need to manage the rapidly changing dynamicity of the earth surface in a sustainable way. Garbeta block of West Medinipore has been chosen for the study to identify the sources of landform vulnerability which is severely affected by rill and gully erosion. Land use and land cover analysis of three distinct years has been computed which clearly shows the increase of dry fallow land over the region from 1989 to 2018 making it more assailable to sheet and rill erosion during the monsoonal period and encourage poor ground water recharge. An association map between land use/land cover and elevation has been prepared using GIS software and Statistical Package for the Social Science (SPSS) to find out the dominancy and similarity of a particular physical and human activities over the region according to the relief. The environmental indices like Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Water Index (NDWI) has been prepared to analyse the ecological stability of the region. Therefore land use and land cover analysis is an important tool for the policy makers and stakeholders to implement conservation schemes in the light of sustainability.

Keywords: water stress, Multiple Correspondence, Kappa statistics, NDVI, NDWI.

1. Introduction

Land use and land cover assessment is one of the most important tool of quantifying and qualifying the earth surface equilibrium. The dynamicity of the frequent landform configuration can be easily monitored by applying this methodology. Environmental degradation together with alarming rate of population growth has been modifying our valuable land resources since its birth. Human induced land use and land cover change has brought far reach implications on the climate change by instigating the global carbon cycle and increase of atmospheric CO₂ to a greater limit. According to Xiao et al. (Xiao et al., 2006: 322) land use and land cover switch play major role in global climate change through its interaction with ecosystem and ecology. This change can be detected and investigated by the amalgamated methodology of remote sensing and Geographical Information System (GIS) (Wu et al., 2006: 322). In order to monitor the change in large areas accurate and effective mapping techniques can be used and that can be done using remotely sensed images like Landsat ETM⁺ and Landsat 8 OLI (Mas, 2004: 219). Ravines or the regions of irregular terrains are crisscrossed by numerous rills and gullies like that of the west Bengal Rarh plain which

* Corresponding author

E-mail addresses: pk1roy2014@gmail.com (P. Kumar Roy)

frequently modifies the land surface. The absence of the vegetation and high density storm events leads to the formation of scour rims and makes the region unfavourable for economic growth. Such mix of tropical and semi –arid kind of climatic region is also effected by water unavailability and the first and the foremost reason is the land degradation. The massive propagation of population, their activities and encroachment has made the situation more vulnerable one. This frequent and continuous landform modification can be traced using modern GIS techniques as well as by methods of machine learning like fuzzy logic and Artificial Neural Networks (ANN) (Mas, 2004: 219). According to Yang and Lo (Yang, Lo, 2001: 1775) the use of remote sensing will be successful in detecting the land use and land cover change after having a complete understanding of the landscape features prevailing over the region. According to Gomasca et al. (Gomasca et al., 1993: 211) highly detailed mapping of the land use and land cover can be obtained through spatial, radiometric and spectral resolution of Landsat images. Documentation of the pattern of change, when and why they occur, rate of change and social and physical forces that drives those pattern are needed (Mengista, Salami, 2007: 99). Map to map comparison is needed for identification of variability between two maps of different year and same season (Green et al., 1994:331). Land use and land cover change of sub watersheds of Madhya Pradesh through IRS LISS of 1989 and IRS LISS III of 20001 brought significant results and proved useful for planners and managers (Javed et al., 2009: 261). Different techniques of image classification can be used to monitor the change pattern. Supervised and unsupervised are the two most important classification technique can be done in GIS software. Supervised classification technique in ERDAS Imagine 9.2 provided good classification and accuracy results while mapping spatial-temporal dynamics of land surface of Almora, Uttarakhand (Rawat, Kumar, 2015: 77). According to Yang and Lo (Yang, Lo, 2001: 1775) digital image classification played an important role in revealing the loss of forest and urban sprawl development in Atlanta, Georgia metropolitan area. More appropriate method to validate the classification technique is to gather the ground truth information from field investigation and it helped in tracing the vegetation degradation and water logged region of the coast of Egypt (Shalaby, Tateishi, 2007: 28). The Relative Operating Characteristics (ROC) is a quantitative analysis of the land use and land cover validation model and helps in simulating the future probability (Jr, Schneider, 2001:239) .According to Shalaby et al., (Shalaby et al., 2004: 28) encroachment by the urban settlement on arable land may pose undesirable consequence on the land degradation and land desertification. Image enhancement and visual interpretation made an improvement of the supervised classification and helped to observe the effects of human activities like formation of free water bodies, sabkhas and open quarrying in West Nile delta of Egypt (Kawya et al., 2010: 483). Recently the remote sensing and GIS with incorporation of global positioning system proved useful is analysing and modelling urban growth and expansion in Shijiazhuang region of china (Xiao et al., 2006: 69). Thus it can be also an important tool of monitoring population dynamics in the developed and developing countries of the world. The uneven urban growth made a major role loss of cropland between 1989–2001 which has been monitored by using GIS technology and Markov model which helped the landscape managers to provide recommendation to stabilise it (Wu et al., 2006: 322).

The main objective of the paper is to apply remote sensing and GIS technology in quantifying the change analysis of a dynamic landform over a period of nearly 30 years which was severely affected by sheet, rill and gully erosion. The scope of the study include (i) detection of change of land use and land cover between the period of 1989-2000 and 2000- 2018 and preparation of post classification multi- date comparison change table (ii) to understand the pattern of association between elevation and land use and land cover of 2000 and 2018 (iii) assessment of the two different environmental indices i.e. Normalised Difference Vegetation Index (NDVI), Normalised Difference Water Index (NDWI).

2. Materials and methods

2.1 .Study area: The study area is located in the lateritic ravine of West Bengal in the district of West Medinipore along the bank of river Shilabati which is the main river of the region. Garbeta Block-1 is a community development block (Figure 1) in the Medinipore Saradar sub-division. The region is located within the latitudinal extent of 22°47'12" N to 22°56'27" N and 87°

13'17" E and 87°56' 27" E longitude. The area is characterised by lateritic soil that falls under the Rarh category of West Bengal located at the margin of the chotonagpur plateau margin.

2.2. Topography: A part of Garbeta block -1 is often analoged with the Grand Canyon of USA and such similar feature can be seen at the middle of block popularly called 'Gangoni' near the bank of Shilabati river. Where the elevation (Figure 2) is slight higher with greater slope. The region is very much prone to erosion which falls under the cratonic margin of the Bengal basin (Shit et al., 2014: 161). The surface of the land is characterised by irregular topography starting from the barren laterite upto hard and rocky terrain which are influenced by frequent rill and gully formation during time of high runoff that can be visually observed in the stream ordering map of the study area. The region is criss crossd by numerous 1st order streams originating(Figure 3) from the gully heads and meets the 5th order streams i.e. Shilabati river which carries away greater amount silt and clay deposits along its bed choking the river's normal flow.

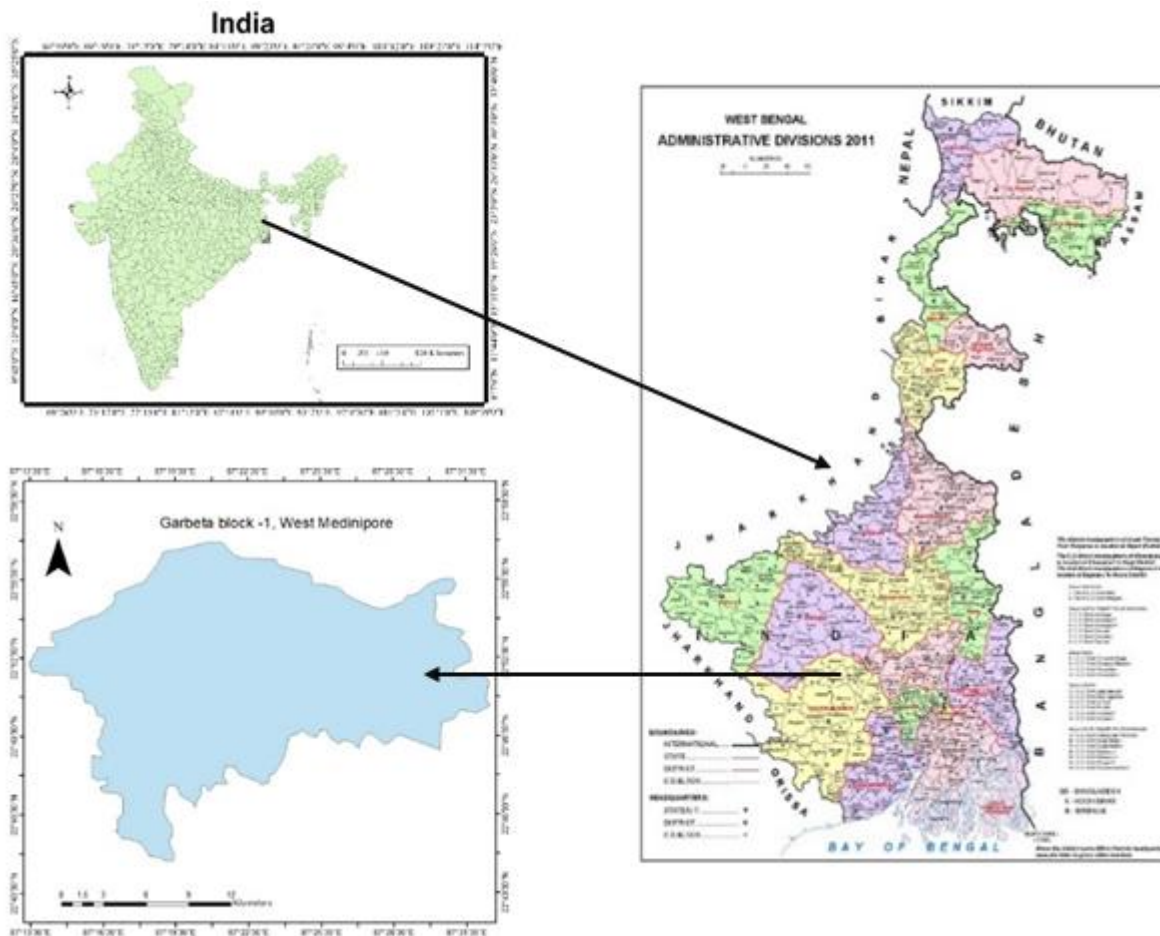


Fig. 1. Location map of the study area

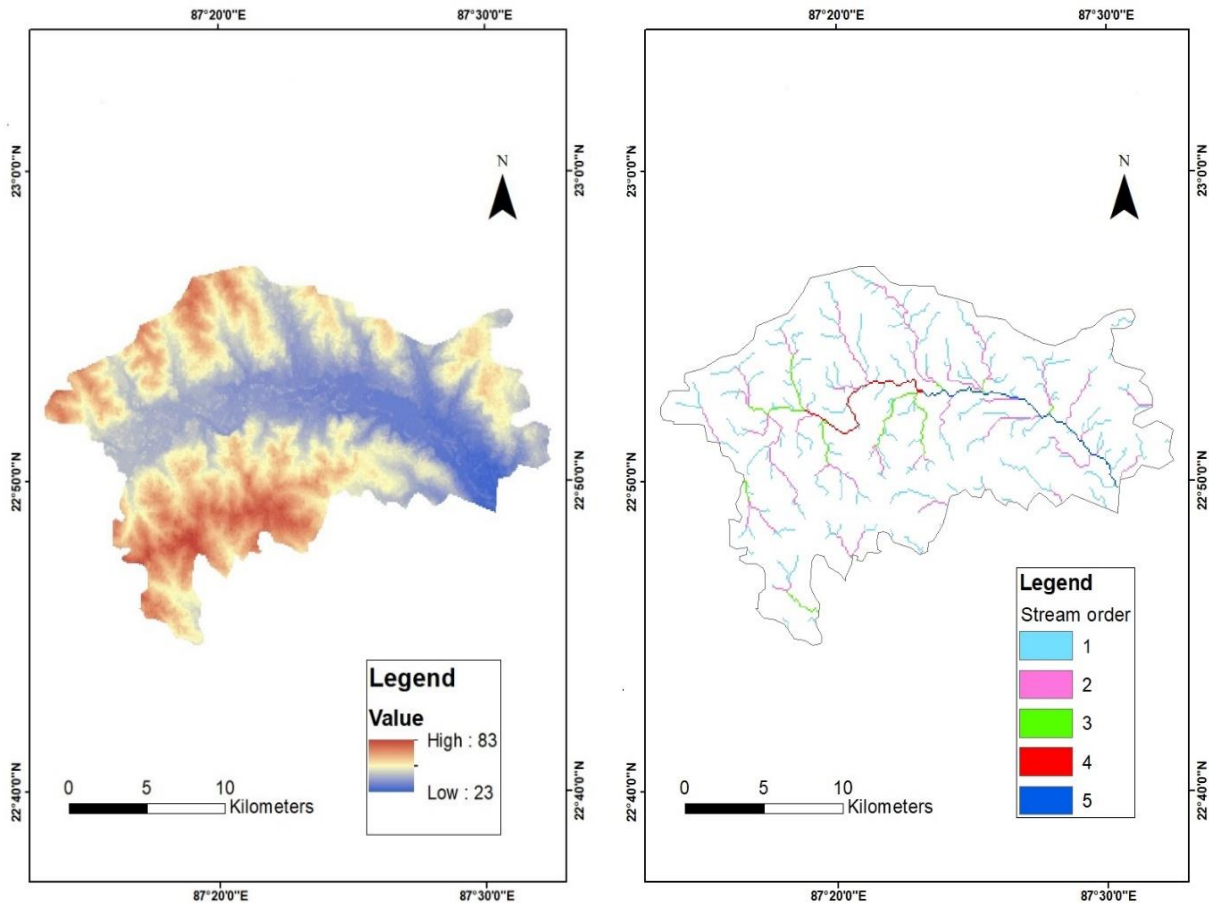


Fig. 2. Digital Elevation Model

2.3.Data acquiring and data processing: The methodology of the study include the downloading of Landsat data sets (path/row -139-44) (Table 1) from the United Nation Geological (USGS) website (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) of the three consecutive years of same month. All the bands (Table 2) of the respective years has been processed in ERDAS imagine 9.2 software and stacked to prepare False Colour Composite (FCC) map.The study area has been cropped out by using the subset tool of the respective software.Image classification has been done using the same GIS software through supervised classification method.The study area has been classified into nine classess, the description of which is given in the Table 3.The accuracy assessment of the each land use and land cover has been calculated in the excel software by using error matrix generated from signature file of each maps in ERDAS Imagine 9.2. A change detection table has been prepared by combining land use land cover maps of 1989,2000 and 2018.The association between the elevation and land use and land cover has been mapped using SPSS software package. The Shuttle Radar Topographic Mission digital (SRTM) elevation model of 90m resolution has been used to extract the elevation values of the region(Figure 2). The DEM and the land use/cover map of year 2000 and 2018 was combined in the ArcGIS software and exported to SPSS software to calculate multiple corpondance analysis.

2.4.Normalised Difference Vegetation Index (NDVI): It is an important tool to depict the vegetation cover, monitering drought ,predicting agricultural productivity, assessing hazardous fire zones and mapping desert enroachment. The NDVI values of less than 0 indicate water content, 0 to 0.1 bare soil and over 0.1 indicates vegetation. The increase in the positive value depicts the greater greenry and highest possible vegetation density. It is calculated using the followin formula:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \dots\dots\dots(1)$$

Table 1. Information on data acquisition

Image	Date of acquisition	Path/row
Landsat 4 & 5	23.03.1989	139/44
Landsat ETM +	29.03.2000	139/44
Landsat 8 OLI	7.03.2018	139/44

2.5. Normalised difference Water index (NDWI): The Normalised Difference Water Index is used to assess the water content of water bodies in a particular region (McFeeters, 1996: 1425). The value basically ranges from -1 to 0 which depicts no water content or water stressed region and values near +1 indicates water content. It is calculated using the formula:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \dots\dots\dots(2)$$

Table 2. Specifications of Landsat band used in the study

Class	Description
Dense forest	Forest with more than 70 % canopy coverage with highest possible density of greenery.
Open forest	It includes tree canopy with more than 10% coverage of greenery.
Agricultural land	It includes the crop fields.
Agricultural wet fallow	land under wet condition, arable and processed for agricultural growth
Dry fallow	Open bare surfaces composed of loose soil materials in dried condition exposed to frequent rill and gully erosion
Settlement	It includes the residential, industrial, commercial zones, transportation lines, road, small houses and urban growth
Water body	It includes the river, ponds, lakes, free water surface and reservoirs.
Lateritic exposure	It includes the eroded top soil which leads to the exposure of laterite soil at A horizon.
sandbar	Sand deposits along the river bed.

Table 3. Description of Land use and land cover classes

Landsat Image	Band	Wavelength	Spatial resolution
Landsat 5	Band-2-Green	0.52-0.60	30
	Band-3- Red	0.63-0.69	30
	Band-4- Near Infra Red	0.76-0.90	30
Landsat ETM+	Band-2-Green	0.525-0.605	30
	Band-3-Red	0.630-0.690	30
	Band-4-Near Infra Red	0.760-0.900	30
Landsat 8	Band-3-Green	0.53-0.59	30
	Band-4-Red	0.64-0.67	30
	Band-5-Near Infra Red	0.83-0.88	30

3. Results and Discussion

3.1. Accuracy assessment of the classified maps: Accuracy assessment is critical and important while assessing land use and land cover map generated from any remotely sensed data and calculation of Kappa statistics add extra significance to it. The accuracy assessment of the classified maps has been calculated using error matrix, generated after the employing supervised classification in ERDAS Imagine (Table 4, 5, 6). The classification accuracies of the three consecutive maps proved out to be better than expected. The user accuracy of the three classified maps (1989, 2000 and 2018) ranged between 75% to 100% and the producer accuracy of them varied between 89 % to 100 %. The overall accuracy was high and was 97 % for 1989, 97 % for 2000 and 96 % for 2018. The kappa coefficient was 96 % for 1989, 96 % for 2000 and 95 % for 2018 respectively. This accuracy assessment is validated with the ground truth points to ensure its appropriate efficiency by using toposheets no: 73N/5.

3.2. Land use and land cover analysis : Land use and land cover analysis has been done by taking three distinct years i.e 1989, 2000 and 2018 in order to find out the mode of land configuration in the study area (Figure 7). The land use map of 1989 shows (Figure 4) the greater extent of agricultural wet fallow which is about 176.85 Km² and the dense forest coverage of 55.62 km². In 2000 (Figure 5) these classes are showed a decreasing trend, The dense forest cover decreased from 15.01 % in 1989 to 8.13 % in 2000 which clearly depicts the sign of forest degradation. From 1989 to 2000 the percentage of agricultural land increased along with the increase of water bodies which may be due to the increase in the population pressure over the region. According to census 2001 the total population of Garbeta block – 1 is about 200,393 and in 2011 it became 228,513. The percentage of dense forest cover increased in the year 2018 (Figure 6) which may be due to the joint forest management schemes implemented over the region. Area under dry fallow increased from 2000 to 2018. The percentage of land under dry fallow increased from 9.31 % to 16.52 % which signifies greater soil loss and infertility to trigger in the study area. Conservation of dry fallow regions are at urgent need as the area is already being vulnerable with rill and gully erosion.

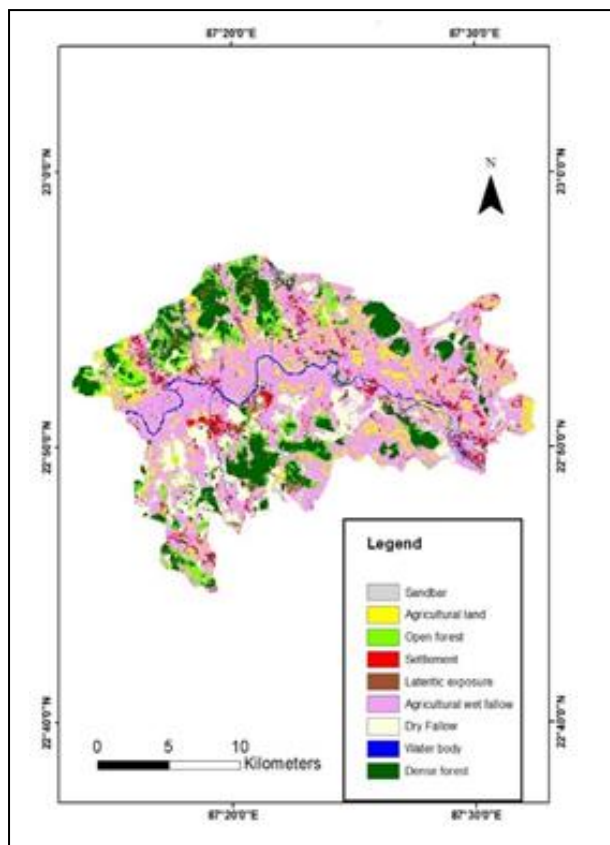


Fig. 4. Land use and land cover map of 1989

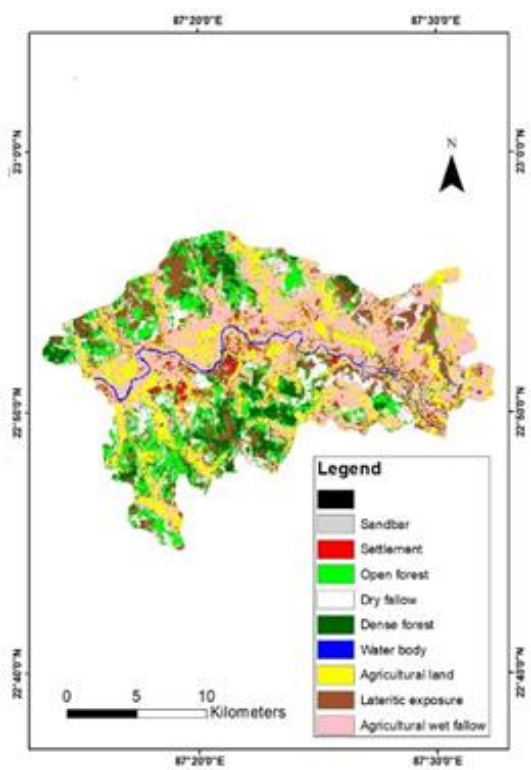


Fig. 5. Land use and land cover map of 2000

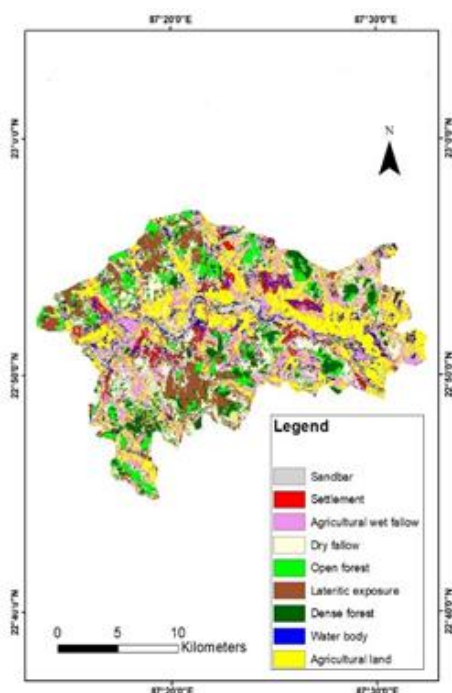


Fig. 6. Land use and land cover map of 2018

3.3. Change detection analysis: A change detection table has been prepared using ArcGIS software to find out the pattern of land conversion from one class to another. From the table below (Table 9) it can be seen that a large part of dense forest is mainly converted to dry fallow in 2018 from 1989. In case of the open forest most of the area under it has been deforested and changed into dry fallow. Greater part of the agricultural wet fallow has been converted to agricultural land to meet the need of the growing population. The other classes showed similar kind of conversion trends. From the change detection table (Table 9) it can be said that the region has modified far reach to cope up with the changing environmental and population scenario.

3.4. Multiple Correspondence analysis

Multiple correspondence analysis is a type of principle component analysis and an important technique used in this paper to show the mode of association between the landform class and elevation of the region. It has been prepared with help of ArcGIS and SPSS software for the year 2000 and 2018. The elevation map has been prepared from SRTM DEM. Both land use / land cover map and elevation map has been reclassified (Table 10) in ArcGIS using reclass tool and the association map has been prepared in SPSS software. In the map of 2000 (Figure 9 A, B) it can be seen that in the class 5 i.e. at an 66-83m of elevation, dense forest and lateritic exposure can be found, between the elevation of 56-66 open forest exist, between 46-56m dry fallow can be seen and near the elevation of 37-46 m and 23-47 m agriculture land, agricultural wet fallow, settlement and water bodies can be found. The close proximity between two parameters indicate greater area coverage by a particular class in an elevation. For example greater percentage of the area under dense forest lies at an elevation of 66-83m. But in 2018 a change in the land use/land cover configuration with the elevation has been occurred (Figure 9 A, B). The dense forest is mainly seen at a close proximity near the elevation class of 4 i.e. between 56-66 m and it can be concluded that a part of dense forest at the elevation of 66-83 m of 2000 has been degraded or deforested. Thus at present the bare land is in the higher elevation with lateritic exposure which encourages greater chances of soil erosion. The land use and land cover map also depicts such kind of trend where the percentage of dense forest has been reduced when compared to the map of 1989 to present (2018). This method of analysis helps in understanding correlation between the physical, social and economic land form characteristics with an elevation of a region and helps managing the land in a planned way.

Table 4. Accuracy assessment of land use and land cover map of 1989

Class name	Agricultura l wet fallow	Agricultura l land	Water body	Sand bar	Open forest	Settle- ment	Dry fallow	Dense forest	Lateritic exposure	Row total	User accuracy (%)	Producer accuracy (%)
Agricultural wet fallow	163	3	0	0	0	5	2	0	6	179	91	97
Agricultural land	0	187	0	0	0	1	0	6	0	194	96	98
Water body	0	0	271	0	0	1	0	0	0	272	99	99
Sand bar	0	0	0	9	0	0	0	0	0	9	100	100
Open forest	0	0	0	0	92	0	0	1	0	93	99	100
Settlement	3	0	3	0	0	952	0	118	29	1105	86	95
Dry fallow	1	0	0	0	0	0	2103	0	0	2104	99	99
Dense forest	0	1	0	0	0	16	0	3927	5	3319	99	96
Lateritic exposure	0	0	0	0	0	27	0	6	259	792	96	96
Column total	167	191	274	9	92	1002	2105	3428	799			
Overall accuracy (%)	97											
Kappa Statistics (%)	96											

Table 5. Accuracy assessment of land use and land cover map of 2000

Class name	Agricultura l wet fallow	Agricultura l land	Water body	Sand bar	Open forest	Settle- ment	Dry fallow	Dense forest	Lateritic exposure	Row total	User accuracy (%)	Producer accuracy (%)
Agricultural wet fallow	163	3	0	0	0	5	2	0	6	179	91	97
Agricultural land	0	187	0	0	0	1	0	6	0	194	96	98
Water body	0	0	271	0	0	1	0	0	0	272	99	99
Sand bar	0	0	0	9	0	0	0	0	0	9	100	100
Open forest	0	0	0	0	92	0	0	1	0	93	99	100

Settlement	3	0	3	0	0	952	0	118	29	1105	86	95
Dry fallow	1	0	0	0	0	0	2103	0	0	2104	99	99
Dense forest	0	1	0	0	0	16	0	3927	5	3319	99	96
Lateritic exposure	0	0	0	0	0	27	0	6	259	792	96	96
Column total	167	191	274	9	92	1002	2105	3428	799			
Overall accuracy (%)	97											
Kappa Statistics (%)	96											

Table 6. Accuracy assessment of land use and land cover map of 2018

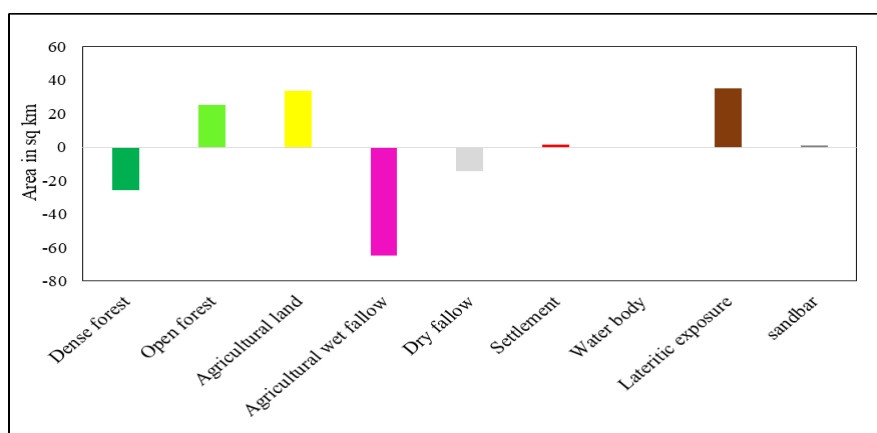
Class name	Laterite exposure	Dense forest	Open forest	Agricultural wet fallow	Agricultural land	Water body	Dry fallow	Settlement	Sandbar	Row total	User accuracy (%)	Producer accuracy (%)
Laterite exposure	4314	0	15	0	0	0	69	13	0	4411	98	96
Dense forest	0	3755	69	0	4	0	0	4	0	3832	98	95
Open forest	15	154	1336	0	2	0	53	1	0	1561	85	89
Agricultural wet fallow	0	0	0	121	0	0	70	0	0	192	63	100
Agricultural land	0	32	0	0	4404	0	9	0	0	4445	99	99
Water body	14	11	0	0	24	408	8	13	0	478	85	96
Dry fallow	70	0	83	0	6	3	4385	18	0	4565	96	95
Settlement	84	3	0	0	0	12	28	398	0	525	75	89
Sandbar	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	100	100
Column total	4497	3955	1503	121	4440	423	4622	447	0			
Overall accuracy	96 (%)											
Kappa statistics	95 (%)											

Table 7. Land use and Land cover analysis of Garbeta block-1

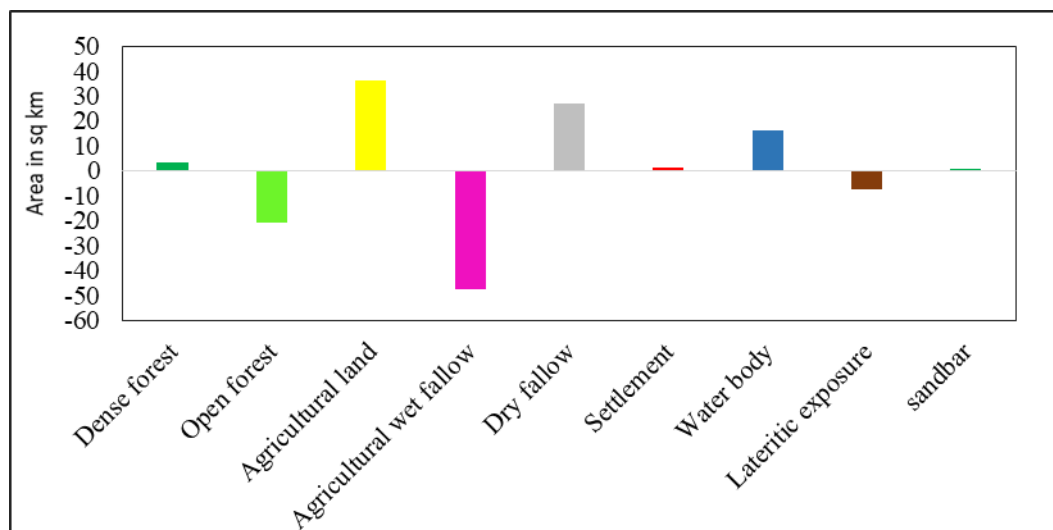
Land use /land cover class	Area in 1989 in Km ²	Percentage of area in 1989	Area in 2000 in Km ²	Percentage of Area in 2000	Area in 2018 in Km ²	Percentage of area in 2018
Dense forest	55.62	15.01	30.12	8.13	33.255	9.04
Open forest	30.27	8.17	55.39	14.95	34.28	9.25
Agricultural land	31.42	8.48	65.05	17.56	101.24	27.32
Agricultural wet fallow	176.85	47.74	112.16	30.27	64.73	17.47
Dry fallow	48.66	13.14	34.50	9.31	61.22	16.53
Settlement	13.58	3.67	15.1	4.07	16.43	4.43
Water body	5.86	1.58	5.66	1.53	21.62	5.84
Lateritic exposure	6.61	1.78	41.69	11.25	34.24	9.24
Sand bar	1.56	0.42	2.77	0.75	3.15	0.85

Table 8. Areal change of Land use and Land Cover from 1989-2018

Land use land cover class	Area in 1989 in Km ²	Percentage of area in 1989	Area in 2000 in Km ²	Percentage of Area in 2000	Area in 2018 in Km ²	Percentage of area in 2018
Dense forest	55.62	15.01	30.12	8.13	33.255	9.04
Open forest	30.27	8.17	55.39	14.95	34.28	9.25
Agricultural land	31.42	8.48	65.05	17.56	101.24	27.32
Agricultural wet fallow	176.85	47.74	112.16	30.27	64.73	17.47
Dry fallow	48.66	13.14	34.50	9.31	61.22	16.53
Settlement	13.58	3.67	15.1	4.07	16.43	4.43
Water body	5.86	1.58	5.66	1.53	21.62	5.84
Lateritic exposure	6.61	1.78	41.69	11.25	34.24	9.24



(A)



(B)

Fig. 7. Areal changed between 1989- 2000 (A) and 2000-2018 (B)

Table 9. Land use and land cover conversion table

From	To	Area in sq.km (1989 to 2000)	Area in sq.km (2000 to 2018)
Dense forest	Open forest	12.24	5.52
	Agricultural land	4.68	1.85
	Agricultural wet fallow	1.31	1.2
	Dry fallow	3.07	2.18
	Settlement	0.89	1
	Water body	0.07	0.84
	Lateritic exposure	17.28	9.5
	Sandbar	0	0
	Open forest	Dense forest	4.56
Agricultural land		2.55	3.65
Agricultural wet fallow		1.31	3.31
Dry fallow		2.89	16.69
Settlement		0.54	2.23
Water body		0.02	1.18
Lateritic exposure		3.73	8.12
Sandbar		0	0
Agricultural land		Dense forest	0
	Open forest	1.68	1.02
	Agricultural wet fallow	15.99	18.37
	Dry fallow	1.80	4.67
	Settlement	0.8	6.64
	Water body	0.15	7.74

	Lateritic exposure	0.28	1.23
	Sandbar	0.06	0.06
Agricultural fallow	wet Dense forest	5.3	1.57
	Open forest	13.77	1.09
	Agricultural land	50.46	53.29
	Dry fallow	5.49	11.58
	Settlement	8.1	4.18
	Water body	1.82	6.63
	Lateritic exposure	10.06	1.12
	Sandbar	1.03	1.11
Dry fallow	Dense forest	1.78	3.49
	Open forest	11.46	4.92
	Agricultural land	1.58	1.49
	Agricultural wet fallow	7.61	5.02
	Settlement	0.24	0.74
	Water body	0.05	0.59
	Lateritic exposure	4.96	1.54
	Sandbar	0.04	0.01
Settlement	Dense forest	0.62	0.99
	Open forest	0.63	0.21
	Agricultural land	5.71	4.67
	Agricultural wet fallow	1.4	0.6
	Dry fallow	0	3.96
	Water body	0.2	1.89
	Lateritic exposure	0.95	0.32
	Sandbar	0	0
Water body	Dense forest	0.04	0.11
	Open forest	0.07	0.01
	Agricultural land	0.7	0.42
	Agricultural wet fallow	0.6	1.58
	Dry fallow	0	0.51
	Settlement	0.42	0.21
	Lateritic exposure	0.26	0.08
	Sandbar	0.57	0.72
Lateritic exposure	Dense forest	1.1	3.49
	Open forest	0.69	4.93
	Agricultural land	0.12	1.49
	Agricultural wet fallow	0.09	5.01
	Dry fallow	0	16.71
	Settlement	0.2	0.74

	Water body	0	0.59
	Sandbar	0	0.01
Sand bar	Dense forest	0	0.03
	Open forest	0	0
	Agricultural land	0	0.05
	Agricultural wet fallow	0.35	0.67
	Dry fallow	0.02	0.33
	Settlement	0	0.03
	Water body	0.14	0.42
	Lateritic exposure	0	0

Table 10. Elevation class of the study area

Elevation in meters	Class	Remarks
23-37	1	Very low
37-46	2	Low
46-56	3	Medium
56-66	4	High
66-83	5	Very high

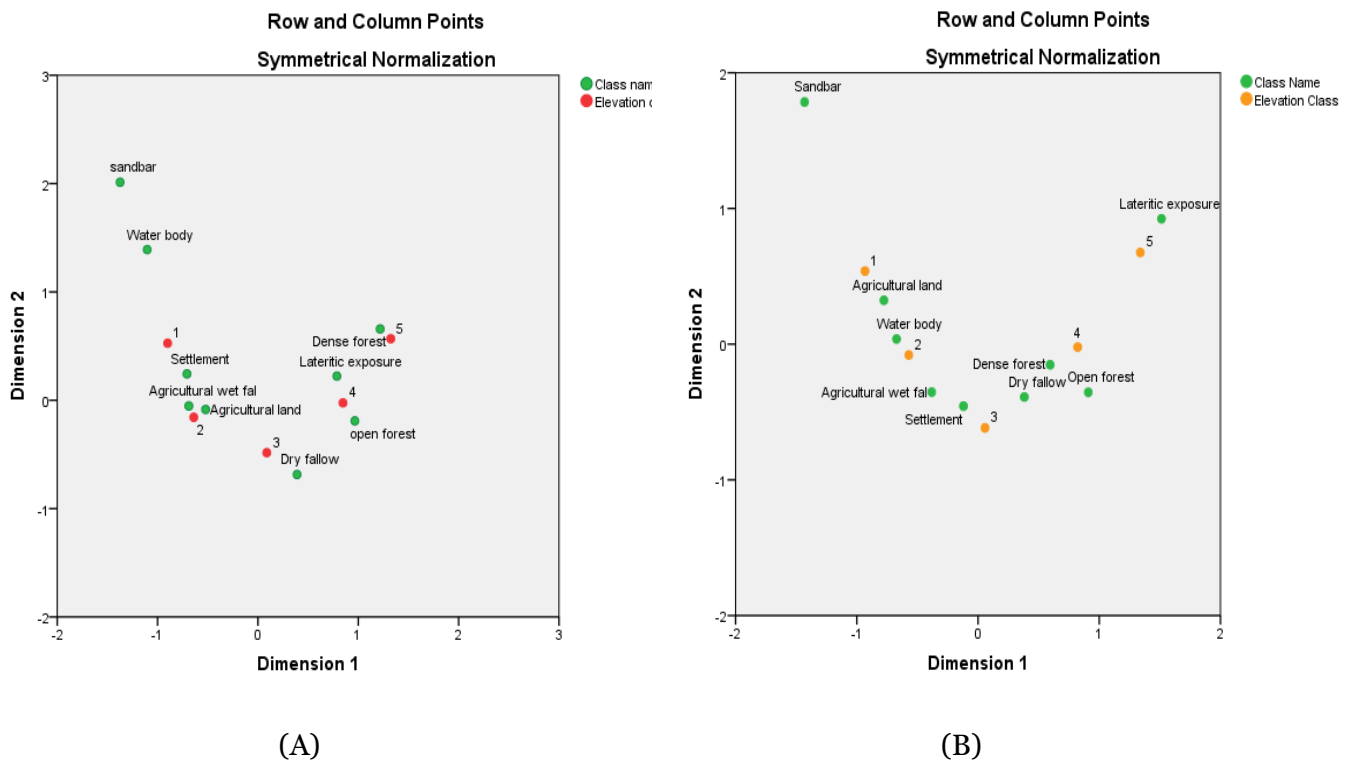


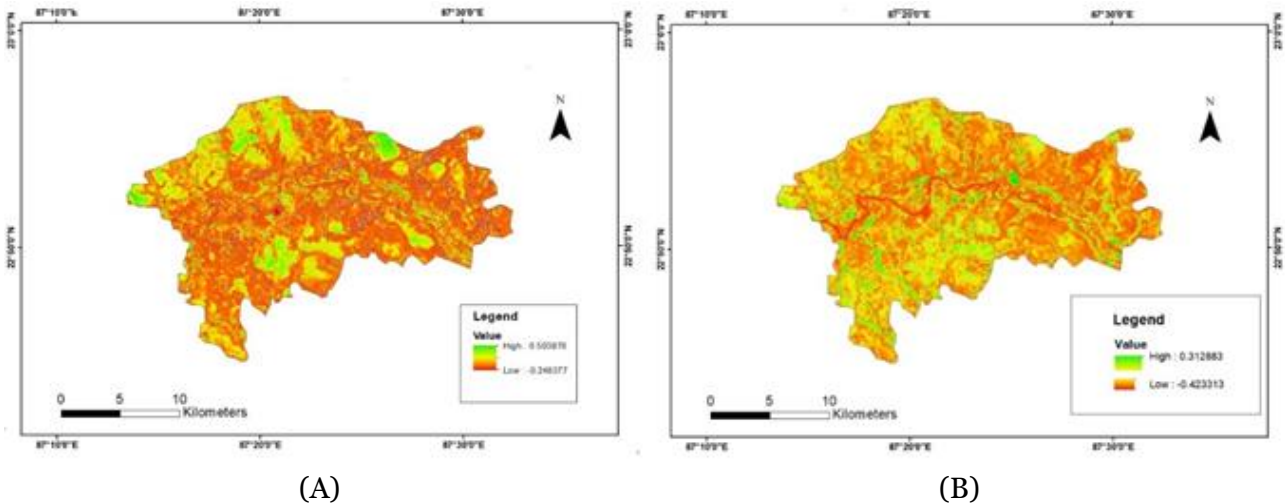
Fig. 9. The association map between land use/land cover and elevation of 2000 (A) and 2018 (B)

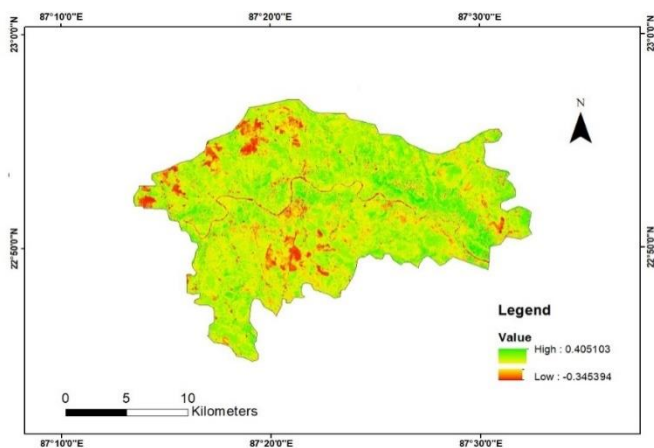
3.5. Environmental Indices:

3.5.1. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): Normalized Difference Vegetation Index is an important tool in analysing the changes in the forest cover. According to Buma (Buma, 2011: 483) degradation of forest around the world have enough potentiality in modifying the forest cover and composition which in turn can affect the diversity, landscape parameters and carbon storage. The tool has the ability to distinguish the bare soil and vegetation

cover. The degradation of the forest cover has fuelled the climatic abnormalities. The forest cover of west Bengal is about 16.847 km² according to the Indian State Forest Report of 2017. Garbeta block of West Medinipore once covered with thick forest of Sal but now effected by human intervention. The NDVI value of the year 1989 was between -0.24 to + 0.50. The areas with values near to 0.50 have high density of vegetation and the land use and land cover map of the same year also shows such trend. In the year 2000 the value ranged between -0.42 to +0.31. The positive value decreased compared to the previous year (1989) which clearly depicts the degradation in the forest area (Figure 10 A, B, C). Again in 2018 the value ranged between -0.35 to 0.40 which signifies an increase in the positive value interpreting a minimal increase in the forest cover which is very much essential in the soil loss over the region. The NDVI map of 2018 shows an even distribution of green coverage as it also includes the green agricultural land which also reflects near infrared lights. According the above land use and land cover maps the percentage of dense forest decreased from 55.62 % in 1989 to 33.26 % in 2018 but there has been a considerable increase in the open forest coverage.

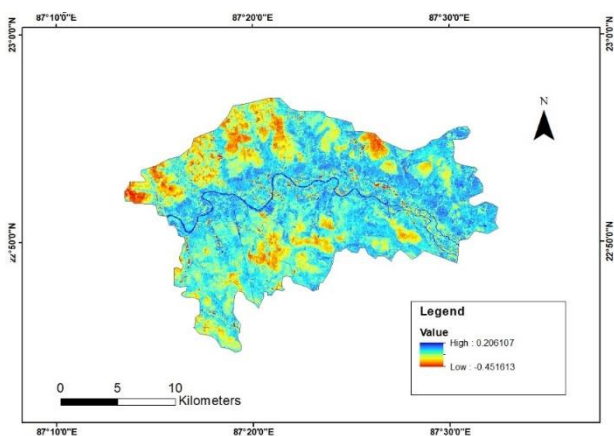
3.5.2. Normalized Difference Water Index (NDWI): Water crisis is going to take a major role in the near future imposing a menace to human life. To cope up with such vulnerability water conservation is at indispensable need. Water scarcity in West Bengal increases with the onset of the summer season. Garbeta of West Medinipore district also suffers from this water scarcity. The ground water level decreases along with the drying up of surface water bodies. The bare lands heats up and moisture content decreases due to high evapotranspiration rate. NDWI can be an important tool in water body mapping. From the NDWI of the three years it can be visualised that areas under moisture content decreased when compared to 2018 with 1989. The value of NDWI of 1989 ranged between -0.45 to + 0.21. In 2000 the positive value increased but the areas of water content decreased. The value ranged between -0.23 to + 0.43. Again in 2018 the areal coverage under moisture content decreased but the value ranged between -0.10 to + 0.49. Further the number of pond in the study area for agricultural propose has been increased. But the main ecological flow of river Shilabati flowing through the region is choked with sedimentation hampering the normal ground water recharge. Thus NDWI can be a useful tool in assessing the water vulnerability over a region and can play an important role in combating drought like conditions.



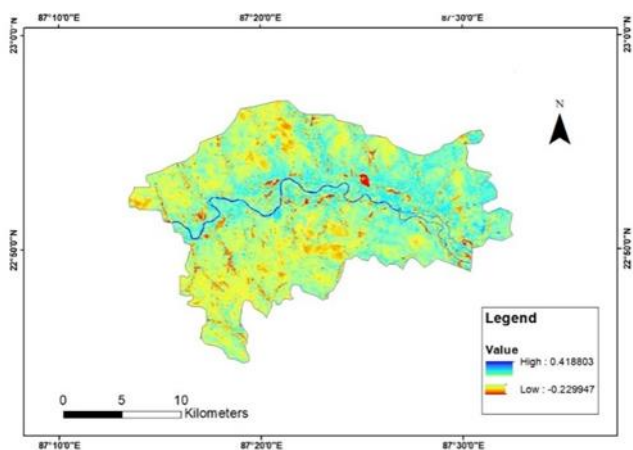


(C)

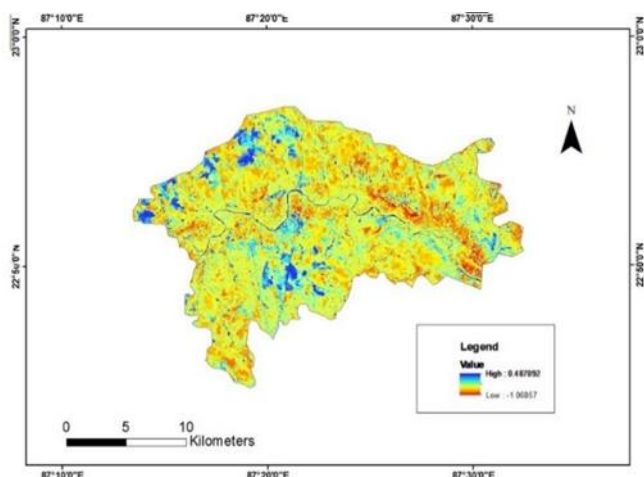
Fig. 10. NDVI map of 1989(A), 2000(B) and 2018(C)



(A)



(B)



(C)

Fig. 11. NDWI map of 1989(A), 2000(B) and 2018(C)

Conclusion

➤ An assessment of land use and land cover variability has been made using geospatial techniques. The analysis shows a positivity of change in the configuration of these two landform characteristics over the region.

➤ Garbeta block is located on the lateritic terrain and is highly effected by soil erosion and fluctuation in groundwater recharge is common in dry period. The analysis shows an increase of the percentage of dry fallow over the entire region particularly at the middle of the block making it more vulnerable to environmental hazard.

➤ The impression of population pressure is clearly seen over the entire region as the percentage of agricultural land has been increased over the recent years which parallelly creates demand for irrigational supply. The Shilabati River flowing through the region was also choked with excessive sediment deposition failing to meet the water demand over the catchment area.

➤ Multiple correspondence analysis clearly shows the association of elevation and landform characteristics over the region. The association between the two parameters has been modified a lot between the years. The Dense forest at the elevation of 66-84m in 2000 has been cleared and can be reflected land use and land cover map of 2018.

➤ The Normalized Difference Vegetation Index of the study area shows the increase in the green cover but they are mainly green agricultural crops.

➤ The Normalised difference Water Index of the region shows higher values signifying high water content in the year 1989 but it decreased gradually as the percentage of dry fallow land increased in 2018. These fallow lands are having low moisture content and are exposed to higher rate of soil erosion. As the percentage dry fallow increased in 2018. The water scarcity also increased as most water bodies are reclaimed for various land dwellings.

➤ This throughout analysis shows the vulnerability of the study area based on environmental and climatic aspects. Remote sensing and GIS can be an important and validate tool to assess such kind of susceptibility as they are time independent. The bare parts needs urgent plantation programme to cope up with the rapid soil loss. Complete environmental, geomorphological, meteorological assessment is further needed over the region to preserve the ecological balance in a sustainable way.

References

Buma, 2011 – Buma B. (2011). Evaluating the utility and seasonality of NDVI values for assessing post-disturbance recovery in a subalpine forest. *Environmental Monitoring and Assessment*. DOI: 10.1007/s10661-011-2228.

Kawya et al., 2011 – El-Kawya O.R.A., Rod J.K., Ismail H.A., Suliman A.S. (2011). Land use and land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data. *Applied Geography*, 31: 483-494.

Gomasasca et al., 1993 – Gomasasca M.A., Brivio P.A., Pagnoni F., Galli A. (1993). One century of land use changes in the metropolitan area of Milan, Italy. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 211-222.

Green et al., 1994 – Green K., Kempka D., Lackey L. (1994). Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. *Photogram-metric Engineering & Remote Sensing*, 60: 331-337.

Javad et al., 2009 – Javed A., Khanday M.Y., Ahmed R. (2009). Prioritization of Sub-watersheds based on Morphometric and Land Use Analysis using Remote Sensing and GIS Techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37: 261-274.

Jr, Schneider, 2001 – Jr.R.G.P., Schneider L.C. (2001). Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85: 239-248.

Mas, 2004 – Mas J.F. (2004). Mapping land use/cover in a tropical coastal area using satellite sensor data, GIS and artificial neural networks. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 59: 219-230.

McFeeter, 1996 – McFeeter S.K. (1996). The use of NDVI in delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing and GIS*, 17: 1425-1432.

Mengistu, Salami, 2007 – Mengistu D.A., Salami A.Y. (2007). Application of remote sensing and GIS inland use/land cover mapping and change detection in a part of south western Nigeria. *African Journal of Environmental.*, 5: 99-107.

Rawat, Kumar, 2015 – Rawat J.S., Kumar R. (2015). Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 18: 77-84.

Shalaby et al., 2004 – Shalaby A., Ghar A.M., Tateishi R. (2004). Desertification impact assessment in Egypt using low resolution satellite data and GIS. *The International Journal of Environmental studies*, 61 (4): 375-384.

Shalaby, Tateishi, 2007 – Shalaby. A., Tateishi. R. (2007). Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography*, 27: 28-41.

Shit et al., 2014 – Shit P.K., Bhunia.G.S., Maiti.R. (2014). Morphology and Development of selected Badland in South Bengal (India). *Indian Journal Of geography And Environment*, 13: 161-171

Wu et al., 2006 – Wu Q., Li H.Q., Wang R., Paulussen J., Hec Y., Wang M, Wang B., Wang Z. (2006). Monitoring and predicting land change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and Urban Planning*, 78: 322-333.

Xiaoa et al., 2006 – Xiaoa J., Shenb Y., Ge J., Tateishia R., Tanga C., Liangd Y., Huange Z. (2006). Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. *Landscape and Urban Planning*, 75: 69-80.

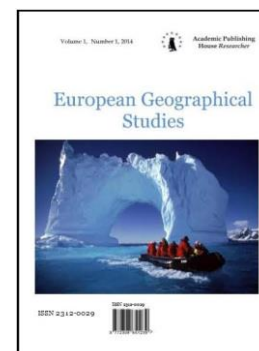
Yang, Lo, 2001 – Yang.X., Lo.C.P. (2001) .Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area. *International Journal of Remote Sensing*, 23: 1775-1798.

Copyright © 2019 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
European Geographical Studies
Has been issued since 2014.
E-ISSN: 2413-7197
2019, 6(1): 39-49

DOI: 10.13187/egs.2019.1.39
www.ejournal9.com



Agrarian and Forest Landscapes in Steppe: Prevention of Soil Deflation During Climate Warming

Evgeny Paramonov ^a, Irina Rybkina ^{a, *}, Mikhail Gubarev ^a

^aInstitute for Water and Environmental Problems, Russian Federation

Abstract

The analysis of the current state of agriculturally developed steppe landscapes of the Russian Federation and Kazakhstan with the indication of such environmental problems as deflation, water erosion and soil salinization is given. Using the steppe areas of Altai Krai as a case study, the peculiarities of landscape formation are discussed, and the meteorological data for the lowland part of the region are analyzed. Based on these data, a climatic trend is determined and compared with the global one. It is concluded that the regional climate changes, associated with aridization, lead to the enhancement of deflation processes. To stabilize the processes, it is proposed to use agricultural and forestry techniques. The current state of forest plantations in Altai Krai is investigated according to their functional use, species and age composition. The estimated data on the optimal areas of protective forest strips for arable land are given.

Keywords: desertification processes, Kulunda lowland, meteorological parameters, aridization, shelter forests, land protection.

1. Introduction

Western Siberia and Kazakhstan are the largest steppe zones in the world with efficient agriculture. According to the data of the Unified Interdepartmental Information and Statistical System (<https://fedstat.ru>) of 2016, the agricultural areas in the Russian Federation (RF) accounted for 197.7 million hectares. Currently, 65 % of arable lands, 28 % of hayfields and 50 % of pastures in Russia are exposed to the devastating effect of water and wind erosion, recurrent droughts, dry winds and dust storms (Kulick, 2009).

In 37 regions of the RF steppe landscapes occupy an area of more than 89.8 million hectares (Smelyansky, 2012). In Altai Krai, a steppe zone covers 10 596.2 thousand hectares (<http://www.gks.ru>); this is the largest steppe in Russia. At the same time, Altai Krai refers to the most desertification-prone areas.

The tense situation is caused by aridization of climate and agriculture intensification (Mordkovich et al., 1997). The long-term land use in the region at the end of the XX century resulted in a situation when 54.7 % of steppe agricultural landscapes were exposed to deflation, 11.6 % – to water erosion, and 19.4 % – to salinization (Burlakova, 1997).

The leading role in the preservation of land resources, increase of crop productivity, and environmental management belongs to the protective afforestation. Russia is the birthplace of field-protective forestation in the world (Kulick et al., 2015; Barabanov et al., 2017); the activities of such

* Corresponding author

E-mail addresses: irina.rybkina@mail.ru (I. Rybkina)

kind are extremely rare in other countries (Zhuang et al., 2017). For more than 150 years of its history, a theoretical and methodological basis for forest melioration, implemented in the form of local forest and agrarian landscapes within all agricultural regions, is developed (Kulick et al., 2015). This work is still in progress (Kulick, Popova, 2013; Chekanyshkin, Lepekhin, 2015; Manaenkov, Korneeva, 2015).

China is characterized by equally large-scale forest reclamation activities aimed at combating desertification (Guo et al., 2014; Yan et al., 2015; Zhuang et al., 2017; Jixia et al., 2018; Sun et al., 2018; Yang et al., 2018).

Here, since 1978, a 75-year (until 2050) Three-North Shelter / Protective Forest Program is being implemented (Yan et al., 2015). The authors emphasize that understanding the dynamics of desertification and its driving forces is a precondition for controlling desertification. However, there is little evidence to directly link causal effects with desertification process (i.e., on the changing area of sandy land) because desertification is a complex process, that can be affected by vegetation (including vegetation cover and extent of shelter forests) and water factors such as precipitation, surface soil moisture, and evapotranspiration (Yan et al., 2015).

The investigation's results indicate that wind has a strong promotional effect on dust weather, while forestry ecological engineering and rainfall have a containment effect. In addition, the impacts of the four studied forestry ecological engineering projects on dust weather differ. For every increase of 1000 km² in the Three-North Shelter Forest Project, the annual number of days of sandstorm weather decreased by 4 days. Similarly, for every increase of 1000 km² in the Beijing-Tianjin Sandstorm Source Project, the sand-blowing weather decreased by 4.4 days annually. In addition, the Natural Forest Protection Project and the Grain for Green Project have a more obvious inhibitory effect on the dust-floating weather (Jixia et al., 2018).

Such studies are carried out all over the world in the face of global climate change to evaluate the aridization of territories, to combat soil degradation, and in recent years, to assess the ecosystem services (Pravalie et al., 2014; Ussuri, Lal, 2017; Yakimov, 2014).

This study is aimed at the assessment of stabilization of desertification and degradation processes in steppe agricultural landscapes under the current climate change, and the development of practical recommendations for the protection of arable land of Altai Krai from deflation.

2. Materials and methods

The territory of Altai Krai represents a series of high-altitude steps elevating from the north-west to the south-east from the Kulunda lowland to the Altai mountains (see Figure 1). The flat land makes up 78 % of the region area (Table 1) and is distinguished by the developed agriculture. The relationship between heat and moisture, the number of sunny days and the total temperature of the growth season allow to grow hard wheat, which is of particular value for processing and food industries.

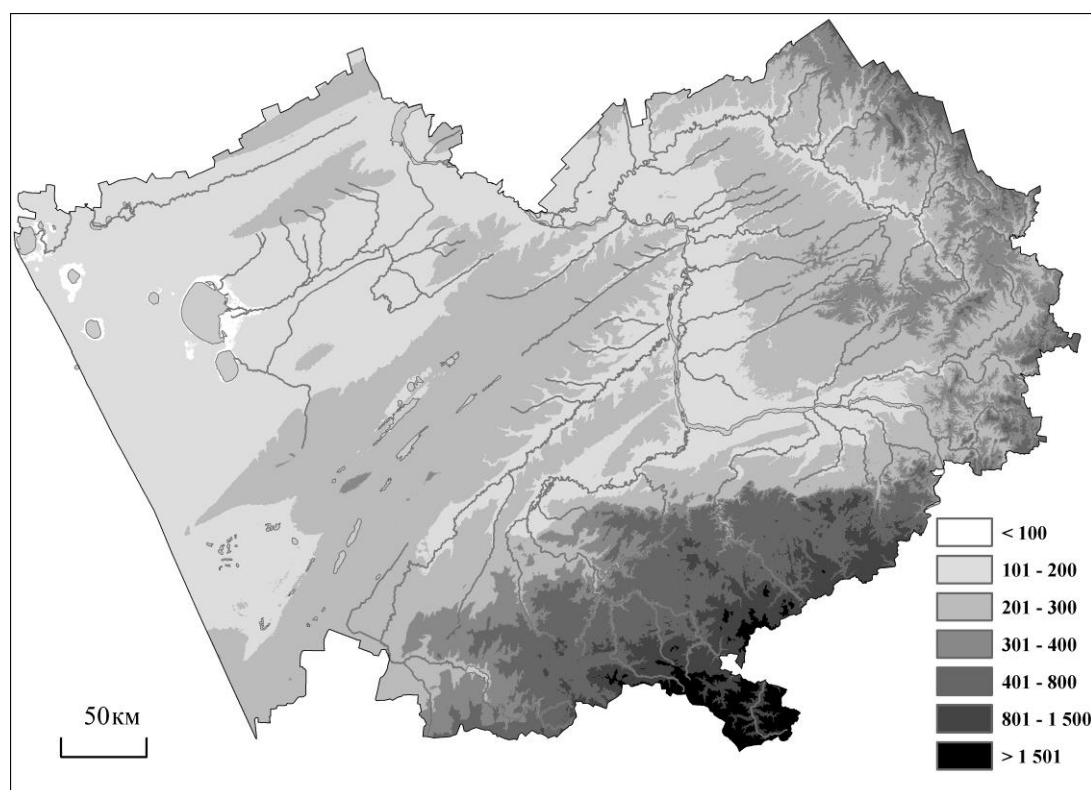


Fig. 1. Orographic schematic map of Altai Krai, m a.s.l.

The Kulunda lowland shows a very weak erosion pattern (Skripko, 2013) due to the low elevation of the territory above sea level (the Baltic Elevation System) and dry climate. This is precisely why the ploughness here reaches the maximum level: in some municipalities the arable land occupies 90–95 % of the total area (statistical data). In 1954-1956 a large-scale agricultural development of these territories took place. At that time, in accordance with the decision of the state authorities, the plowing of virgin and fallow lands in Siberia, the Urals, the Volga region, and Kazakhstan occurred. During the period from 1954 to 1960, more than 16 million hectares of land, including 2.9 million hectares in the Altai, were brought under cultivation (Pavlova, 2014).

Table 1. Altitude division of Altai Krai territory

Altitude interval, m	Area, km ²	Share, %
Less than 100	2000.2	1.2
101-200	64482.0	38.3
201 – 300	65170.1	38.7
301 – 400	14807.9	8.8
401 – 800	14912.2	8.9
801 – 1500	5170.9	3.1
1501 and more	1779.8	1.0
Total:	168323.1	100.0

The plain areas of Altai Krai, found along the left bank of the Ob river, are distinguished by ribbon-like relict pine forests confined to the valleys of the ancient flow.

Melt glacial waters flowing from the Altai Mountains played a major role in the formation of the plain relief on the left bank of the Ob. During the last glaciation, they were dammed in the north by a glacier and then they moved south-westward through the hollows of old rivers (left tributaries of Ob river). At the sites of ancient waterflows, powerful sand deposits were formed. Here, pine trees (*Pinus sylvestris*) began to grow, forming the ribbon-like relict pine forests in the South of Western Siberia.

The initial material for the study was taken from the available literature, state and regional acts on climate change, meteorological data for the plain part of Altai Krai, inventory data on shelter forests, and the authors' study of the state, growth, preservation and snow accumulation in forest strips of agricultural landscapes for the period of 2009–2014.

In recent years, remote sensing methods have become increasingly popular for studying the viability of forest strips (Yang et al., 2018). Field works on the inventory of forest strips include the reconnaissance survey and selection of the site that most fully reflects the state of the strip. The width of the test site corresponds to the width of the forest strip. The length depends on the age of the trees and the number of rows. For example, at the tree age of 20 years, the area of the test site should be not less than 0.15 hectares, over 20 years – up to 0.40 hectares.

The following works are performed at the test site with entering the data in the record card. First, shelter forests are broken down into categories (field protective, anti-erosion, gully, shore-fixing, roadside, green belts). The structure of a forest belt is marked; it can be permeable, open, and impermeable or thickly planted. The number of rows and the main wood species are established. The height of the trees is estimated using altimeters, and the trees are grouped according the age: under 20 years, 21-30, 31-40 and 41 plus. Thereafter the conservation of trees is evaluated using the following scale: under 10 %, 11-30, 31-50, 51-70 and 71 % and above. The state of the trees is estimated by a three-point scale: one point – the portion of dry twigs in the crown is less than 25 %, two points – the portion of dry twigs in the crown is up to 50 % and the crown is partially dried out, three points – the portion of dry twigs in the crown is above 50 % and a part of trees is dry.

Further, the anthropogenic impacts on the forest belt are noted. These are fire damage, unauthorized felling, soil consolidation and changes in grass cover as a result of grazing. The presence or absence of natural regeneration of the main wood species should be noted showing the approximate number per one hectare. The regrowth is determined by a three-point scale: three points – shoots are characterized by healthy growth, bright color of the leaves, and vigorous appearance; two points – satisfactory growth, with an irregular distribution around the stump; one point – poor shoot, inviable, growth is slow. Measures to strengthen the influence of the forest belt on the surrounding fields (thinning, addition of large-size planting material, partial or complete reconstruction) are noted.

The collected and processed data for 60 municipalities formed the basis of analytical materials presented to the Forest Department and the Government of Altai Krai. The data were processed with the use of statistical methods and software, including the use of GIS technologies. The data were processed with the use of statistical methods and software, including the use of GIS technologies.

Such methods and investigations to assess the land-improvement impact of forest belts, their viability and opportunity to accumulate precipitation were conducted in other agricultural regions of Russia (Tanyukevich, Zuravleva, 2015; Cheverdin et al., 2016; Timer'yanov, Rakhmatullin, 2016). We considered their experience in the field and laboratory studies, the results of which are presented in the paper.

3. Discussion

Climate aridization. Aridization is most often understood as the climate drying. However, this concept also includes the processes of soil erosion, changes in plant communities and their replacement by xerophytic (drought-resistant) species of plants etc. Therefore, in the broader sense aridization is equated to desertification of territories. These two processes coincide in time and space.

Climate change predicted for the twenty-first century, obviously, will have a significant impact on the change of borders of natural zones and landscapes (State report..., 2003, Assessment report..., 2008).

According to the analytical data for the XXI century, the average temperature of the surface air layer in Russia will increase. The greatest warming is expected in Siberia. The areas with sufficient or excessive precipitation will experience water resources enlargement. In deficit-water areas, the situation is likely to worsen resulting in serious socio-economic and environmental consequences (Assessment report..., 2008).

Currently, Altai Krai is characterized by the following thermal conditions: **warm** – the sum of active temperatures ($\Sigma T > 10^{\circ}\text{C}$) 2000–2200 $^{\circ}\text{C}$ is peculiar to 40 % of the area, **very warm** (2200–2400 $^{\circ}\text{C}$) – 26 % and **moderately warm** (1800–2200 $^{\circ}\text{C}$) – 22 % (Mikhailova et al., 2008).

If the observed trend of climate change continues to persist over 25 years, the temperature conditions will correspond to **hot conditions** – for 49% of the territory, **very warm** – 31 % and **warm** – 13 %. In this case, the forest-steppe zone may be replaced by arid steppe, and the arid steppe – by dry steppe. The occurrence of desert landscapes is possible instead of dry steppe. In the mountains, this process will be reflected in change of the altitudinal vegetation line, i.e. the elevation of the tree line due to the alpine belt, which in its turn, will induce the elevation of the steppe zone due to the lower tree line, whether it is black taiga in the low mountains of North-Eastern Altai or park larch forest in the middle mountains of Central and South-Western Altai.

To represent climate changes in the region, we analyzed the data from 14 weather stations, including eight stations in the lowland part of the region and six – in the mountains. We used the average annual air temperature and precipitation, and considered the data by 10-year periods from 1961 to 2016.

In the western regions of Altai Krai (Table 2) over the past 50–60 years, the average annual temperature of the surface air layer has increased by almost 2 $^{\circ}\text{C}$ at ordinary average annual precipitation. Thus, according to the data from Klyuchi weather station (dry steppe) for the study period, the average annual air temperature increased from 2.1 $^{\circ}\text{C}$ to 3.6 $^{\circ}\text{C}$ or by 1.7 times. At the same time, the amount of precipitations decreased by 5 mm – from 273 to 268 mm, which is indicative of desertification of climate.

Similar changes take place at other observation points. For instance, in the northern regions of Altai Krai, the temperature rise reached 2.4 times, and the amount of precipitations increased by only 8–12%. Similar pattern occurs in the southern regions, however, with constant precipitation, the rise of the surface air temperature here is more intensive.

If we compare the average annual precipitation for a 10-year period to the average annual air temperature, we will get the following data. In Barnaul, in 1961–1970, precipitation was as large as 254 mm/ $^{\circ}\text{C}$, in 2001–2010 – 157 mm/ $^{\circ}\text{C}$, and in 2011–2016 – 148 mm/ $^{\circ}\text{C}$. The Klyuchi weather station showed 131 mm/ $^{\circ}\text{C}$, 73 mm/ $^{\circ}\text{C}$, and 75 mm/ $^{\circ}\text{C}$, respectively, that also confirms the intensification of climate aridization.

Table 2. Dynamics of major meteorological parameters

Weather station	Periods					
	1961–1970	1971–1980	1981–1990	1991–2000	2001–2010	2011–2016
Barnaul	1.73/441	1.65/397	2.26/412	2.78/430	2.77/436	3.03/450
Volchikha	1.42/357	1.47/334	2.29/348	2.61/323	2.83/313	2.82/316
Klyuchi	2.09/273	2.47/259	3.00/261	3.84/256	3.70/271	3.59/268
Rebrikha	1.43/415	1.43/407	2.42/395	2.08/389	2.69/371	2.66/359
Slavgorod	2.14/263	1.79/336	2.52/357	2.70/306	3.51/305	3.69/319

Note: numerator – average annual temperature over the period, $^{\circ}\text{C}$, denominator – average annual precipitation over the period, mm.

We identified the years of high solar activity and, using the average precipitation for three years (preceding and following), we can reason, according to the data from the Klyuchi weather station over the period of 45 years, that the average annual temperature increased from 1.8 to 3.4 $^{\circ}\text{C}$ and the annual precipitation grew by 9 % at constant relative humidity (Table 3). The Barnaul weather station revealed lesser increase of temperature (from 1.9 to 2.7) and precipitation (by 5 %) at the same relative humidity.

Table 3. Major meteorological data for years of solar activity

Year of solar activity	Klyuchi weather station			Barnaul weather station		
	temperature, °C	precipitation, mm	relative humidity, %	temperature, °C	precipitation, mm	relative humidity, %
1967	1.8	266	66.3	1.9	390	69.6
1978	3.6	251	65.4	2.0	443	75.0
1989	3.5	284	69.0	3.0	361	70.2
2000	3.8	295	63.9	2.9	451	72.7
2012	3.4	290	61.0	2.7	409	71.1

By this is meant that climate aridization will have an adverse impact on the state of forests, the silvicultural and valuation indicators, which will steadily decrease. Under such conditions, it is possible to regulate the response of agricultural landscapes to desertification only through the combined use of agrotechnical and forestry techniques. At the same time, deflation is one of the essential problems that should be overcome.

Stabilization of deflation processes. The aridization of climate leads to desertification and land degradation. Soil degradation refers to the processes associated with its depletion. Most often it is due to wind and water erosion. Deflation is accompanied by blowing. Destruction of soils occurs under the influence of wind. The most acute problems of deflation are in the steppe and semi-desert regions, in areas of effective agricultural development. When the favorable natural features are enhanced by anthropogenic factors, they are repeatedly accelerated. What are the ways to regulate the deflation processes in steppe? In our opinion, spring and summer precipitation play here a key role.

Moisture conditions during the warm season depend on both liquid precipitation and the solid one accumulated during the cold season. Currently, it is impossible to affect the amount of liquid precipitation, but it is possible to influence the amount of solid precipitation.

The accumulation of snow in the fields is due to a decrease in the rate of snow transfer in the surface air layer. The most effective measure is to make the surface rough, for example, with the help of snow-retaining shields. However, the occurrence of forest strips is more effective. In this case, snow is accumulated not only in the strip but also on the adjacent field, especially in the lee of the strip. The snow depth in protected fields can reach 40-50 cm as compared to the open steppe (15-20 cm). This means that in spring the amount of liquid precipitation will exceed by at least 80-100 mm (Sub-regional..., 2000, Simonenko, 2001).

Based on soil and climatic characteristics (Kukis,; Gorin, 1973), divided the territory of Altai Krai into five reclamative afforestation areas (RAA) (Figure 2): I – West-Kulunda (dry steppe), II – East Kulunda (arid steppe), III – Left-bank (relative to Ob river; semi-dry steppe with kolkis), IV – Right-bank (humid temperate forest-steppe), and V – Piedmont (meadow steppe and forest-steppe).

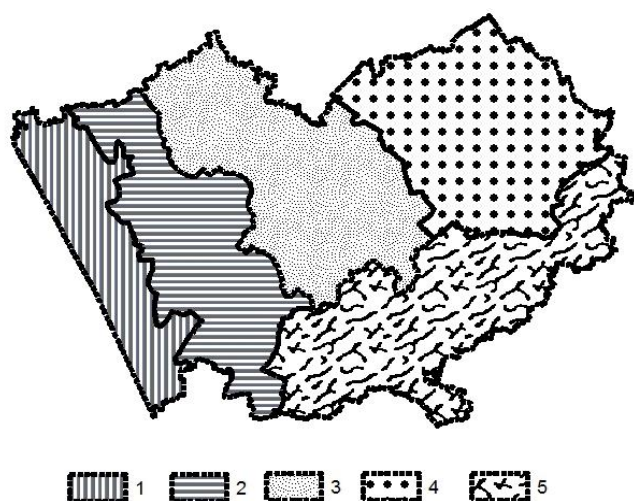


Fig. 2. Scheme of reclamative afforestation division in Altai Krai

For 80 years, from 1937 to 2017, about 206 thousand hectares of shelter forests (SF) appeared in the region, of which 79.4 thousand hectares are found currently; they represent 0.75 % of agricultural area or 1.2 % of the arable land in the region. The vast majority of forest strips (90.7 %) refer by their functional use to the field-protective strips (Tables 4, 5). Another 3.0 % perform the conservation function, and 4.7 % are the roadside strips. The rest 1.6 % include the coastal plantations, and urban green belts.

Table 4. Characteristics of shelter forests in Altai Krai, th. ha %

RAA	SF, total	including:			
		Field-protective	Anti-erosion	Roadside	Other
I	23991.7	21999.8	731.4	860.8	399.7
	100.0	91.7	2.9	3.7	1.7
II	26851.6	24502.5	998.7	819.5	530.8
	100.0	91.3	3.7	3.0	2.0
III	17835.2	16539.6	319.2	809.4	167.1
	100.0	92.7	1.6	4.5	1.2
IV	7324.3	6333.5	354.7	598.2	37.9
	100.0	86.5	4.8	8.2	0.5
V	3271.4	2589.9	30.7	610.6	40.2
	100.0	79.2	0.9	18.7	1.2
Total	79353.9	72007.7	2435.4	3735.1	1175.7
	100.0	90.7	3.0	4.7	1.6

Table 5. Species composition of shelter forests in Altai Krai, th. ha %

RAA	SF, total	Species composition			
		Birch	Poplar	Maple	Other
I	23991.7	9356.5	5486.9	3823.0	3333.3
	100.0	42.7	25.0	17.3	15.0
II	26851.6	8410.5	10407.6	2764.7	2919.7
	100.0	34.3	42.5	11.3	11.5
III	17835.2	5212.6	10069.8	900.7	350.9
	100.0	31.5	61.2	5.4	0.9
IV	7324.3	367.2	5688.8	146.3	132.1
	100.0	5.8	89.8	2.3	2.1

V	3271.4	294.4	2077.3	156.6	61.6
	100.0	11.3	80.2	6.1	2.4
Total	79353.9	23653.8	33745.1	7795.3	6809.0
	100.0	32.9	46.8	10.8	9.5

The species composition of forest strips is as follows: the silver birch occupies the area of 23.6 thousand hectares (32.9 %), balsam poplar – 33.7 thousand hectares (46.8 %), ash-leaved maple – 7.8 thousand hectares (10.8 %), softwood (Scotch pine and Siberian larch) – 0.4 thousand ha; other hardy-shrub species cover 9.5 % of the SF area.

It should be noted that coniferous trees were poorly introduced into protective afforestation due to weak growth during the first years. The analysis shows that at the age of 30, their height is practically the same as that of birch and poplar. Besides, the coniferous trees are more viable.

The forest strips occupying the area of 7.8 thousand hectares, where the ash-leaved maple dominated, eventually became impassable and windproof facilitated the larger snow accumulation in the immediate vicinity. The same is true for the forest strips, where the ash-leaved maples grow under the crown cover of the main wood species. In 2011, these strips covered the area of 9.0 thousand hectares.

The age structure of forest strips conforms with the periods of their planting. The share of forest belts under the age of 20 is about 0.3 %, aged from 21 to 30 years – 2.2 %, from 31 to 49 years – 39.9 %, and over 41 – 57.6 %. A great bulk of forest vegetation has reached its critical age. The field protection functioning of birch and poplar in steppe does not exceed 45 years (Simonenko, 2001).

The rapid degradation of forest belts is caused by both biological and anthropogenic factors. If the biological factors are associated with the environment adverse for wood species, the anthropogenic impact results from forest fires, unauthorized felling of forests, cattle grazing.

It should be noted that over the next 10 years, a half of the forest stand aged over 40 years and covering more than 41.5 thousand hectares will die and the area of strips will reduce to 50.0 thousand hectares. By 2025, the area of forest strips in the region may reduce to 30-35 thousand hectares.

In agricultural afforestation, the main index for forest strips is the height, on which the area of the protected field depends. The most quick-growing tree species in the region is balsam poplar, the height of which at the age of 30-35 reaches 15.3 m as compared to birch and maple (13.1 and 5.9, respectively).

As regards the snow retention, the strips made up of two or three rows of trees are the most effective (Table 6). Usually, the strips are permeable and promote a more uniform distribution of snow within the space between them. Besides, they are self-sufficient in spring water due to small hips of snow in the strip. Particularly, it is peculiar to pine and larch forest strips. Such forest strip ensures the accumulation of 30-40 cm thick snow and taking into account the accumulation of snow at the edge of the strip – up to 50 cm, which corresponds to 120-150 mm of liquid precipitation. That is, the amount of precipitation on the protected field increases by 60-80 mm.

Table 6. Snow accumulation in three-row strips of different wood species

RAA	Wood species	Space between strips, m	Average snow depth, cm	Amount of water, mm	Share of water from snow, %
I	Poplar	300	28.1	78.8	30.0
	Birch	300	24.6	68.9	26.3
II	Poplar	300	32.0	90.0	22.2
	Poplar	200	38.4	107.5	26.5

There is no significant difference in snow accumulation in the strips of different wood species and the space between the strips. However, the strip of balsam poplar accumulates the larger quantity of snow than that of European white elm due to the difference in the height (poplar – 9-10 m, elm – 6-7 m).

Based on the data from Klyuchi weather station over the past 50-60 years, we found that in some years the April-June period distinguished by much more liquid and solid precipitation than the average long-term dynamics (80 mm). Such a one-two year excess, as a rule, alternates with two- or three-year dry periods (Figure 3). This is evidenced by the dynamics of precipitation in the twentieth century. Currently, the situation has changed even more towards the aridization of climate, and the periods with precipitation less than 80 mm have become longer (three-four years).

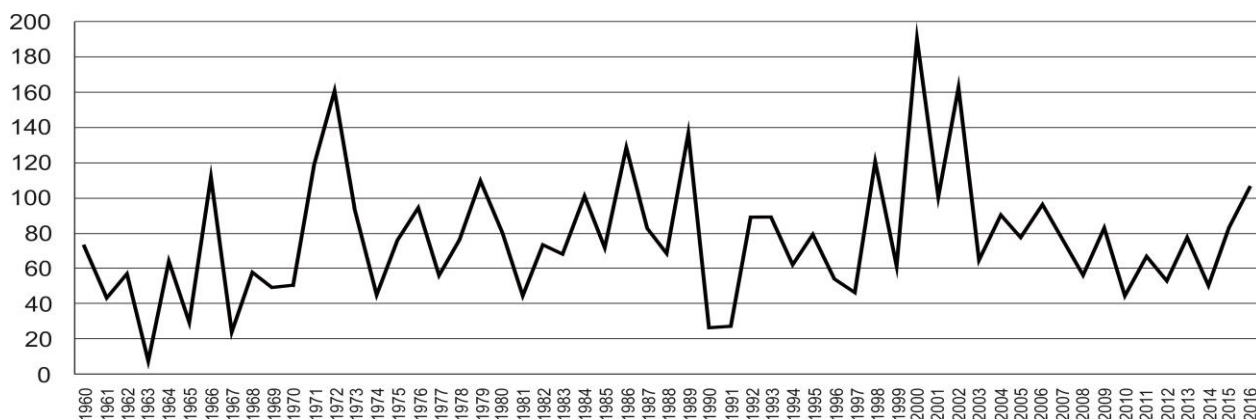


Fig. 3. Dynamics of total precipitation for April-June period, mm

In the general cycle of aridization over the recent years, the precipitation of 2005–2015 is similar to the values of 1960–1970. Most likely, after the wet and hence high-yield period of 2016–2017, when the grain crop in the region was as high as 4.5-5.2 million tons, a three-four-year period with precipitation less than 80 mm (April–June) is expected. Therefore, the issue of the size of area necessary for effective field protection is of crucial importance.

The forestry practice considers optimal the ratio, when one hectare of forest strip protects 25–30 hectares of arable land in the dry steppe, 40–45 hectares – in arid steppe, and 50–60 hectares – in the forest-steppe. In other words, the share of forest stand in dry and arid steppes should be 4–5 % of the area of agricultural land.

According to our calculations, the deflation of soil in dry steppe can be prevented by 31–33 thousand hectares of shelter forests (currently they occupy 24 th. ha), in the arid steppe – 40–42 th. ha (26.8 th. ha), and the forest-steppe and foothill steppes – 70–73 th. ha. Hence, to regulate the desertification, there should be 140–150 thousand hectares of protective forest plantations (Table 7).

Furthermore, forest reclamation contributes to the improvement of the hydrothermal regime of soils and more than four times reduction of land runoff. Protective forests, being a part of agrarian and forest landscapes in the steppe, serve as the basis for landscape specific agriculture. Owing to forest strips, the average yield of grain crops increases by 18-23 %, industrial – by 20-26 %, and green crops – by 29-31 %.

Table 7. Optimal area of shelter forests for arable land protection

RAA	Arable land, th. ha	Share of arable land, %	Tree and shrubbery vegetation, th. ha	Share of SF, th. ha	Optimal area of SF, th. ha	Lack of SF with regard to replacement, th. ha	Arable land covered by forests, %
I	1513.6	64.6	30.5	19.8	38.3	22.0	7.1
II	2251.1	69.0	58.3	75.9	47.5	25.6	5.0
III	7729.6	69.1	89.2	19.4	50.2	32.5	4.0
IV	2407.2	60.0	49.4	6.4	25.0	19.3	3.1
V	1936.9	39.4	71.8	2.8	13.2	10.5	3.0
Total	10848.4	61.1	299.2	74.3	174.2	109.9	4.2

4. Conclusion

1. The current state of steppe afforestation in Altai Krai does not meet the requirements for regulation of soil degradation. The current aridization of climate and desertification of steppe areas contribute largely to the deterioration of agrarian and forest landscapes.

2. To improve the state of agrarian and forest landscapes, it is necessary to develop projects on the establishment of shelter belts within steppe and forest-steppe zones of Altai Krai, including the Kulunda area. Besides, it is essential to determine the legal status of shelter belts, to appeal to landowners to take care of the existing shelter belts as well as to establish the new ones.

3. Considering the climate change in steppe zone during the recent years, the sustainable agrarian management including soil conservation can be achieved by a twofold increase of shelter forests.

References

[Assessment report...](#), 2008 – Assessment report on climate change and its impact on the territory of the Russian Federation. 2008. Vol. 1. p 230, Vol. 2. P. 288.

[Barabanov et al., 2017](#) – *Barabanov, A.T., Manaenkov, A.S., Uzolin, A.I., Kulick, K.N.* (2017). Experience and strategy of protective afforestation on the right bank of the mid-Don in Volgograd oblast. *Niva Povolzhya*, №4 (45): 17-23.

[Burlakova, 1997](#) – *Burlakova, L.M.* (1997). Changes in ecosystem functioning and global changes in biosphere (by the example of Western Siberia), in Problems of prevention of land degradation in Western Siberia and state control over their use and protection. Barnaul, 8-14.

[Chekanyshkin, Lepekhin, 2015](#) – *Chekanyshkin, A.S., Lepekhin, A.A.* (2015). State of protective afforestation in Central Black Earth Region, in *Forestry*, № 4, 9-17.

[Cheverdin et al., 2016](#) – *Cheverdin, Yu.I., Vavin, V.S., Akhtyamov, A.G.* (2016). Features of formation of water regime of chernozems under old-age forest strips. *International Research Journal*, № 11-5 (53), 55-57.

[Guo et al., 2014](#) – *Guo, Z., Huang, N., Dong, Z., Van Pelt, R.S., Zobeck, T.M.* (2014). Wind erosion induced soil degradation in Northern China: Status, measures and perspective. *Sustainability (Switzerland)*, Vol. 6, Is. 12, 8951-8966.

[Jixia et al., 2018](#) – *Jixia, H., Qibin, Z., Jing, T., Depeng, Y., Quansheng, G.* (2018). Association between forestry ecological engineering and dust weather in Inner Mongolia: A panel study. *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 104, April, 76-83.

[Kukis, Gorin, 1973](#) – *Kukis, S.I.; Gorin, V.I.* (1973). History of protective afforestation in Altai Krai, Experience of field afforestation in the Altai. Altai Publishers, Barnaul, 13-71.

[Kulick et al., 2015](#) – *Kulick, K.N., Barabanov, A.T., Manaenkov, A.S.* (2015). Forecast of protective afforestation development in Russia until 2020. *Problems of Forecasting*, № 4, 48-57.

[Kulick, 2009](#) – *Kulick, K.N.* (2009). Protective afforestation in the Russian Federation: problems and strategy of development until 2020. *Theoretical and applied problems of agro-industrial complex*, №1, 10-16.

[Kulick, Popova, 2013](#) – *Kulick, K.N., Popova Ya.V.* (2013). Protective afforestation in Orenburg region. *Proceedings of Nizhnevolzhsk Agrarian University Complex*, № 4 (32), 1-3.

[Manaenkov, Korneeva, 2015](#) – *Manaenkov, A.S., Korneeva, E.A.* (2015). The cost of measures for forest reclamation of arable land in the South of Russia, exposed to wind and water erosion. *Regional economy. South of Russia*, № 2 (8), 69-76.

[Mikhailova et al., 2008](#) – *Mikhailova, L.A., Kharlamova, N.F., Mikhailov, N.N.* (2008). Geo-information technology in the study of regional climate change. *Environmental changes Commonwealth countries under current climate change*. Media-Press, M., 96-101.

[Mordkovich et al., 1997](#) – *Mordkovich, V.G., Gilyarov, A.M., Tishkov, A.A., Balandin, S.A.* (1997). The fate of steppes. Nauka Publ., Novosibirsk. P. 208.

[Pavlova, 2014](#) – *Pavlova, T.V.* (2014). Altai Krai. Virgin lands. 1954-2014. E-library of Altai Regional Scientific Library. [Electronic resource]. URL: <http://akunb.altlib.ru/kollekczi-elektronnoj-bibilotekt/altajskij-kraj-czelina-1954-2014-gg/>

Pravaliu et al., 2014 – Pravaliu, R., Sirodoev, I., Peptenatu, D. (2014). Changes in the forest ecosystems in areas impacted by aridization in south-western Romania. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12:2. DOI: <https://doi.org/10.1186/2052-336X-12-2>

Simonenko, 2001 – Simonenko, A.P. (2001). Forest protection strips as a basis of ecological framework in dry steppe zone of Altai. *Agroforestry: problems, solutions, prospects*. Volgograd, 26-28.

Skripko, 2013 – Skripko, V.V. (2013). Assessment of ecological and geomorphological state of the Ob plateau using the basin analysis. Author's abstract. Barnaul, p. 22.

Smelyansky, 2012 – Smelyansky, I. (2012). How many deposits in the steppe region of Russia. *Steppe Bulletin*, № 36, 4-7.

State report..., 2003 – State report "On the state and protection of environment in the Russian Federation in 2002". (2003). Moscow. P. 480.

Sub-regional..., 2000 – Sub-regional national action program to combat desertification in Western Siberia. (2000). Volgograd. P. 234.

Sun et al., 2018 – Sun, S., He, C., Qiu, L., Li, C., Zhang, J., Meng, P. (2018). Stable isotope analysis reveals prolonged drought stress in poplar plantation mortality of the Three-North Shelter Forest in Northern China. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 252, 39-48. DOI: [10.1016/j.agrformet.2017.12.264](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.264)

Tanyukevich, Zuravleva, 2015 – Tanyukevich, V.V., Zuravleva, A.V. (2015). Influence of phytosaturation of pine forest strips on snow distribution in space between strips. *Research Publications*, № 11 (31), 6-10.

Timer'yanov, Rakhmatullin, 2016 – Timer'yanov, A.Sh., Rakhmatullin, Z.Z. (2016). Protective forest strips on irrigated lands of the Republic of Bashkortostan. *Environmental Engineering*, № 5, 96-101.

Ussuri, Lal, 2017 – Ussuri, D.A.N., Lal, R. (2017). Global Forests Management for Climate Change Mitigation. *Carbon Sequestration for Climate Change Mitigation and Adaptation*, March, 395-432. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-53845-7_11

Yakimov, 2014 – Yakimov, N. (2014). Significance of field afforestation to combat the agricultural land erosion. *Land of Belarus*, №. 4, 3-7.

Yan et al., 2015 – Yan, Q., Zhu, J., Zheng, X., Jin, C. (2015). Causal effects of shelter forests and water factors on desertification control during 2000–2010 at the Horqin Sandy Land region, China. *Journal of Forestry Research*, Vol. 26, Is. 1, 33-45.

Yang et al., 2018 – Yang, L., Jia, K., Liang, S., Liu, M., Wei, X., Yao, Y., Zhang, X., Liu, D. (2018). Spatio-temporal analysis and uncertainty of fractional vegetation cover change over Northern China during 2001-2012 based on multiple vegetation data sets. *Remote Sensing*, Vol. 10, Is. 4, paper № 549. DOI: [10.3390/rs10040549](https://doi.org/10.3390/rs10040549)

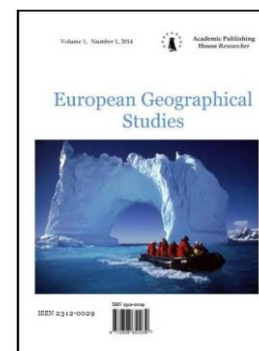
Zhuang et al., 2017 – Zhuang, J.Y., Zhang, J.C., Yang, Y.R., Zhang, B., Li, J.J. (2017). Effect of forest shelter-belt as a regional climate improver along the old course of the Yellow River, China. *Agroforestry Systems*, № 91(3), 393-401. [Electronic resource]. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-016-9928-9>

Copyright © 2019 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
European Geographical Studies
Has been issued since 2014.
E-ISSN: 2413-7197
2019, 6(1): 50-60

DOI: 10.13187/egs.2019.1.50
www.ejournal9.com



Catastrophic Precipitation in Georgia

E.Sh. Elizbarashvili ^{a, b, *}, M.E. Elizbarashvili ^c, Sh.E. Elizbarashvili ^a, M.G. Pipia ^a, N.Z. Chelidze ^a

^a Georgian Technical University, Institute of Hydrometeorology, Georgia

^b Iakob Gogebashvili Telavi State University, Georgia

^c Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Abstract

Based on observations from more than 20 meteorological stations, we investigated the number of days with precipitation of 50 mm and more, the maximum daily and maximum five-day precipitation, periods of precipitation, probability and intensity on the territory of Georgia. A classification of intense precipitation has been carried out and a map of the maximum intensity of precipitation has been developed. The trends of the long-term change in the climatic characteristics of extreme precipitation are estimated, some statistical differences in mean values of characteristics for different averaging periods are revealed. The obtained results expand our understanding of the geography, structure and dynamics of the characteristics of catastrophic precipitation in the territory of Georgia.

Keywords: catastrophic rainfall, number of days, amount, intensity, trend.

1. Введение

Общепринятого определения катастрофических осадков нет. Согласно одной из определений природной катастрофы это «опасное событие, которое создает угрозу жизни и здоровью людей, и сопровождается разрушением сооружений и транспортных средств, нарушением производственного и транспортного процесса или наносит вред окружающей среде» (**Классификация катастроф...**). Следовательно к катастрофическим осадкам можно отнести экстремально интенсивные осадки, а также значительные осадки, выпадающие в течении нескольких суток подряд, которые вызывают наводнения, паводки, селевые процессы, оползни, снежные лавины или другие стихийные явления, и в целом создают чрезвычайную ситуацию, которая может повлечь за собой значительные материальные потери и даже человеческие жертвы (**Кренке, Чернявская, 2003; Элизбарашвили, Чавчанидзе, 1982; Climate Change, 2001; Groisman et al., 1999**).

Таким образом, о катастрофическом характере осадков вполне можно судить по некоторым климатическим индексам, рекомендованным Всемирной Метеорологической Организацией (ВМО) (**Climate Change Indices; Peterson, 2005**), это число дней с осадками суточной интенсивностью 50мм/сут и более (R50), максимальные суточные (RX1) и максимальные пятисуточные суммы осадков (RX5).

* Corresponding author

E-mail addresses: elizbar@hotmail.com (E.Sh.Elizbarashvili),
mariam.elizbarashvili@tsu.ge (M.E.Elizbarashvili), info@ball.com (Sh.E. Elizbarashvili),
mishapipia@yahoo.com (M.G.Pipia), nananebieridze@mail.ru (N.Z. Chelidze)

Согласно литературным данным наиболее катастрофические осадки, интенсивностью более 38 мм/мин, были зарегистрированы в г. Барсте (Гваделупа, 26.11.1970 г). В г. Багио (Филиппины, июнь, 1911 г), за сутки выпало 1168 мм, а за 4 дня 2233 мм осадков. В штате Флорида (США, 1947 г.) ливни обрушивали на землю 500 млн. т воды каждый час, то есть 12 млрд. т воды в сутки (Шойгу и др., 2002).

На территории Грузии, и в целом на Кавказе, наибольшая интенсивность осадков отмечена в Поти 24.09.1916 года (6.4 мм/мин), а наибольшая суточная сумма осадков зарегистрирована в с. Джурквети – 350 мм (Алибегова, Элизбарашвили, 1980; Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе, 1983). Стихийные явления, вызванные интенсивными ливневыми осадками на территории Грузии, и в целом на Кавказе, подробно рассмотрены в многочисленной литературе (Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе, 1983; Элизбарашвили, 2017; Элизбарашвили, Чавчанидзе, 1982; Элизбарашвили и др., 2016; Varazanashvili et al., 2012 и др.).

Один из авторов данной статьи был очевидцем катастрофического ливня, наблюдающегося 7 июня 1972 года в Тбилиси, когда за короткий промежуток времени (245 мин) выпало более 100 мм осадков. Ливень нанес значительный материальный ущерб предприятиям промышленности, связи, транспорту, коммунальному и городскому хозяйству, населению города. Были разрушены более 200 индивидуальных домов, в которых проживало свыше 1000 семей, преостановлены заводы, имелись человеческие жертвы.

Распределение экстремальных осадков на территории Грузии зависит от географического положения, характера рельефа местности и особенностей атмосферных процессов, и характеризуется большим разнообразием. Наибольшие осадки выпадают на Черноморском побережье и в тех районах Западной Грузии, где орографические условия способствуют развитию восходящих движений воздушных масс на склонах горных хребтов (Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе, 1983; Элизбарашвили, 2017).

В данной статье по материалам наблюдений 20 метеорологических станций исследованы число дней с осадками 50мм и более, максимальные суточные и максимальные пятисуточные суммы осадков, и их интенсивности на территории Грузии.

2. Материалы и методы

В исследовании использованы материалы наблюдений более 20 метеорологических станций Грузии, за период существования наблюдений, а также литературные данные (Алибегова, 1985; Научно-прикладной справочник..., 1979; Справочник по климату СССР, 1967). Для равномерного освещения территории метеорологическими данными использованы также данные наблюдений метеорологических станций, закрытых в 90-ые года прошлого века. Климатические индексы катастрофических осадков рассчитаны в соответствии с рекомендациями ВМО (Climate Change, 2001; Peterson, 2005).

Тренд многолетнего изменения климатических характеристик экстремальных осадков оценивался с помощью p – критерия статистической значимости, представляющей собой вероятность ошибки при отклонении нулевой гипотезы. В качестве нулевой гипотезы было принято, что многолетнее изменение характеристик экстремальных осадков имеет случайный характер. Соответственно альтернативная гипотеза, исключая нулевую, означала истинность изменения этих характеристик во времени. Если значение p мало (менее или равно 0.05) нулевая гипотеза отвергалась и тренд считался значимым.

Вопрос о случайном или неслучайном расхождении средних значений климатических характеристик экстремальных осадков за два периода – за период рекомендованный ВМО (1961–1990 гг.) и за период интенсивного глобального потепления (после 1990 г) решался с помощью критерия Стюдента (t). Если надежность вывода о расхождении высокая (P более или равно 0.95), то расхождение считалось значимым, в противном случае гипотеза о расхождении данных отвергалась и принималась нулевая гипотеза, согласно которой расхождение между средними значениями имеет случайный характер (Румшиский, 1971).

2. Обсуждение Географические закономерности распределения характеристик катастрофических осадков

Наводнения, паводки, селевые процессы, оползни, снежные лавины и другие стихийные бедствия, вызванные экстремально интенсивными осадками в условиях Грузии, повреждают линии связи и электропередачи, нарушают работу транспорта, уничтожают урожай сельскохозяйственных культур, посевы и пастбища, разрушают крыши зданий, вызывают волнение в море и на водохранилищах, жертвы домашнего скота, появляются угроза повреждения гидротехнических сооружений и риска гибели людей ([Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе, 1983](#); [Элизбарашвили, 2017](#)). При этом, характер катастрофы существенно зависит от интенсивности осадков – чем больше интенсивность, тем сильнее проявляется развитие стихийных процессов и тем больше соответствующий эффект повреждения и ущерба. Поэтому в основу классификации суточных осадков в количестве 50 мм и более по интенсивности была положена соответствующая архивная информация о величинах повреждения и ущерба, и климатические особенности Грузии ([Элизбарашвили, 2017](#); [Varazanashvili et al., 2012](#)).

Таблица 1. Классификация интенсивных осадков

Интенсивность	Баллы	Суточный максимум осадков, мм	Возможное повреждение
слабая	1	50–100	Возможно повреждение линий связи и электропередачи, нарушение работы транспорта. Частично повреждены посевы.
средняя	2	101–150	Повреждены линии связи и электропередачи, нарушена работа транспорта, возможны волнение в море и на водохранилищах. Повреждены сады, виноградники, и посевы зерновых культур. Возможны жертвы домашнего скота.
сильная	3	151–200	Повреждены линии связи и электропередачи, нарушена работа транспорта, возможны волнение в море и на водохранилищах. Существенно повреждены сады, виноградники и посевы зерновых культур. Возможно повреждение зданий. Возможны жертвы домашнего скота, имеется некоторый риск гибели людей.
очень сильная	4	201–250	Повреждены линии связи и электропередачи, нарушена работа транспорта, отмечается волнение в море и на водохранилищах. Уничтожены сады, виноградники и посевы. Повреждены здания. Имеются жертвы домашнего скота, имеется риск гибели людей.
сверхсильная	5	более 250	Повреждены линии связи и электропередачи, нарушена работа транспорта, отмечаются волнение в море и на водохранилищах. Полностью уничтожены урожай сельскохозяйственных культур, посевы и пастбища. Повреждены и разрушены здания. Имеется угроза повреждения гидротехнических сооружений. Имеются жертвы домашнего скота, имеется риск гибели людей.

Как следует из [таблицы 1](#), выделены 5 градаций интенсивностей осадков с суточной суммой, равной 50 мм и более, которые могут вызвать соответствующие отрицательные эффекты: слабый, средний, сильный, очень сильный и сверхсильный.

В соответствии с представленной классификацией разработана карта максимальной интенсивности осадков ([Рисунок 1](#)). Из [Рисунка 1](#) следует, что сверхсильная и очень сильная интенсивности суточных максимумов осадков отмечены в центральной части черноморского побережья и составляет 4–5 балла, что соответствует суточным осадкам более 200 мм. Северная часть побережья, а также Абхазия, значительная часть Колхидской низменности, Западная часть Большого Кавказа и центральная часть Восточной Грузии характеризуются сильной интенсивностью осадков (3 балла), т.е. здесь за сутки могут выпасть осадки в количестве 150–200 мм. Слабо интенсивны экстремально интенсивные осадки в степной части Восточной Грузии, где их интенсивность не превышает 1 балл, а суточный максимум осадков не превышает 100 мм. Тем не менее, осадки такой интенсивности также могут вызвать стихийные бедствия.

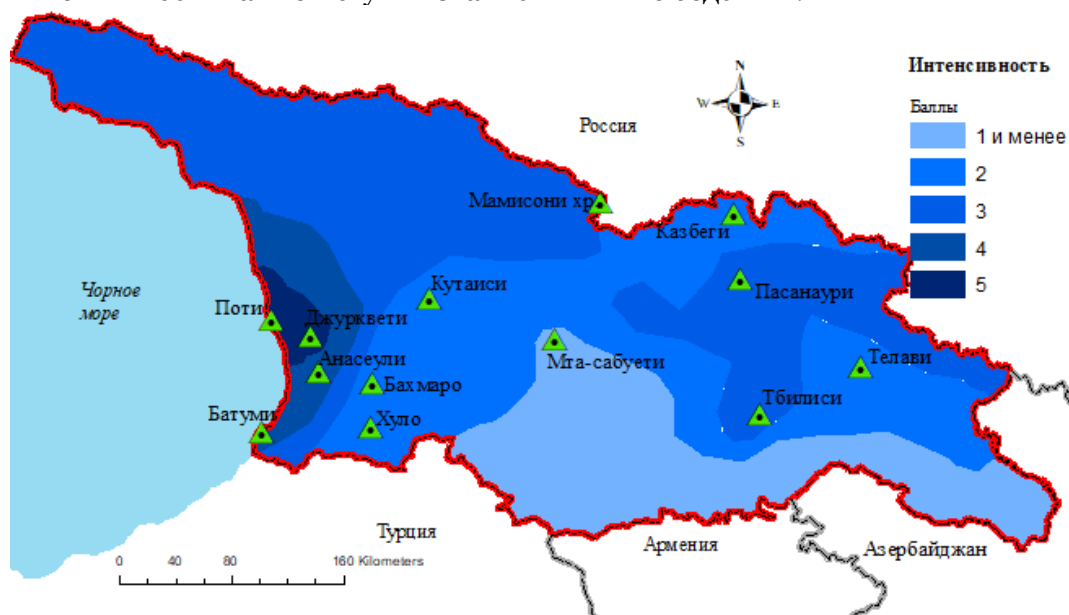


Рис. 1. Максимальная интенсивность осадков (баллы)

Распределение повторяемостей интенсивностей осадков имеет экспоненциальный характер, наибольшая повторяемость соответствует интенсивности 1 балл ([Рисунок 2](#)). Вместе с тем, характер кривой распределения существенно зависит от физико-географических условий местности и особенностей режима осадков. В частности, на Черноморском побережье (Батуми, Потти) повторяемость интенсивности экстремально интенсивных осадков в 1 балл колеблется в пределах 45–50 %, тогда, как соответствующая вероятность в Бахмаро и Тбилиси существенно больше (91 и 76 %). Такой характер кривых повторяемостей объясняется характерными для Черноморского побережья экстремально интенсивными осадками средней и сильной интенсивности, в то время, как на равнинах Восточной Грузии и в горах преобладают экстремально интенсивные осадки слабой интенсивности.

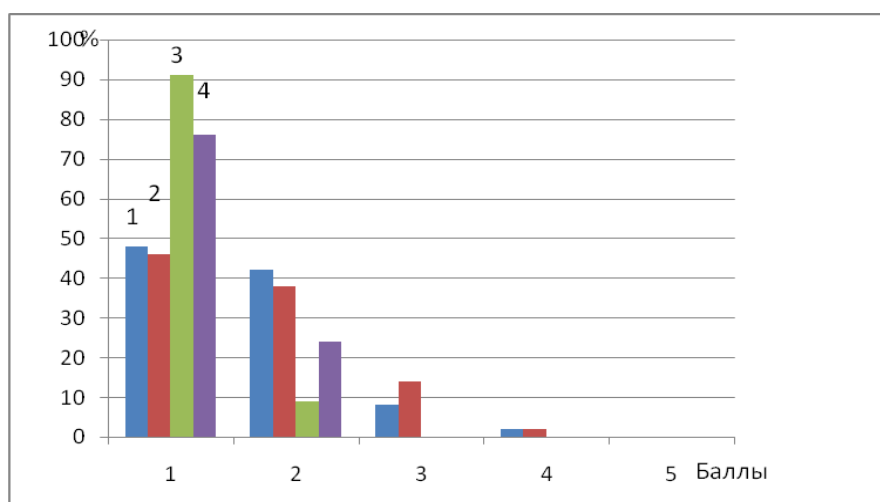


Рис. 2. Повторяемость различных интенсивностей экстремально интенсивных осадков в баллах: 1 – Батуми; 2 – Поты; 3 – Бахаро; 4 – Тбилиси

В Таблице 2 представлены климатические характеристики экстремальных суточных, суточной интенсивностью 50 мм/сут и более, и экстремальных пятисуточных сумм осадков, где они выпадают в значительном количестве-среднее и наибольшее число дней, средний и наибольший суточные максимумы, максимальная интенсивность осадков для основных физико-географических районов Грузии и использованный материал.

Таблица 2. Климатические характеристики экстремальных суточных, суточной интенсивностью 50 мм/сут и более, и экстремальных пятисуточных сумм осадков

Район	Пункт	R50 дни	R50 max дни	RX1 мм	RX1 max мм	Imax баллы	RX5 мм	RX5 max, мм мм	Использованный материал, гг
Черноморское побережье и Колхидская низменность	Батуми	5.2	15	66	239	4	220	339	1936–2015
	Анасеули	3.6	11	71	205	4	192	292	1957–1992
	Поти	3.6	12	72	268	5	194	374	1957–2015
	Джурквеги	-	-	-	350	5	-	-	1948–1990
	Кутаиси	1.4	6	58	126	2	134	279	1936–2015
Лихский и Аджаро-Имеретинский хребты	Мта-Сабуеги	0.5	2	57	89	1	-	-	1959–2015
	Бахаро	1.8	4	60	115	2	138	265	1936–2015
	Хуло	1.9	6	61	133	2	143	256	1957–2015
Равнины и предгорье Восточной Грузии	Тбилиси	0.4	3	67	147	3	68	175	1936–2015
	Телави	0.7	3	60	116	2	-	-	1956–2015
Большой Кавказ	Пасанаури	0.6	4	64	149	3	-	-	1936–2015
	Казбеги	0.8	4	60	129	2	-	-	1957–1992
	Мамисонский пер.	0.1	1	103	185	3	-	-	1957–1992

В Таблице 2 **R50** – среднее число дней с осадками 50мм и более, **R50 max** – наибольшее среднее число дней с осадками 50мм и более, **RX1** – средний суточный максимум осадков интенсивностью 50мм/сут и более, **RX1 max** – наибольший суточный максимум осадков интенсивностью 50мм/сут и более, **Imax** – максимальная интенсивность осадков, рассчитанная в соответствии с классификацией интенсивных осадков,

представленной в таблице 1, **RX5** – средняя сумма экстремальных пятисуточных сумм осадков, **RX5 max**-наибольшая сумма экстремальных пятисуточных сумм осадков.

Из [Таблицы 2](#) следует, что наибольшее число дней с интенсивными осадками отмечается на Черноморском побережье (Батуми, Анасеули, Потти), составляя в среднем 2–5 за год, а в отдельные годы достигает 15. При этом суточная сумма осадков может составить 170-230 мм и более (Джурквети, 350 мм). Здесь экстремально интенсивные осадки могут оказать сверхсильный и очень сильный отрицательные эффекты воздействия (интенсивность 4-5 балла). На Колхидской низменности (Кутаиси) и в горах Западной Грузии (Бахмаро, Хуло) число дней с интенсивными осадками не превышает в среднем 2-х за год, наибольшая суточная сумма осадков колеблется в пределах 90–130 мм. В Восточной Грузии (Тбилиси, Телави) и на Большом Кавказе (Пасанаури, Казбеги, Мамисонский перевал) суточные осадки такой интенсивности ежегодно не отмечаются, хотя в случае выпадения их суточная сумма достаточно значительна (116–185 мм). Северная часть Черноморского побережья, а также значительные части Колхидской низменности, Большого Кавказа и Восточной Грузии характеризуются средней и сильной интенсивностью осадков (2-3 балла), т.е. здесь за сутки могут выпасть осадки в количестве 100–200 мм.

Особую опасность представляют суточные осадки превышающие 80мм, при которых в любых горных системах, независимо от их геологического строения, прогнозируют возникновение селей ([Швер, 1984](#)). Среднее годовое число дней с осадками 80 мм и более составляет в Батуми 4,8, в Анасеули 3, в Потти 1,2, а в Бахмаро и Хуло, а также в остальных районах Грузии осадки в таком количестве выпадают 1-2 раза за 10 лет или еще реже.

Согласно данным таблицы 2 экстремальные пятисуточные суммы осадков наиболее значительны также на Черноморском побережье, составляя в среднем 190-220 мм, достигая максимума 290-370 мм. На Колхидской низменности и в горах Западной Грузии средняя сумма пятисуточных осадков уменьшается до 130-140 мм, а наибольшая сумма осадков уменьшается до 250-280 мм. На равнинах Восточной Грузии соответственно имеем 68-70 мм и 175 мм. В целом, вклад пятисуточных сумм осадков довольно высок и составляет в среднем 40-60 % от их месячной суммы.

На [Рисунке 3](#) представлена диаграмма максимальных сумм осадков выпадающих за различные интервалы временного осреднения на территории Грузии по всей выборке. Из рис.3 следует, что с увеличением интервала временного осреднения максимальное количество выпадающих осадков возрастает, однако это не имеет пропорциональный характер. Кратковременные осадки, продолжительностью до 3 час, наиболее интенсивны, так, как они формируются во влажнонеустойчивых воздушных массах с активными быстропроходящими циклонами, при преобладающей роли холодных фронтов. Продолжительные осадки менее интенсивны, они формируются при адиабатических и неадиабатических процессах охлаждения воздуха, которые протекают вяло, неинтенсивно и вызваны медленно перемещающимися циклонами, малоактивными теплыми и размытыми фронтами и окклюзиями ([Жаков, 1982](#)).

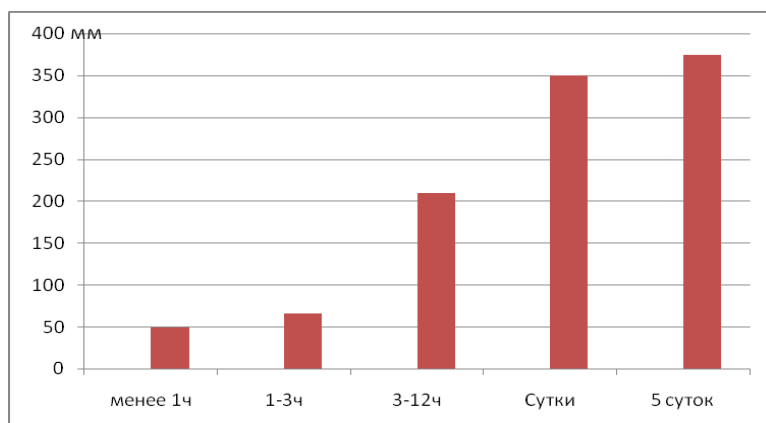


Рис. 3. Максимальное количество осадков выпадающее за различные интервалы времени на территории Грузии

Вероятность выпадения экстремально интенсивных осадков

В **Таблице 3** представлены вероятности выпадения экстремально интенсивных осадков по месяцам в различных физико-географических условиях Грузии. Из таблицы следует, что вероятность выпадения экстремально интенсивных осадков в течении месяца в целом на территории Грузии существенно изменчива. Наиболее характерны они для Черноморского побережья (Батуми, Анасеули, Поти), где экстремально интенсивные осадки выпадают почти в течении всего года. Их выпадение наиболее вероятно осенью и зимой, когда вероятность выпадения экстремально интенсивных осадков достигает 100 %, т.е. они выпадают ежегодно (Батуми-декабрь, январь). На Колхидской низменности (Кутаиси) вероятность выпадения экстремально интенсивных осадков уменьшается и максимум (29 %) соответствует октябрю. Октябрский максимум отмечается также в горах Западной Грузии - на Лихском хребте (Мта-Сабуети) и в Хуло (35-38 %). На остальной части территории Грузии вероятность выпадения экстремально интенсивных осадков не столь значительна, в Восточной Грузии (Тбилиси, Телави, Пасанаури) и в высокогорной зоне (Казбеги) экстремально интенсивные осадки в зимние месяцы практически не выпадают или выпадают очень редко. Вероятность их выпадения за остальные месяцы также невелика (28 % и менее), тем не менее, в отдельные годы могут выпасть экстремально интенсивные осадки значительной интенсивности.

Таблица 3. Вероятность выпадения экстремально интенсивных осадков (50 мм/с и более) %

Район	Пункт	месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Черноморское побережье и Колхидская низменность	Батуми	97	90	78	56	55	77	79	75	75	84	85	100
	Анасеули	24	26	10	5	3	32	42	35	67	70	44	44
	Поти	8	2	0	2	0	33	65	70	83	52	24	17
Лихский и Аджаро-Имеретинский хребты	Кутаиси	5	3	6	2	3	18	19	16	16	29	14	22
	Мта-Сабуети	0	0	0	0	2	10	6	2	2	10	4	10
	Бахмаро	10	15	5	0	2	0	5	12	22	38	25	21
Хуло	Хуло	15	17	6	4	2	3	2	1	14	35	22	26
	Равнины и предгорье Восточной Грузии	0	0	2	3	3	6	6	6	3	3	5	0
Большой Кавказ	Тбилиси	0	0	2	2	17	28	9	9	8	3	6	0
	Телави	0	0	2	2	17	28	9	9	8	3	6	0
Пасанаури	Пасанаури	0	0	2	3	5	8	9	3	3	9	6	3
	Казбеги	2	5	2	6	8	9	11	15	6	5	2	0

Многолетнее изменение характеристик катастрофических осадков

Анализ многолетних рядов климатических характеристик осадков (числа дней, максимальных суточных и максимальных пятисуточных сумм осадков, интенсивностей) подтвердил полученный нами ранее вывод об отсутствии закономерной тенденции в изменении этих характеристик в условиях глобального потепления в целом на территории Грузии ([Элизбарашвили и др., 2016](#)), хотя на отдельных станциях, расположенных на Лихском и Аджаро-Имеретинском хребтах изменения статистически значимы (**Таблица 3**). Из таблицы 3 следует, что число дней с интенсивными осадками на станциях Мта-Сабуети и Бахмаро уменьшается со скоростью соответственно 0.2 и 0.3 дня, а в Хуло возрастает со скоростью 0.57 дней за декаду. Суточные максимумы осадков также уменьшаются на станциях Мта-Сабуети, Бахмаро и Казбеги. Указанные изменения статистически значимы на высоком уровне значимости.

Таблица 4. Декадные скорости изменения числа дней с осадками 50мм и более(**R50**), суточных максимумов осадков интенсивностью 50мм/сут и более(**RX1**), суммы экстремальных пятисуточных осадков(**RX5**) и соответствующие статистические уровни значимости **p**

Пункт	R50		RX1		RX5	
	скорость	p	скорость	p	скорость	p
Мта-Сабуети	-0.2	0.002	-3.7	0.002	-1.7	0.56
Бахмаро	-0.3	0.02	-2.8	0.01	-3.2	0.20
Хуло	0.57	0.005	3.4	0.11	6.9	0.11
Казбеги	-0.5	0.15	-11	0.05	-16.7	0.1

Примечание: жирным шрифтом обозначены значимые изменения

Для выявления различий в средних значения климатических характеристик за различные периоды осреднения был использован критерий Стюдента. В результате сравнения критериев Стюдента за два периода – за период рекомендованный ВМО (1961–1990 гг.) и за период интенсивного глобального потепления (после 1990г), с его критическими значениями подтвердилось, что на значительной части территории различие в средних значениях за 2 периода также имеет случайный характер. Лишь на отдельных станциях, расположенных также на Аджаро-Имеретинском хребте (Бахмаро, Хуло) и в южной части Черноморского побережья (Батуми) выявляются некоторые изменения. В названных пунктах в рядах числа дней с экстремально интенсивными осадками различие между средними значениями за 2 периода оказалось значимой с надежностью вывода 0.95. Кроме того статистически значимо изменение максимальных пятисуточных сумм осадков на станции Хуло. При этом, в этих пунктах средние значения числа дней с экстремально интенсивными осадками за период интенсивного глобального потепления уменьшаются, исключением является Хуло, где число дней с экстремально интенсивными осадками и максимальные пятисуточные суммы осадков возрастают (**Рисунок 4**), что также хорошо согласуется с данными **Таблицы 3**. Такой характер изменения климатических характеристик экстремально интенсивных осадков можно объяснить особенностями многолетнего изменения атмосферных осадков, согласно которым на значительной части территории Грузии в условиях глобального потепления осадки уменьшались, на отдельных же участках, в том числе горах Аджарии (Хуло) они возрастали ([Elizbarashvili et al., 2017](#)).

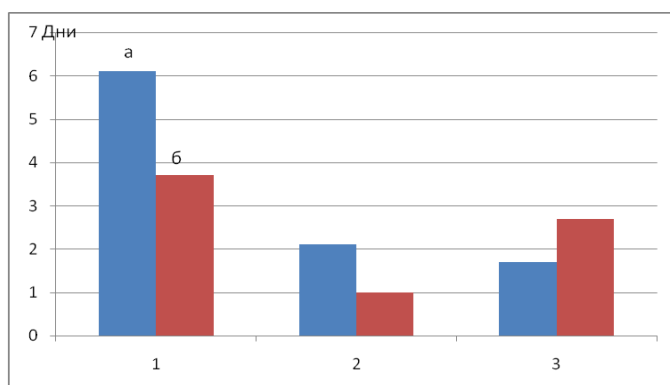


Рис. 4. Сравнение средних значений числа дней с экстремально интенсивными осадками за два периода осреднения, разность между которыми значима с надежностью вывода 0.95: а) 1961–1990 гг.; б) 1991–2016 гг.; 1 – Батуми, 2 – Бахмаро, 3 – Хуло

3. Заключение

В результате проведенного исследования установлены географические закономерности распределения характеристик катастрофических осадков. Выполнена классификация интенсивных осадков и разработана карта максимальной интенсивности осадков, определены вероятности выпадения экстремально интенсивных осадков, оценены тренды многолетнего изменения и выявлены некоторые статистические различия в средних значениях климатических характеристик экстремальных осадков за различные периоды осреднения. Полученные результаты расширяют наши представления о географии, структуре и динамике характеристик катастрофических осадков на территории Грузии.

Литература

- Алибегова, Элизбарашвили, 1980 – Алибегова Ж.Д., Элизбарашвили Э.Ш. Статистическая структура атмосферных осадков в горных районах. Л.: Гидрометеиздат, 1980, 136 с.
- Алибегова, 1985 – Алибегова Ж.Д. Пространственно-временная структура полей жидких осадков. Л.: Гидрометеиздат, 1985, 229 с.
- Жаков, 1982 – Жаков С.И. Общие закономерности режима тепла и увлажнения на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1982, 239 с.
- Классификация катастроф... – Классификация катастроф по числу пострадавших [Электронный ресурс]. URL: <https://lektsii.com/2-109469.html>
- Кренке, Чернявская, 2003 – Кренке А.Н., Чернявская М.М. Районирование территории России по сочетанию климатических экстремумов – условий возникновения чрезвычайных ситуаций. *Известия РАН, с. географическая*, 2003, № 2, с. 17-25.
- Научно-прикладной справочник..., 1979 – Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6, вып.14. Л.: Гидрометеиздат, 1979, 347 с.
- Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе, 1983 – Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе. Л.: Гидрометеиздат, 1983, 263 с.
- Румшицкий, 1971 – Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М.: Наука, 1971, 192 с.
- Справочник по климату СССР, 1967 – Справочник по климату СССР. Вып.14, часть 2. Л.: Гидрометеиздат, 1967, 373 с.
- Швер, 1984 – Швер Ц.А. Закономерности распределения количества осадков на континентах. Л.; Гидрометеиздат, 1984, 283 с.
- Шойгу и др., 2002 – Шойгу, С.К., Фалеев, М.И., Кириллов, Г.Н. и др. Учебник спасателя. Под общей редакцией ЮЛ. Воробьева. Краснодар: «Сов. Кубань», 2002. 528 с.
- Элизбарашвили и др., 2016 – Элизбарашвили Э.Ш., Элизбарашвили М.Э., Куталадзе Н.Б. и др. Пространственно-временные изменения климатических индексов увлажнения на территории Грузии в условиях глобального потепления. *Метеорология и гидрология*, 2016, №4: 45-53.
- Элизбарашвили, 2017 – Элизбарашвили Э. Ш. Климат Грузии. Тбилиси. Институт Гидрометеорологии, 2017, 360 с. (На груз. яз).
- Элизбарашвили, Чавчанидзе, 1982 – Элизбарашвили Э.Ш., Чавчанидзе З.Б. Дождливые периоды на территории Грузии. *Сообщения АН ГССР*, 107, 1982, №2, с. 321-324.
- Climate Change, 2001 – Climate Change. The Scientific Basis. Ed. by J.T. Houghton et al. Cambridge UK, Cambridge Univ. Press. 2001, 881 p.
- Climate Change Indices – Climate Change Indices [Electronic resource]. URL: <http://etccdi.pacificclimate.org/indices.shtml>
- Elizbarashvili et al., 2017 – Elizbarashvili M., Elizbarashvilia E., Tatishvili M. et al. Georgian climate change under global warming conditions. *Annals of Agrarian Science*, 2017, 15: 17-25.
- Groisman et al., 1999 – Groisman P.Y., Karl T.R., Easterling D.R. et al. Changes probability heavy precipitation: Important indicator of Climate Changes. *Climate Change*, 1999, V.42: 243-283.
- Peterson, 2005 – Peterson T.C. Climate Change Indices. *WMO Bulletin*, 2005, 54 (2): 83-86.
- Varazanashvili et al., 2012 – Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Elizbarashvili E. et al. Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. *Natural Hazards*, 2012, Vol.64: 2021-2056.

References

- Alibegova, Elizbarashvili, 1980** – Alibegova, Zh.D., Elizbarashvili, E.Sh. (1980). Statisticheskaya struktura atmosferykh osadkov v gornyykh raionakh [Statistical structure of precipitation in mountainous regions]. L.: Gidrometeoizdat, 136 p. [in Russian]
- Alibegova, 1985** – Alibegova, Zh.D. (1985). Prostranstvenno-vremennaya struktura polei zhidkikh osadkov [Spatio-temporal structure of liquid sediment fields]. L.: Gidrometeoizdat, 229 p. [in Russian]
- Climate Change, 2001** – Climate Change. The Scientific Basis. Ed. by J.T. Houghton et al. Cambridge UK, Cambridge Univ. Press. 2001, 881 p.
- Climate Change Indices** – Climate Change Indices [Electronic resource]. URL: <http://etccdi.pacificclimate.org/indices.shtml>
- Elizbarashvili et al., 2017** – Elizbarashvili, M., Elizbarashvili, E., Tatishvili, M. et al. (2017). Georgian climate change under global warming conditions. *Annals of Agrarian Science*, 15: 17-25.
- Elizbarashvili i dr., 2016** – Elizbarashvili, E.Sh., Elizbarashvili, M.E., Kutaladze, N.B. i dr. (2016). Prostranstvenno-vremennyye izmeneniya klimaticheskikh indeksov uvlazhneniya na territorii Gruzii v usloviyakh global'nogo potepeniya [Spatio-temporal changes in the climatic indices of humidification in Georgia under global warming]. *Meteorologiya i gidrologiya*, №4: 45-53. [in Russian]
- Elizbarashvili, 2017** – Elizbarashvili, E.Sh. (2017). Klimat Gruzii [Climate of Georgia]. Tbilisi. Institut Gidrometeorologii, 360 p. (Na gruz. yaz). [in Russian]
- Elizbarashvili, Chavchanidze, 1982** – Elizbarashvili, E.Sh., Chavchanidze, Z.B. (1982). Dozhdlivye periody na territorii Gruzii [Rainy periods in Georgia]. *Soobshcheniya AN GSSR*, 107, №2: 321-324. [in Russian]
- Groisman et al., 1999** – Groisman, P.Y., Karl, T.R., Easterling, D.R. et al. (1999). Changes probability heavy precipitation: Important indicator of Climate Changes. *Climate Change*, V. 42: 243-283.
- Klassifikatsiya katastrof...** – Klassifikatsiya katastrof po chislu postradavshikh [Classification of disasters by the number of victims]. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://lektii.com/2-109469.html> [in Russian]
- Krenke, Chernyavskaya, 2003** – Krenke, A.N., Chernyavskaya, M.M. (2003). Raionirovanie territorii Rossii po sochetaniyu klimaticheskikh ekstremumov – uslovii vozniknoveniya chrezvychaynykh situatsii [Zoning of the territory of Russia by a combination of climatic extremes – emergency conditions]. *Izvestiya RAN, s. geograficheskaya*, № 2: 17-25. [in Russian]
- Nauchno-prikladnoi spravochnik..., 1979** – Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR [Scientific-applied reference on the climate of the USSR]. Seriya 3. Mnogoletnie dannye. Chasti 1-6, vyp.14. L.: Gidrometeoizdat, 347 p. [in Russian]
- Opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya na Kavkaze, 1983** – Opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya na Kavkaze [Dangerous hydrometeorological phenomena in the Caucasus]. L.: Gidrometeoizdat, 1983, 263 p. [in Russian]
- Peterson, 2005** – Peterson, T.C. Climate Change Indices. *WMO Bulletin*, 2005, 54 (2): 83-86.
- Rumshiskii, 1971** – Rumshiskii, L.Z. (1971). Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov eksperimenta [Mathematical processing of experimental results]. M.: Nauka, 192 p. [in Russian]
- Shoigu i dr., 2002** – Shoigu, S.K., Faleev, M.I., Kirillov, G.N. i dr. (2002). Uchebnik spasatelya [Rescue textbook]. Pod obshchei redaktsiei YuL. Vorob'eva. Krasnodar: «Sov. Kuban'», 528 p. [in Russian]
- Shver, 1984** – Shver, Ts.A. (1984). Zakonomernosti raspredeleniya kolichestva osadkov na kontinentakh [Patterns of rainfall distribution on the continents]. L.: Gidrometeoizdat, 283 p. [in Russian]
- Spravochnik po klimatu SSSR, 1967** – Spravochnik po klimatu SSSR [Handbook of the USSR Climate]. Vyp.14, chast' 2. L.: Gidrometeoizdat, 1967, 373 p. [in Russian]
- Varazanashvili et al., 2012** – Varazanashvili, O., Tsereteli, N., Amiranashvili, A., Elizbarashvili E. et al. (2012). Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. *Natural Hazards*, Vol.64: 2021-2056.
- Zhakov, 1982** – Zhakov, S.I. (1982). Obshchie zakonomernosti rezhima tepla i uvlazhneniya na territorii SSSR [General patterns of heat and moisture in the USSR]. L.: Gidrometeoizdat, 239 p. [in Russian]

Катастрофические осадки на территории Грузии

Элизбар Шалвович Элизбарашвили ^{a, b, *}, М.Э. Элизбарашвили ^c, Ш.Э. Элизбарашвили ^a,
М.Г. Пипиа ^a, Н.З. Челидзе ^a

^a Грузинский технический университет, Институт гидрометеорологии, Грузия

^b Телавский Государственный Университет им. Я. Гогебашвили, Грузия

^c Тбилисский государственный университет им. Ив. Джавахишвили, Грузия

Аннотация. По материалам наблюдений более 20 метеорологических станций исследованы число дней с осадками 50мм и более, максимальные суточные и максимальные пятисуточные суммы осадков, периоды их выпадения, вероятности и интенсивности на территории Грузии. Выполнена классификация интенсивных осадков и разработана карта максимальной интенсивности осадков. Оценены тренды многолетнего изменения климатических характеристик экстремальных осадков, выявлены некоторые статистические различия в средних значениях характеристик за различные периоды осреднения.

Ключевые слова: катастрофические осадки, число дней, сумма, интенсивность, тренд.

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: eelizbar@hotmail.com (Э.Ш. Элизбарашвили),
mariam.elizbarashvili@tsu.ge (М.Э. Элизбарашвили), info@ball.com (Ш.Э. Элизбарашвили),
mishapipia@yahoo.com (М.Г. Пипиа), nananebieridze@mail.ru (Н.З. Челидзе)