

**ЭРОЗИОННЫЕ, РУСЛОВЫЕ И УСТЬЕВЫЕ
ПРОЦЕССЫ (ИССЛЕДОВАНИЯ МОЛОДЫХ
УЧЕНЫХ УНИВЕРСИТЕТОВ)**

**Сборник статей по материалам XI семинара молодых ученых вузов,
объединяемых советом по проблеме эрозионных,
русловых и устьевых процессов**

Нижний Новгород
2016

вания и охраны земельных ресурсов / Ю.П. Качков [и др.] // Земля Беларуси. 2008. № 4. С. 51–56.

Номенклатурный список почв Беларуси (для целей крупномасштабного картографирования). Минск, 2002. 19 с.

Червань, А.Н. Геопространственная оценка потенциальной степени проявления водной эрозии почв / А.Н. Червань // Плодородие почв и эффективное применение удобрений: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию основания Института, Минск, 5-8 июля 2011 г. / редкол. : В.В. Лапа [и др.]. Минск: Институт почвоведения и агрохимии, 2011. 336 с. С.151-154.

Червань, А.Н. Структура почвенного покрова в геоинформационной оценке почвенно-ресурсного потенциала сельскохозяйственной организации // Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Випуск 75. Харків: ННЦ "ІА імені О.Н. Соколовського", 2011. 144 с. С. 78-84.

Н.А. Чижикова, к.б.н., доцент,
Казанский (Приволжский) федеральный университет

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ТРЕНДОВ
ИЗМЕНЕНИЙ ЛИВНЕВЫХ ОСАДКОВ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ
ТЕРРИТОРИИ РОССИИ КАК ФАКТОРА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПОВ
ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ЗА ПЕРИОД 1960-2015¹**

(научный руководитель – д.г.н. В.Н. Голосов)

Осадки, в своих различных проявлениях, могут приводить к эрозионным последствиям, начиная от мельчайших, незаметных глазу изменений, и заканчивая катастрофическими, такими как оползни, выход рек из берегов и др. Знание об изменениях количества осадков, изменениях интенсивности и длительности периодов их выпадения, произошедших за последние десятилетия, является необходимым (хотя и не единственным) условием для объяснения эволюции эрозионных процессов на изучаемой территории.

Анализ существующих работ по изучению режима осадков на Европейской территории России (ЕТР) показал, что максимальные выпадения на территории европейской части России наблюдаются во время теплого сезона, с наиболее сильными дождями (осадками), возникающими практически всегда из конвективных облаков [Sun et al. 2001]. Примерно 95% суточных выпадений осадков составляют менее, чем 10 мм/сутки, однако отмечается, что, как и северная, так и южная часть (южнее 60 град. с. ш.)

¹ Выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект №15-05-20006).

европейской части России демонстрируют увеличение летних осадков на 10% за период с 1936 по 2010 гг. [Groisman et al., 2005; Groisman et al., 2013]. Экстремальные осадки на территории европейской части России приурочены к дождям (периодам выпадения дождя) длительностью 1-2 дня, по сравнению с Европой, где экстремальные осадки представляют собой периоды длительностью 2-3 дня. Это объясняется континентальным климатом данной части России, и, в частности, тем, что здесь усиливается роль конвективных осадков по сравнению с фронтальными осадками [Zolina, 2011]. Как отмечается в работах [Zolina, 2011; Groisman et al., 1999], рост суммарного количества осадков и интенсивности экстремальных дождевых проявлений в Европе за последние 60 лет сопровождается значительным изменением их структуры: характерная длительность дождливых периодов смещается от периодов в 1-2 дня к более длительным.

В результате изменений за последние 60 лет на территории Европы в целом, экстремальные осадки, связанные с длительными периодами, начинают представлять всё большую часть суммарных годовых осадков. Важно отметить, что, становясь более длительными, периоды выпадения осадков становятся и более обильными [Zolina, 2012]. Тяжелые и экстремальные осадки Европы за период 1990-2010 гг. начинают всё чаще ассоциироваться с более длительными периодами выпадений осадков и становятся всё более интенсивными по сравнению с 1950-ми и 1960-ми годами. Интенсивность экстремальных выпадений, связанных с длинными периодами, для европейской территории России характеризуется восходящим трендом (>5% в декаду), что означает увеличение суточных экстремальных выпадений на 4-9 мм за 60-летний период [Zolina, 2012].

Отмеченные в литературе тренды по увеличению экстремальности осадков согласуются с положениями о повышении за последние декады влагоудерживающей способности воздуха [Santer et al. 2007; Schneider et al. 2010]. Это, в свою очередь, провоцирует увеличение кучево-дождевых облаков, что было отмечено для бывшей территории СССР в работе [Sun et al., 2001].

Целью данной работы является анализ пространственно-временных трендов ливневых осадков на территории ЕТР за период 1960-2015 гг. как фактора изменения темпов эрозионных процессов. В работе [Ларионов, 1993] по созданию карты эрозионного индекса осадков (ЭИО) была выявлена высокая корреляционная связь между суточными слоями осадков и эрозионным индексом дождя, выпавшего в течение этих суток. В отсутствие на большинстве метеостанций данных об интенсивности осадков, в данной работе для анализа возможных изменений ЭИО взята информация о суточных осадках слоем >10 мм.

Текущий анализ был проведен на основе данных о суточном слое осадков 176 метеостанций ЕТР за период 1960-2015 гг. по данным архива метеоданных ВНИИГМИ-МЦД (<http://aisori.meteo.ru/ClimateR>) [Булыгина

и др., 2014]. При выборе станций допускались отклонения по количеству лет, обеспеченных данными. В анализе участвовали станции, где период наблюдений составил не менее 49 лет (допускались отклонения начала измерений в сторону от 1960 г. до 1966 г., и конца измерений от 2015 г. до 2014 г.). Из рядов данных были исключены года, если в них количество отсутствующих измерений для них превышало 20% в соответствии с рекомендациями [Zolina, 2012].

Проанализированы пространственно-временные изменения: (а) частот выпадения и (б) сумм осадков теплого периода (с мая по сентябрь включительно), соответствующих суточным слоям >10 мм, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 и >50 мм. Для каждой метеостанции была построена модель линейного тренда анализируемой величины (годовой частоты или годовой суммы осадков перечисленных суточных слоев) в зависимости от календарного года, а также была оценена статистическая значимость отличия тренда от нуля. Все вычисления выполнены в среде статистического анализа R [R Core Team, 2016].

На начало изучаемого периода минимальные значения числа суточных осадков слоем >10 мм отмечены для метеостанций засушливых регионов юга ЕТР (Верхний Баскунчак, Астрахань и др.) и составили 1.5-3 случая в год*. Максимальная частота суточных осадков теплого периода слоем >10 мм в 1960 г. зафиксирована на ряде метеостанций в предгорьях Кавказа и составила 15-20 случаев в год*. Частота наиболее экстремальных осадков (>50 мм) для 75% станций (75% квантиль) на начало изучаемого периода не превышает одного события в 5 лет*.

На менее чем трети станций отмечен значимый тренд хотя бы по одной из анализируемых величин (50 станций из 176); тогда как при рассмотрении отдельных величин, количество станций с ненулевым трендом значительно меньше. Отсутствие массовых согласованных статистически значимых откликов может быть связано с континентальностью климата и самой сложностью процесса осадкообразования.

Положительные тенденции, свидетельствующие о росте частот и сумм ливневых осадков, отмечались в 1.5-3 раза чаще отрицательных. Так на 1960 год медиана числа суточных осадков теплого периода слоем >10 мм на основании линейных моделей составила 6.5 случаев в год, тогда как на 2015 год медиана числа осадков теплого периода слоем >10 мм составила уже 7.4 случаев в год*.

Основная часть станций, по данным которых был зафиксирован восходящий тренд ливневых осадков (слои >10, 10-20, 20-30, 30-40 мм), располагается в интервале между 50° и 60° с.ш. вдоль оси Брянск-Ижевск (рис. 1). Эта тенденция в центральной части ЕТР вероятно вызвана пере-

* Оценка среднего числа событий на указанный временной срез для каждой станции получена как прогноз линейной модели

распределением взаимодействующих воздушных потоков из Атлантики и Северного Ледовитого океана на фоне происходящих климатических изменений, что привело к росту частоты ливневых осадков.

Для предгорий Кавказа характерно снижение частоты и суммы осадков, относящихся к слоям 10-20, 20-30, 30-40 мм; и вместе с тем значимое повышение частоты наиболее экстремальных ливней, относящихся к слоям 40-50, 50 и более мм (рис. 1, табл. 1). Схожая тенденция на примере одной из метеостанций южной Европы отмечена и в работе [Zolina, 2012].

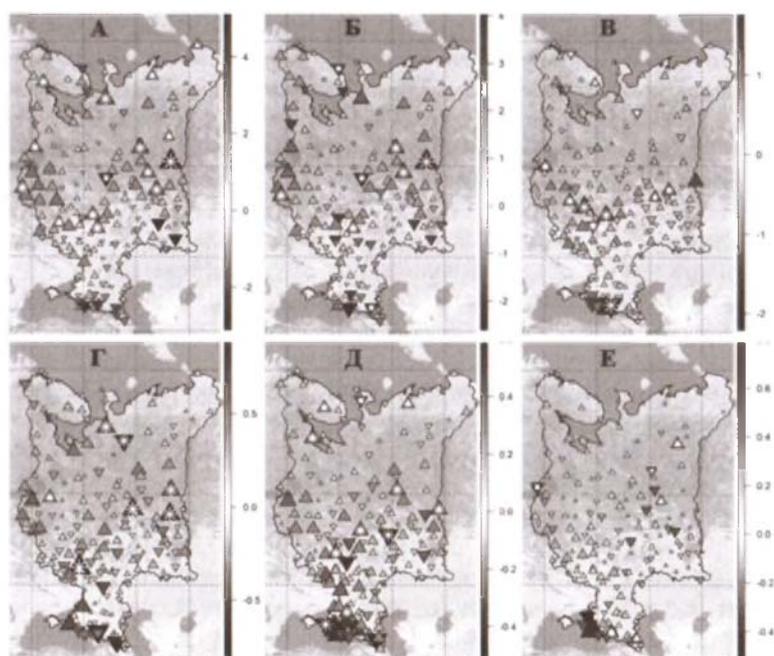


Рис. 1. Тренд частоты выпадений осадков теплого периода как разность между прогнозом линейной регрессионной модели в 2015 и 1960 гг. Слои осадков: (А) >10 мм, (Б) 10-20 мм, (В) 20-30 мм, (Г) 30-40 мм, (Д) 40-50 мм, (Е) >50 мм. Изменение частоты показано формой, размером и интенсивностью заливки значка. Треугольники с острым углом, направленным вверх, соответствуют положительным изменениям (увеличению частоты осадков теплого периода). Треугольники с острым углом, направленным вниз соответствуют отрицательной тенденции (уменьшению частоты). Звездочка внутри значка показывает станции, где наблюдается статистически значимая закономерность (коэффициент наклона линейной регрессии отличается от нуля при 0.05 уровне значимости).

Таблица 1. Изменение (линейный тренд) годового числа и суммы осадков для выпадений теплого периода (с мая по октябрь включительно), соответствующих слоям количества осадков. Изменение подсчитано как разность между прогнозными значениями линейной модели в 2015 и 1960 гг. Отрицательные значения соответствуют уменьшению числа (суммы осадков) выпадений, положительные – увеличению. Полужирный шрифт и серая заливка ячейки указывают на изменения, характеризующиеся 0.05 уровнем статистической значимости. В таблице приведены только те станции, у которых хотя бы одна модель статистически значима.

№	ID	Name	Широта	Долгота	Тренд числа выпадений теплого периода, соответ- ствующих слоям							Тренд суммы осадков теплого перио- да, соответствующих слоям					
					Слой количества осадков, мм							Слой количества осадков, мм					
					>10	10-20	20-30	30-40	40-50	>50	>10	10-20	20-30	30-40	40-50	>50	
1.	23022	Амдерма	69.75	61.7	2	1.5	0.3	0.2	0.1	0	41.1	23.6	9.1	5.4	3.1	0	
2.	22028	Териберка	69.2	35.12	-0.3	0.4	-0.8	0	0	0	-9.7	6.4	-19.8	1.3	2.6	-0.3	
3.	22140	Святой Нос	68.15	39.8	-1.9	-2.1	0	0.1	0	0	-26.8	-32.5	2.9	2.8	-1.4	1.5	
4.	22271	Шойна	67.88	44.13	0.7	0.9	0.1	0.1	-0.3	0	8.6	15.2	2.7	3.6	-12.1	-0.8	
5.	23205	Нарьян-Мар	67.63	53.03	2.3	1.4	0.5	0.2	0.3	0	54.1	22.1	9.1	7.2	10.7	5.1	
6.	22235	Краснощелье	67.35	37.05	0.8	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1	25.3	-1.4	2.8	9.2	11.2	3.7	
7.	22217	Кандалакша	67.15	32.35	2.8	1.8	0.8	0.1	0	0	54.5	29.6	21.2	3.8	-0.2	0	
8.	22249	Каневка	67.13	39.67	2	0.8	0.7	0.2	0.1	0	43	12.3	17.6	5.2	7.8	0	
9.	22471	Мезень	65.87	44.22	4.1	2.7	0.7	0.7	-0.1	0.1	86.1	38.8	17.2	23.7	-1.3	7.5	
10.	23405	Усть-Цильма	65.43	52.27							40.2	33	1.6	6.2	6.3	-7	
11.	22520	Кемь-порт	64.98	34.8	0.9	-0.2	0.5	-0.1	0.4	0.3	37.5	-6.2	13.6	-2.5	15.8	16.8	
12.	22583	Койнас	64.75	47.65	-1.1	0.3	-0.8	-0.7	0	0	-42.4	-1.4	-19.8	-22.4	1.4	-0.1	
13.	23514	Ираель	64.52	55.4	0.3	-0.5	0.3	0.2	-0.1	0.3	24.8	-4	8.5	6.7	-4.4	18.1	
14.	23711	Троицко-Печорское	62.7	56.2	2.2	2	-0.6	0.4	0.2	0.1	56.6	30.6	-13.9	16.5	11.1	12.2	
15.	23707	Усть-Вышь	62.23	50.42	0.4	-0.3	0.2	0.5	0.3	-0.3	16.5	-0.1	4	15.1	12.2	-14.7	
16.	22802	Сортавала	61.72	30.72	3.2	2.5	0.3	0.1	0.1	0.1							
17.	23804	Сыктывкар	61.68	50.78	3.7	2.8	0.5	0.3	-0.1	0.1	67.2	42	10.3	12.7	-4.5	6.7	
18.	22892	Выборг	60.7	28.71	1.9	1.3	0.3	0.4	0.1	-0.4	33.1	22.5	10.5	12.9	7.6	-20.5	
19.	23904	Койгородок	60.45	50.97	2.1	1.5	0.6	-0.2	0.4	-0.3	42.9	24	17.6	-5.8	18.6	-11.6	
20.	23914	Чердынь	60.4	56.52	5.2	4.1	0.4	0.7	0.1	0	93.9	61.3	6.7	22.3	4.1	-0.5	
21.	26063	Санкт-Петербург	59.97	30.3	1.9	0.6	1.2	-0.1	0.1	0.2	49.6	7.6	28.6	-4.2	8.2	9.5	
22.	26094	Тихвин	59.65	33.55	2.7	1.3	0.4	0.5	0.3	0	69.3	21.1	12.2	18.4	15.4	2.2	
23.	28009	Кирс	59.37	52.22	3.2	2.9	0.1	-0.3	0.3	0.3	55.1	36.7	2.7	-10.7	11.5	14.8	
24.	27164	Кологрив	58.82	44.32	-3.1	-2.5	-0.5	-0.2	-0.1	0.2	-46	-36.6	-11.6	-7.2	-3.2	12.6	
25.	28138	Бисер	58.52	58.85	1.7	-0.4	1.4	0.1	0.4	0	60.8	-6.1	33.8	20.4	6.7		

ID	Name	Широта	Долгота	Тренд числа выпадений теплого периода, соответ- ствующих слоям							Тренд суммы осадков теплого перио- да, соответствующих слоям					
				Слой количества осадков, мм							Слой количества осадков, мм					
				>10	10-20	20-30	30-40	40-50	>50	>10	10-20	20-30	30-40	40-50	>50	
26.	27199	Киров	58.52	49.32	1.5	1.4	-0.5	0.8	0.1	-0.3	17.1	19.6	-11.3	25.6	4.9	-21.6
27.	28224	Пермь	58	56.3	2.2	1.6	-0.1	0.8	-0.3	0	43.6	25.5	-1	29.4	-9.9	-0.4
28.	26258	Псков	57.8	28.3	3.5	2.3	0.6	0.5	0	0.2	76	27.9	17.5	17.3	2.1	11.2
29.	28312	Дебессы	57.63	53.82	3.7	2	1.2	0.3	0.2	0	71.3	26.2	29.2	10.6	8.2	-2.8
30.	26359	Пушкинские Горы	57.02	28.9	2.9	3	-0.2	0.3	0	-0.1						
31.	28402	Кильмезь	56.9	51.1	1.7	0.4	1.1	0	0	0.2	49.3	11.3	28.2	-1.7	0.3	11.2
32.	26499	Старина	56.5	34.93	3.1	1.3	1.2	0	0.3	0.2	74.5	16.1	29.5	1.1	14.6	13.4
33.	27459	Нижний Новгород	56.3	44	1.6	0	0.8	0.5	0.4	-0.1	43.8	-8.9	17.3	17.3	22.4	-4.3
34.	27612	Москва,ВДНХ	55.83	37.62	0.7	-0.7	1.8	-0.1	-0.1	-0.1	22.5	-7.9	42.8	-3.9	-4	-4.6
35.	27595	Казань	55.8	49.3	-0.3	0.7	-0.5	-0.1	-0.5	0	-21.7	13	-10.7	-2.7	-22.3	1
36.	27648	Елаьма	54.95	41.77	3.2	1.5	1.6	0.2	-0.3	0.2	71	23.5	39.4	9.7	-11.5	9.8
37.	27707	Сухиничи	54.1	35.35	2.6	1.9	0.7	-0.2	0	0						
38.	27823	Павелец	53.78	39.25	1.3	2.1	-1.2	-0.3	0.4	0.2	17.8	28	-31.1	-8.5	21.3	8.2
39.	27814	Плавск	53.65	37.23							78.3	12.4	25.1	8.9	11.8	20.3
40.	27857	Земетчино	53.48	42.63	3.3	2.3	0.6	0.3	0.1	-0.1	75.5	38.2	18	11.3	8.4	-0.4
41.	26898	Брянск	53.25	34.32							68.1	8	15.6	6.7	12.4	25.3
42.	35026	Зилаир	52.2	57.4							-56.1	-29.1	-18.1	-8.1	-2.1	1.4
43.	34026	Конь-Колодезь	52.15	39.15	-0.2	-1.8	0.5	0.9	0.1	0.1	21.2	-30.4	12.8	31.5	2.5	4.8
44.	34432	Чертково	49.38	40.17							55.5	21.4	15.3	1.7	18.5	-1.3
45.	34740	Гигант	46.52	41.35	0.4	-0.2	0.3	0	0.4	-0.1	23.3	1.2	7.7	0	18.6	-4.3
46.	37001	Анапа,МГ	44.9	37.3	0	-0.2	0.3	0.7	-0.5	-0.3	-13.6	-3.6	6.7	22.8	-21.5	-17.9
47.	37123	Кисловодск	43.9	42.72	1.2	0.8	0.6	-0.8	0.1	0.4	32.5	9	13.3	-26.5	4.2	32.6
48.	37126	Шаджатмаз	43.73	42.67	-2.3	-0.1	-2.2	-0.3	0	0.4	-42.1	0.1	-52.4	-11.9	1.6	20.6
49.	37244	Гудермес	43.35	46.12	-1.9	-2.1	0.5	-0.1	-0.1	0	-25.7	-31.3	12.9	-4.5	-3.7	1
50.	37472	Махачкала	43.01	47.48	0.2	-0.9	0.2	0.1	0.3	0.3	-9.7	6.4	-19.8	1.3	2.6	-0.3
Число станций со значимым трендом					15	8	11	7	13	7	18	10	12	7	12	7
Число станций со значимым + трендом					14	5	7	6	10	5	16	7	7	6	9	5
Число станций со значимым - трендом					1	3	4	1	3	2	2	3	5	1	3	2

Анализ динамики частоты осадков различными слоями (рис. 2) показал, что рост частоты продолжался до 1990 гг. После достижения максимальных значений рост либо стабилизировался, либо последовало плавное снижение набранных значений. В целом на ЕТР отмечается некоторый

рост ливневых осадков с различным сроком, в большей степени проявившийся в лесостепной зоне на западе территории и юге лесной зоны на востоке. Для предгорных районов Кавказа, выявленное увеличение доли экстремальных ливней, однозначно указывает на усиление ливневого смыва. Для остальной территории отсутствие выраженных значимых линейных тенденций изменения количества (частоты, суммы) ливневых осадков может свидетельствовать как о незначительном изменении суммарного эрозионного индекса осадков года, так и о нелинейности происходящего процесса по изменению режима осадков, что требует более детального анализа.

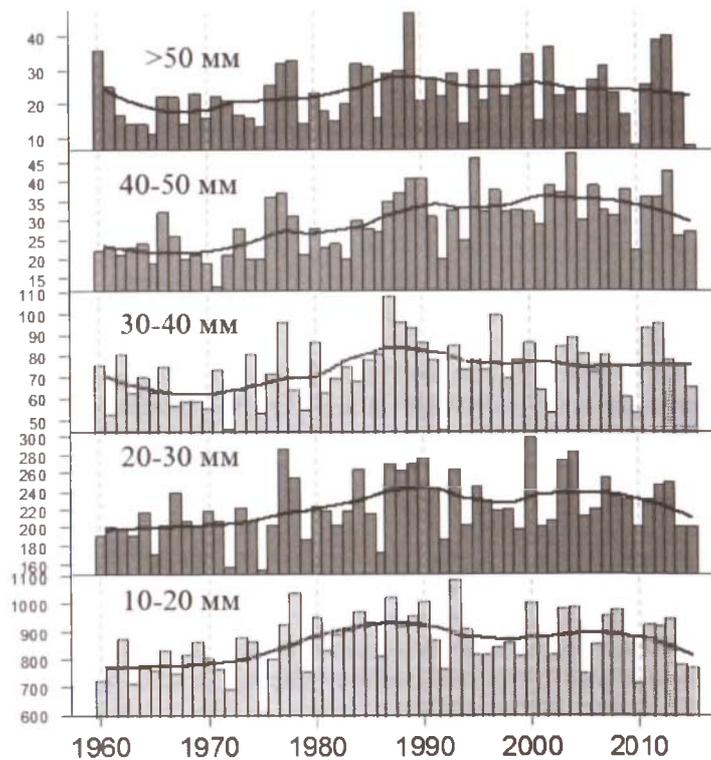


Рис. 2. Гистограмма частоты осадков по годам. Линия соответствует сглаженному среднему. По оси ординат указана частота осадков указанного слоя (общее число выпадений по всем дням теплого периода и по всем станциям)

Данное исследование может быть далее естественно дополнено изучением скорости и направленности эрозионных процессов, чтобы оценить, могли ли изменения количества ливневых осадков сказаться на темпах

ливневого смыва и инициировать новые эрозионные процессы на Европейской части России.

ЛИТЕРАТУРА

Булдыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТР). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942 от 02.07.2014.

Ларионов Г.А. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. М.: Издательство МГУ, 1993. 200 стр.

Groisman P.Y., Knight R.W., Zolina O.G. Recent Trends in Regional and Global Intense Precipitation Patterns. *Climate Vulnerability*, 25-55.

Groisman, P.Ya., and Co-Authors. Assessment of the effect of possible climate changes on hydrological regime and water resources of rivers in the former USSR Changes in the probability of heavy precipitation: Important indicators of climatic change // *Climatic Change*, 1999. 42, 243-283.

Groisman, P.Ya., R. W. Knight, D. R. Easterling, T. R. Karl, G. C. Hegerl, and V. N. Razuvaev: Trends in intense precipitation in the climate record. *J. // J. Clim.*, 2005. 18, 1326-1350.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016. URL <https://www.R-project.org/>.

Santer, B. D. et al. Identification of human-induced changes in atmospheric moisture content // *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 2007. 104 (39), 15248–15253.

Schneider, T., O’Gorman P. A. and Levine X. J. Water vapor and the dynamics of climate changes // *Reviews of Geophysics*, 2010. 48, RG3001, doi:10.1029/2009RG000302.

Sun, B., and P. Ya. Groisman and I. I. Mokhov. Recent changes in cloud type frequency and inferred increases in convection over the United States and the former USSR // *J. Climate*, 2001. 14, 1864–1880.

Zolina, O. Changes in synoptic structure of European precipitation and its impact on estimation of heavy rainfalls from daily rain gauges’ records // *Transactions of RAS*, 2011. 5, 436, 690-695.

Zolina, O. Change in intense precipitation in Europe, in: Kundzewicz, Z.W. (Ed.), *Changes in Flood Risk in Europe*. IAHS Press, Wallingford, Oxfordshire, UK. Special Publication No. 10, 2012.