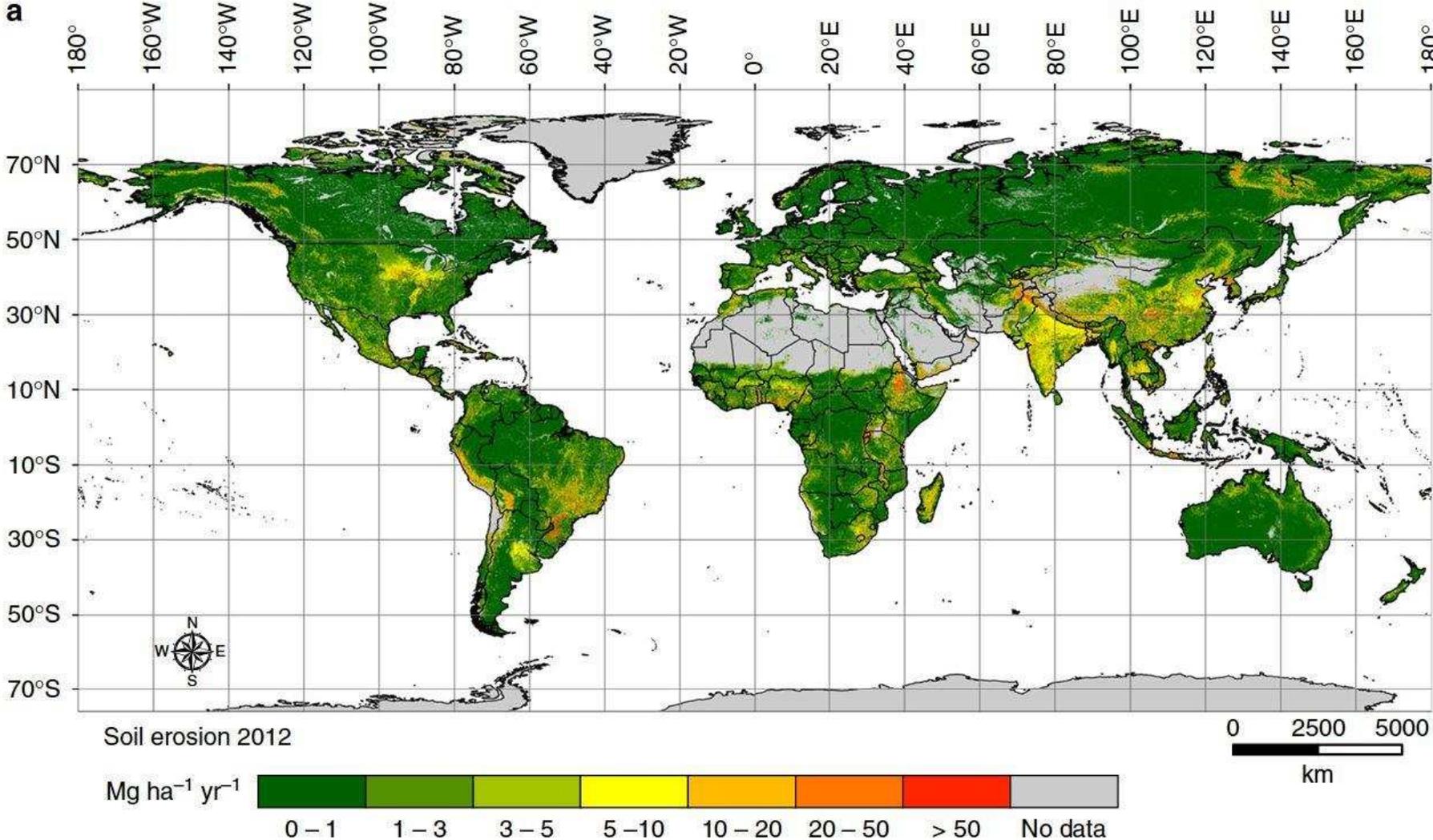


***ВОДНАЯ ЭРОЗИЯ ПОЧВ: ГЛОБАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ И
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ
В УСЛОВИЯХ ТРАНСФОРМАЦИИ
ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ И ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА***

Голосов В.Н.

**Географический факультет Московского государственного
Университета имени М.В. Ломоносова, Москва**

Расчётные темпы глобальной эрозии почв на 2015 год



Существующие оценки глобальной эрозии на континентальном уровне

- Имеющиеся на данный момент оценки эрозии почв на глобальном уровне основаны на различных модификациях Универсального Уравнения эрозии почв (USLE), а в качестве входных параметров используются в основном глобальные базы данных. Итоговые оценки даже на уровне континентов существенно отличаются у разных исследователей. В наибольшей степени эти различия проявляются для двух основных частей Евразии: для **Европы** среднегодовые потери почвы от смыва почв оцениваются в интервале **0,72 – 13,4 тонн/га в год**, а для **Азии** – **3,47- 15,8 тонн/га в год**. Немного меньше вариабельность оценок эрозии почв для других континентов: **Африка** – **3,51- 8,2 тонн/га в год**; **Австралия** – **0,9-4,43 тонн/га в год**; **Северная Америка** – **1,3-9,3 тонн/га в год**; **Южная Америка** – **3,53-16,7 тонн/га в год**.
- **В целом для суши планеты Земля темпы смыва оцениваются в 2,5-11,5 тонн/га в год.**

Пересмотренное универсальное уравнение потерь почвы от эрозии (RUSLE) имеет вид (Renard et al., 1997) :

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P, \quad (1)$$

где A – потенциальный смыв почвы, т/га в год;

R – фактор эродирующей способности дождей, (МДж·мм)/(га·ч·год)

K – фактор эродируемости почвы, (т·га·ч)/(га·МДж·мм)

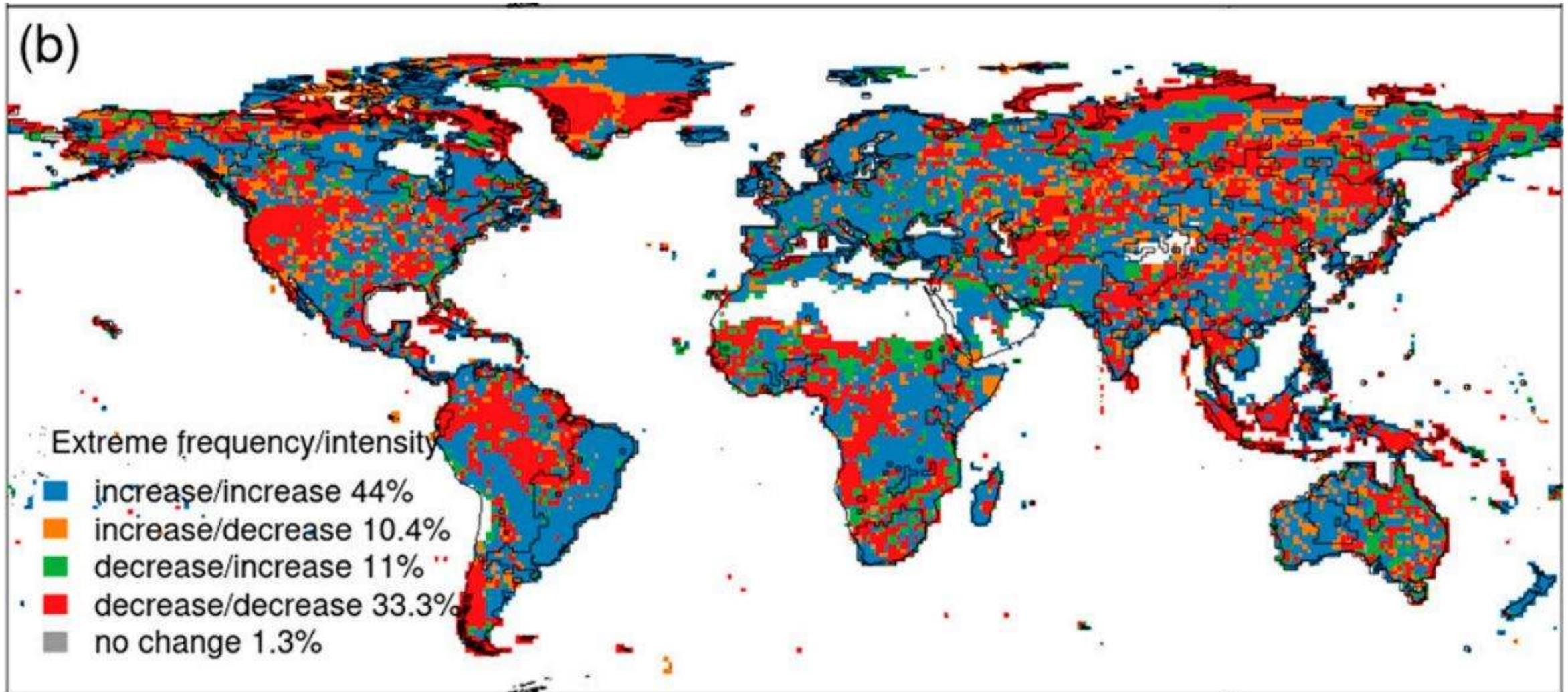
L – фактор длины склона (безразмерный);

S – фактор крутизны склона (безразмерный);

C – фактор растительности и севооборота (безразмерный, изменяющийся от 0 до 1);

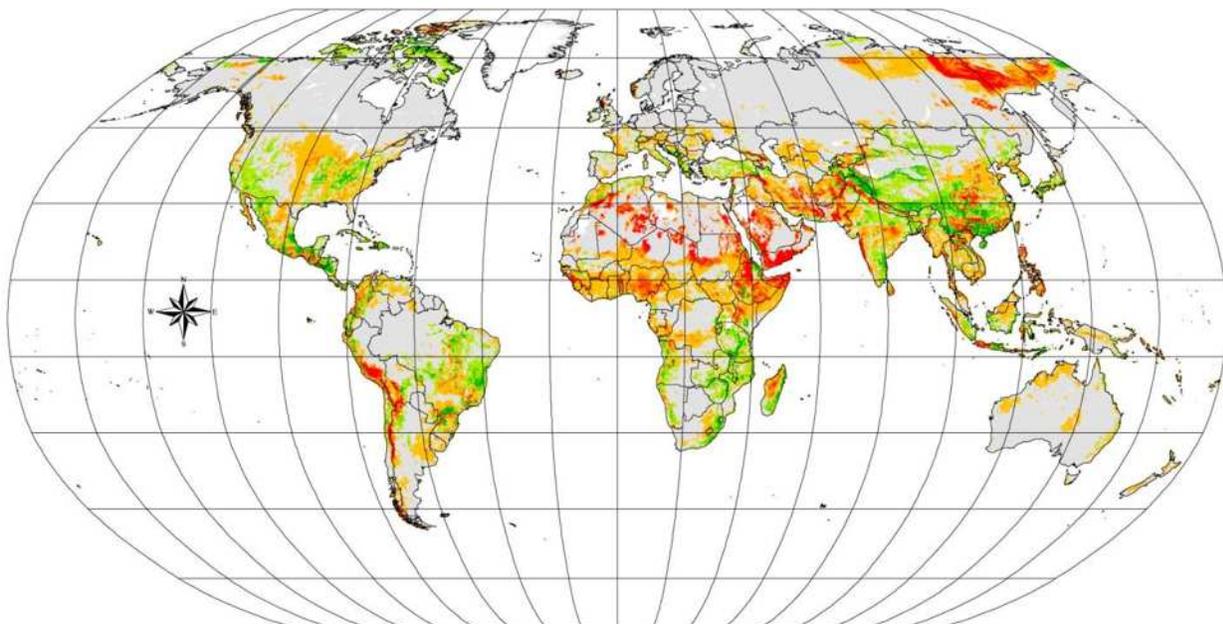
P – фактор эффективности противоэрозионных мероприятий (безразмерный, изменяющийся от 0 до 1)

Изменения частоты и интенсивности экстремальных осадков в период с 1950–83 гг. по сравнению с периодом 1984–2016 гг.

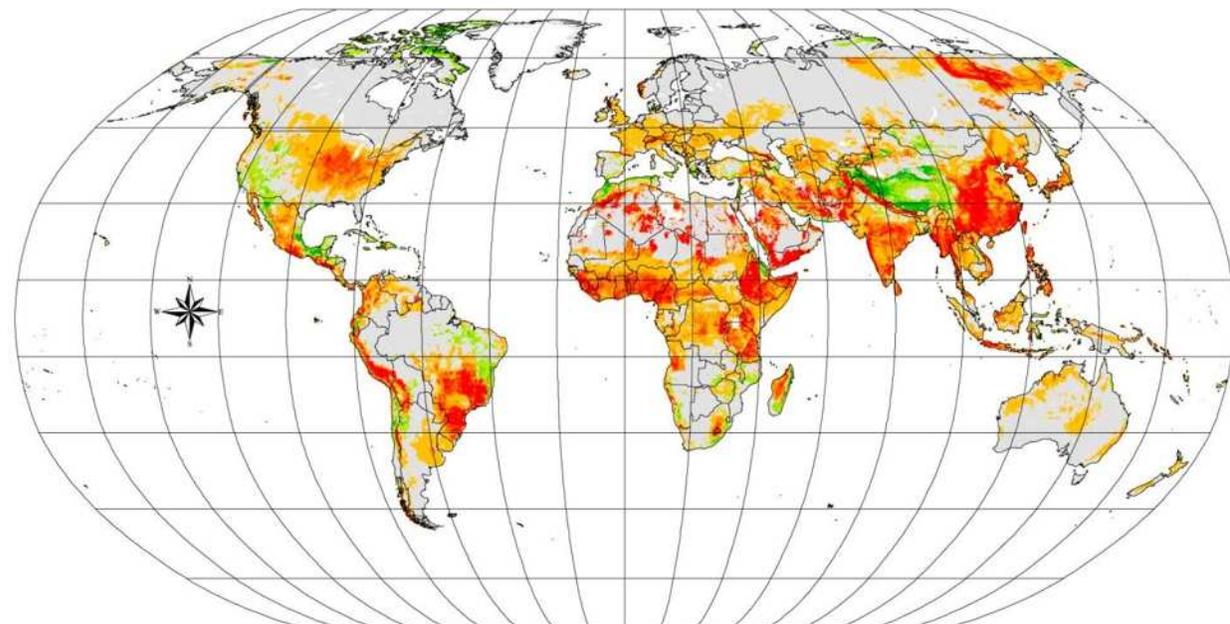
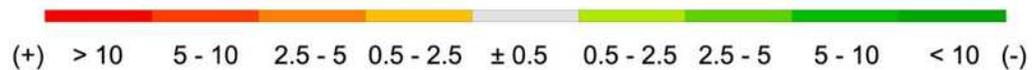


Contractor, S., M.G. Donat, and L. Alexander, 2020: Changes in Observed Daily Precipitation Over Global Land Areas Since 1950. Journal of Climate, 34(1), 3–19, doi:10.1175/jcli-d-19-0965.1.

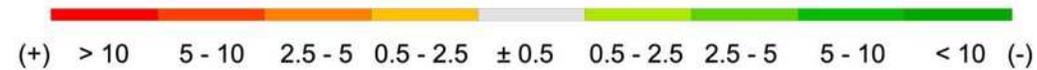
Изменение глобальной эрозии почв в период с 2015 по 2070 год для двух сценариев изменения климата.



Soil erosion change [%] between 2015 and 2070 (RCP 2.6)



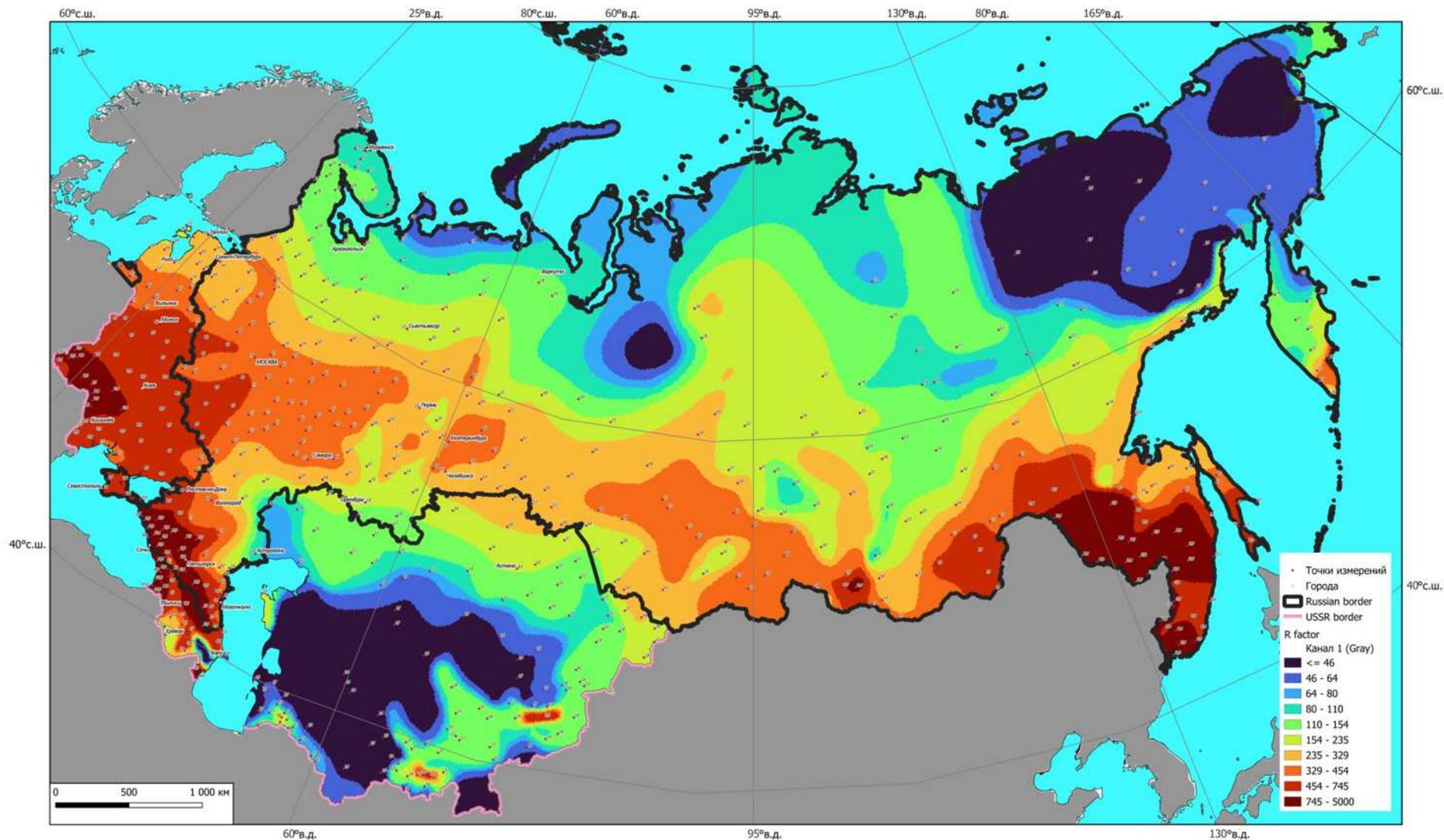
Soil erosion change [%] between 2015 and 2070 (RCP 8.5)



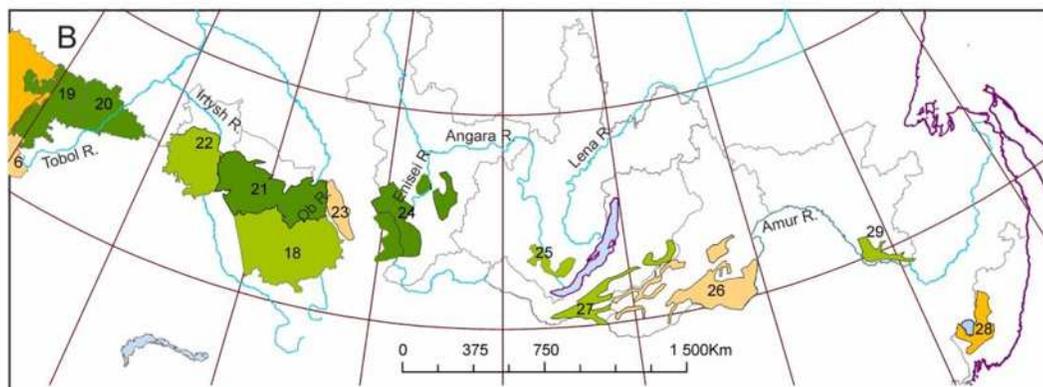
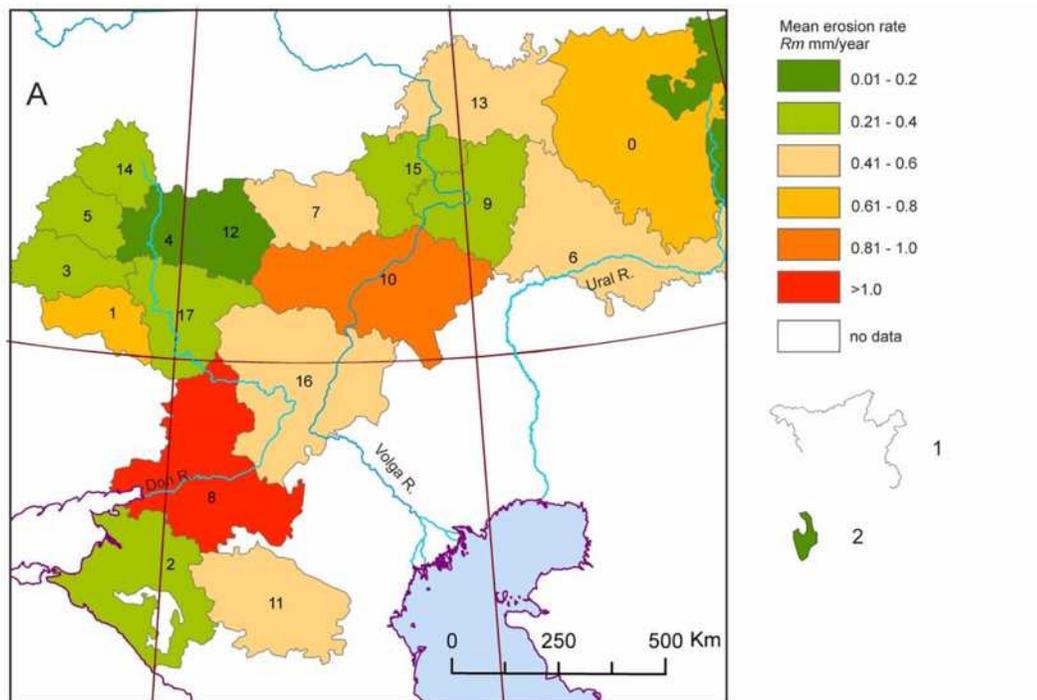
Разница между двумя наблюдаемыми периодами [(RCP) траектории выбросов парниковых газов SSP1-RCP2.6 и SSP5-RCP8.5] зависит от последствий землепользования и изменения растительного покрова и изменения климата.

Карта эрозионного индекса осадков на территорию СССР, составленная по данным наблюдений за интенсивностью осадков на метеостанциях в период с 1960 по 1980 гг. (Ларионов, 1993)

R factor [Larionov, 1993]

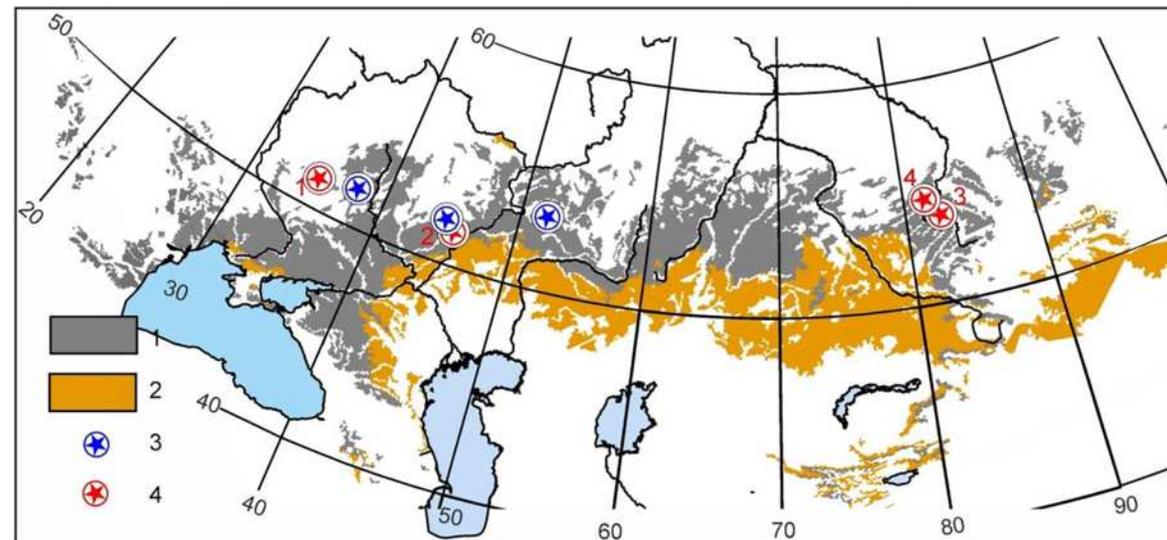


Средние темпы смыва почвы R (мм/год) за период интенсивного земледелия по 29 административным районам РФ



(Golosov et al., 2021)

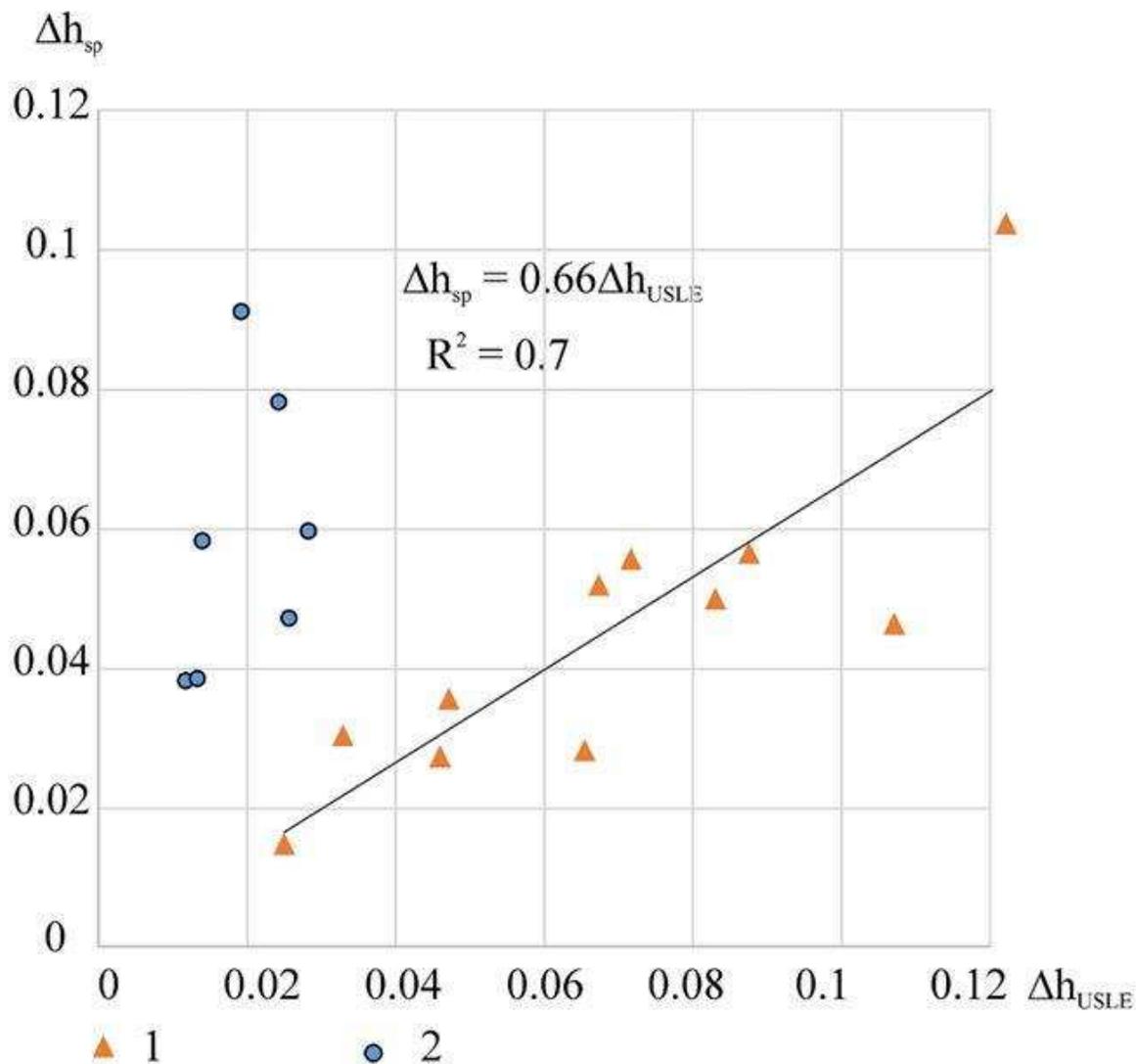
Карта чернозёмов и каштановых почв Евразии



Пояса: 1 – черноземов и 2 – каштановой почвы Северной Евразии, составленный на основе Атласа почв Европы (Акча et al., 2005) и Агроатласа (Афонин и др., 2008).

Среднегодовой слой смыва на каштановых почвах ряда регионов Европейской части России

Регион	Площадь 10 ³ га		Слой смыва, мм/год	
	Вся пашня	Эродированная пашня	Эродированная пашня	Вся пашня
Оренбург	855.03	227.84	1.16	0.31
Ростов	1208.5	381.18	2.64	0.83
Ставрополь	2256.8	316.25	2.90	0.41
Волгоград	3985.8	939.68	1.91	0.45



Сравнение потерь почвы, рассчитанных с использованием модифицированного Универсального Уравнения Эрозии Почв USLE (Δh_{USLE}) и почвенно-морфологического метода (Δh_{sp}) для регионов Европейской России с черноземами–каштановыми почвами

- 1 – регионы, где отношение $\Delta h_{sp} / \Delta h_{USLE}$ меньше 1;
- 2 – регионы, где отношение $\Delta h_{sp} / \Delta h_{USLE}$ больше 1,8

Корреляция между наблюдаемыми (O) годовыми скоростями эрозии почвы и рассчитанными (E) с использованием модели SHI для периода таяния снега для различных ландшафтов Русской равнины. (RE — относительная погрешность в обеих таблицах)

Location of observation points	Observation period	Type of plot	Landscape	Soil erosion rate (t ha ⁻¹ year ⁻¹)		
				O	E	RE (%)
1 Smolensk–Moskovskaya upland	1982–95	Small catchment	Forest	0.9	1.3	44.4
2 Western Ural foothills	1964–91	Runoff plots	Forest	3.5	2.7	22.9
3 Privolzhskaya upland	1973–88	Runoff plots	Forest-steppe	1.6	1.45	9.4
4 Kalach upland	1958–83	Runoff plots	Northern steppe	1.9	0.15	92.1

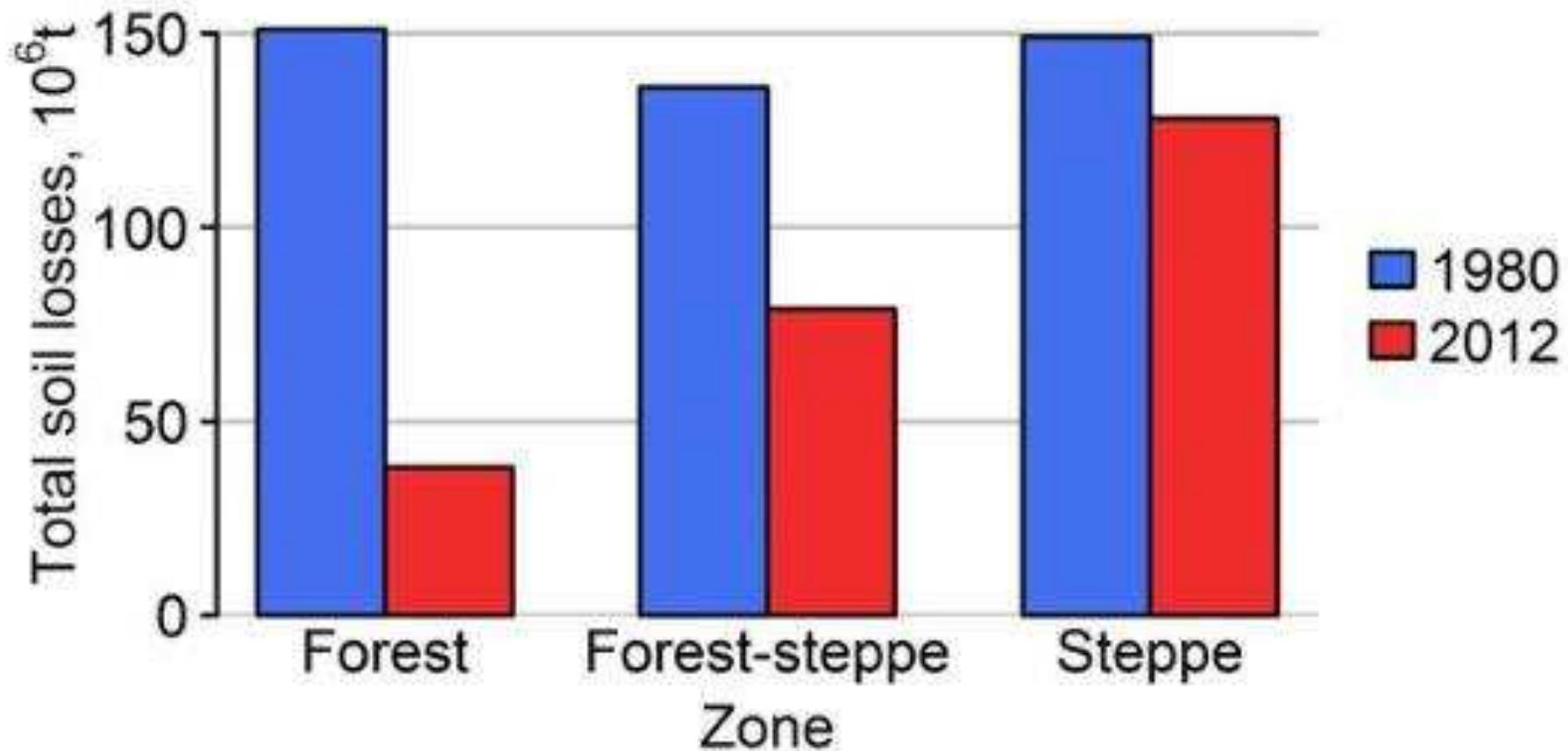
Сравнение скоростей эрозии почвы, рассчитанных (E) с использованием моделей SHI и USLE, с наблюдаемыми (O) скоростями эрозии почвы, полученными на основе измерений объема отложений в малых прудах Воронежской области в бассейне реки Ведуга

	Catchment area (km ²)	Relief		Soil erosion rate (t ha ⁻¹ year ⁻¹)		RE (%)
		Slope length (m)	Mean gradient (%)	O (from volume of deposition)	E	
1	0.27	500–600	3.4	4.9	5.8	18.4
2	0.068	200–300	5.8	22.3	25	12.1
3	0.148	400–500	3	5.7	6.6	15.8
4	0.063	400–550	6–7	3.2	6.1	90.6
5	0.055	300–400	4–5	2	4.9	145.0
6	0.1	350–450	6–7	6.8	9.7	42.6
7	0.085	700–750	8–9	10.6	11.8	11.3
8	0.208	200–700	5–6	4.6	6.3	37.0
9	0.065	500–600	6–7	4.3	8.7	102.3
10	0.12	300–600	6–7	4.2	8.8	109.5

Среднегодовые темпы смыва и ежегодных потери почвы с пашни в различных ландшафтных зонах ЕТР в 1980 и 2012 годах

Ландшафтные зоны (подзоны) Европейской части России (без горных территорий)	Средне-годовые темпы смыва в 1980 году, т га ⁻¹ год ⁻¹	Средне-годовые темпы смыва в 2012, т га ⁻¹ год ⁻¹	Изменения среднего-довых темпов смыва *, (+/-) %	Суммарные потери почвы в 1980 году, 10 ³ т	Суммарные потери почвы в 2012 году, 10 ³ т	Изменения суммарных потерь почвы * (+/-) %
Северная и среднетаёжная подзона	6.5	4.0	-38.4	6131.5	1809	-70.5
Южнотаёжная подзона	7.3	4.1	-44.0	145032	35966	-75.2
Лесная зона в целом	7.3	4.1	-43.8	151163	37791	-75.0
Лесостепная зона	4.1	3.3	-19.4	136450	79277	-41.9
Степная зона	3.9	4.6	+18.7	148618	127663	-14.1
В целом Европейская часть России	4.7	4.0	-15.0	436231	244731	-43.9

(Литвин и др., 2017)



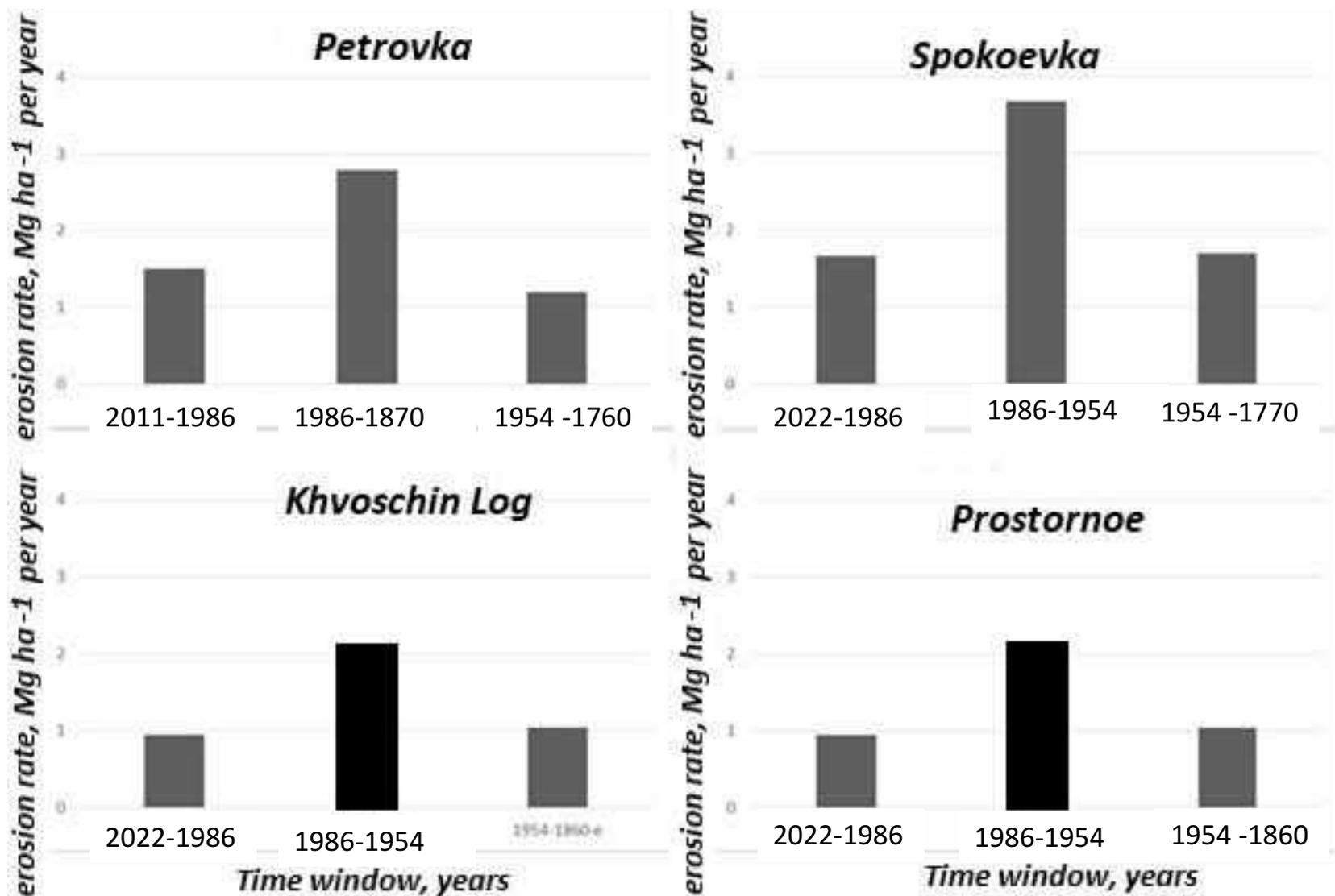
Годовые суммарные потери почвы (рассчитанные с использованием модифицированной версии USLE, сезон дождей и модели Государственного гидрологического института, таяние снега) с обрабатываемых земель в различных ландшафтных зонах Русской равнины в 1980 (а) и 2012 (б) годах

Рассчитанные среднегодовые скорости эрозии за период снеготаяния (модель Государственного гидрологического института) и сезон дождей (модифицированное универсальное уравнение потери почвы) в 1980 и 2012 годах для шести регионов Европейской России, расположенных в различных ландшафтных зонах.

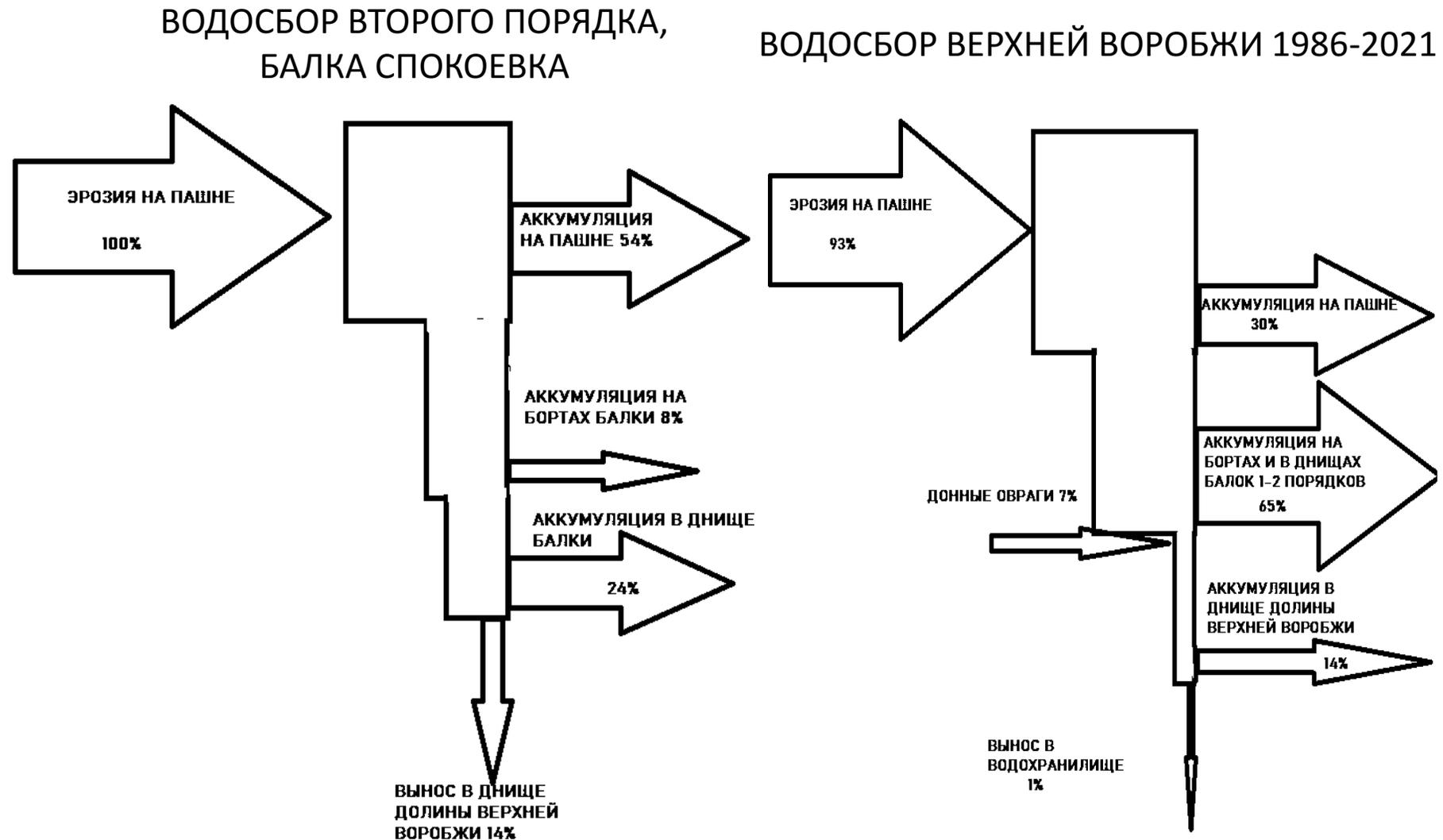
Transect	Region	Landscape zone	Mean annual erosion rate, Mg ha ⁻¹	
			Rain-storm period (May-September)	Spring snowmelt period (March-April)
1	Udmurt Republic	Southern forest	4.55/3.1 ^a	4.41/2.20
2	Tatarstan Republic	Southern forest and northern forest-steppe	3.13/3.1	2.16/1.51
3	Voronezhskaya Oblast'	Western forest-steppe and steppe	2.96/3.1	0.11/0.00
4	Saratovskaya Oblast'	Forest-steppe and dry steppe	1.65/1.55	0.37/0.15
5	Orenburgskaya Oblast'	Eastern dry steppe	1.56/1.53	0.47/0.20
6	Stavropolskiy Krai	Southern wet steppe	8.87/9.49	0.00/0.00

^aNumerator—erosion rate in 1980 (Sidorchuk et al., 2006), denominator—erosion rate in 2012.

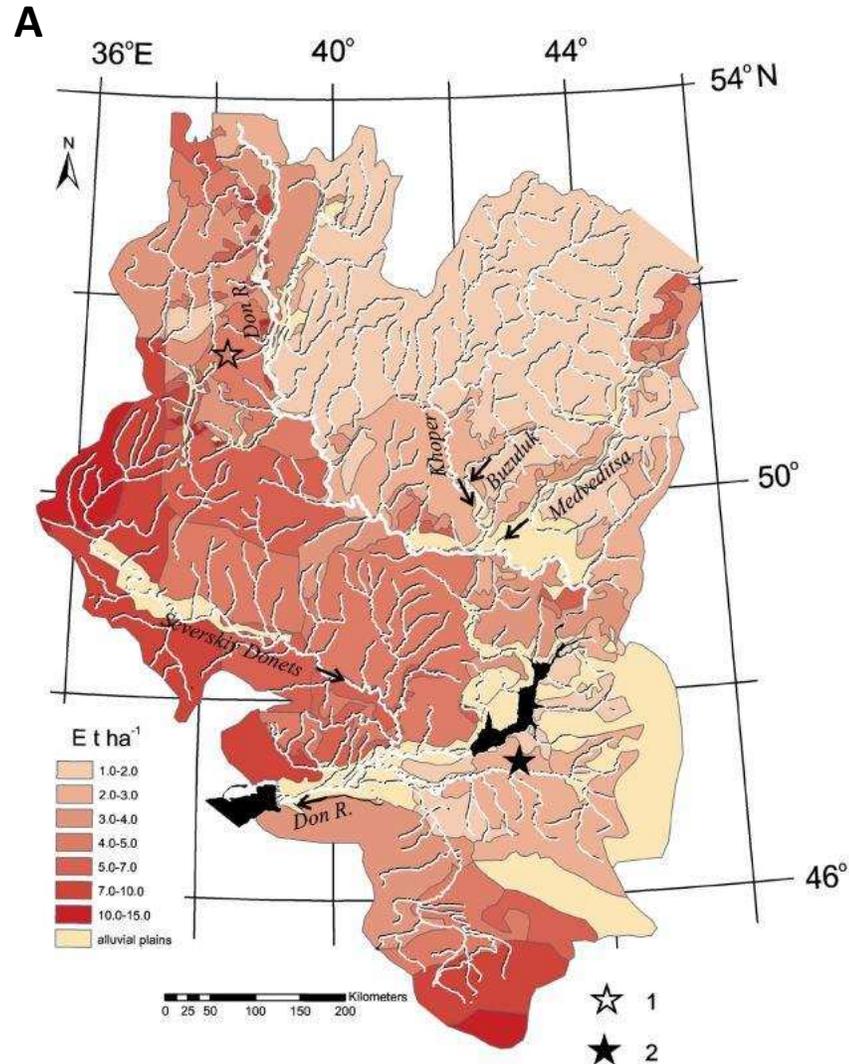
СРЕДНЕГОДОВЫЕ ПОТЕРИ ПОЧВЫ С ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ 4 ВОДОСБОРОВ ЗА ТРИ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛА, РАССЧИТАННЫЕ НА ОСНОВЕ ПОЛЕВЫХ ОЦЕНОК ОТЛОЖЕНИЯ НАНОСОВ, СМЫТЫХ С ПАШНИ В ДНИЩАХ СУХИХ ДОЛИН (Среднерусская возвышенность, бассейны Волги, Дона и Днепра)



БАЛАНСЫ НАНОСОВ НА ВОДОСБОРАХ 1-2 ПОРЯДКА И ВОДОСБОРЕ ВЕРХНЕЙ ВОРОБЖИ ВЫШЕ ВОДОХРАНИЛИЩА

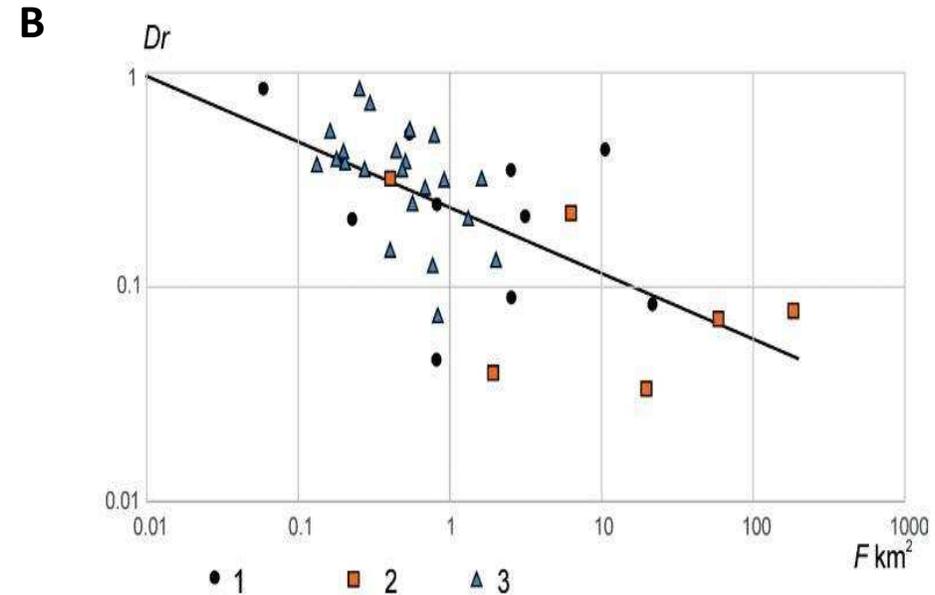


Карта потерь почвы от эрозии для бассейна р. Дон (Литвин, 2002)



Звёздочками показаны гидропосты.

Зависимость коэффициента доставки наносов от площади водосбора для бассейна р. Дон.



Данные: 1 – мониторинг на Нижне-Девичьей водобалансовой станции и 2 – Дубовском гидро-метеорологической станции ; 3 – заиленные пруды в бассейнах рек Бузулук и Медведица

After Sidorchuk, 2018

Квантили зонального поверхностного весеннего склонового стока на Русской равнине в 1925–1980 и 1981–2016 гг., мм

Осреднённые по наблюдениям на водобалансовых и агролесомелиоративных станциях

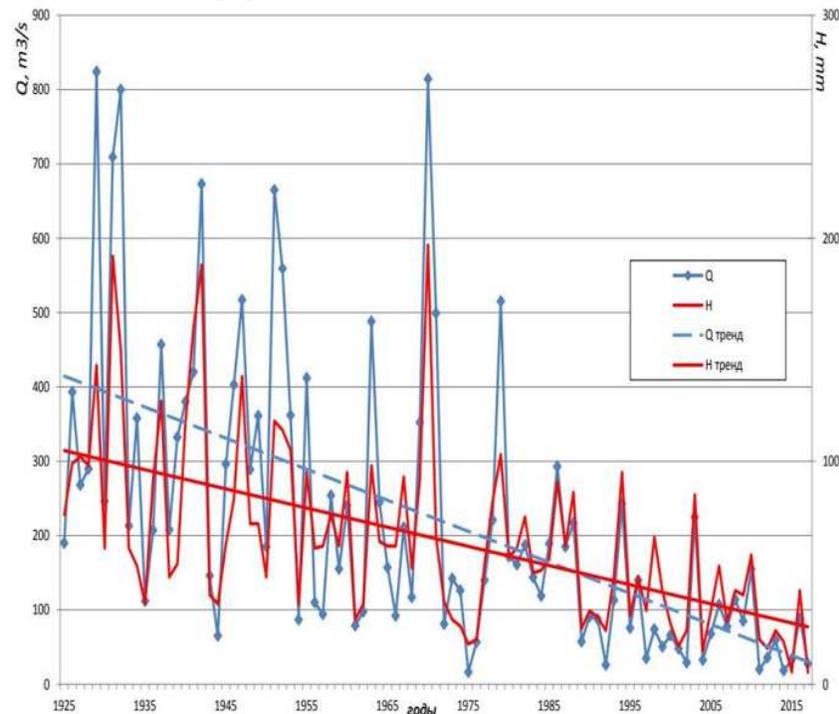
Зона	Весенний поверхностный сток с пахотных земель, мм						
	лесная	лесостепная			степная		
вероятность, %	средне-взвешенный	с зяби	с полей, не распаханых с осени	средне-взвешенный	с зяби	с полей, не распаханых с осени	средне-взвешенный
1925–1980 гг.							
10	128	76	97	84	26	81	43
25	105	52	73	60	10	53	23
50	76	29	47	36	4	30	12
75	51	14	29	20	1	20	7
90	32	5	15	9	0	10	3
1981–2016 гг.							
10	90	31	48	41	12	52	32
25	72	11	28	21	3	24	13
50	50	0	3	2	0	2	1
75	30	0	0	0	0	0	0
90	15	0	0	0	0	0	0

Обобщённые по временным интервалам характеристики стока в период снеготаяния по данным наблюдений на Новосильской агролесомелиоративной станции за различные интервалы времени

Годы	Среднегодовой сток воды, мм		Коэффициент стока		Число лет без стока	
	зябрь	уплотнённая пашня	зябрь	уплотнённая пашня	Зябрь	уплотнённая пашня
1959-1974	43	53	0.43	0.57	0	0
1975-1986	13	26	0.14	0.22	4	1
1987-1998	13	21	0.16	0.26	4	3
1999-2020	2	2	0.01	0.03	20	18

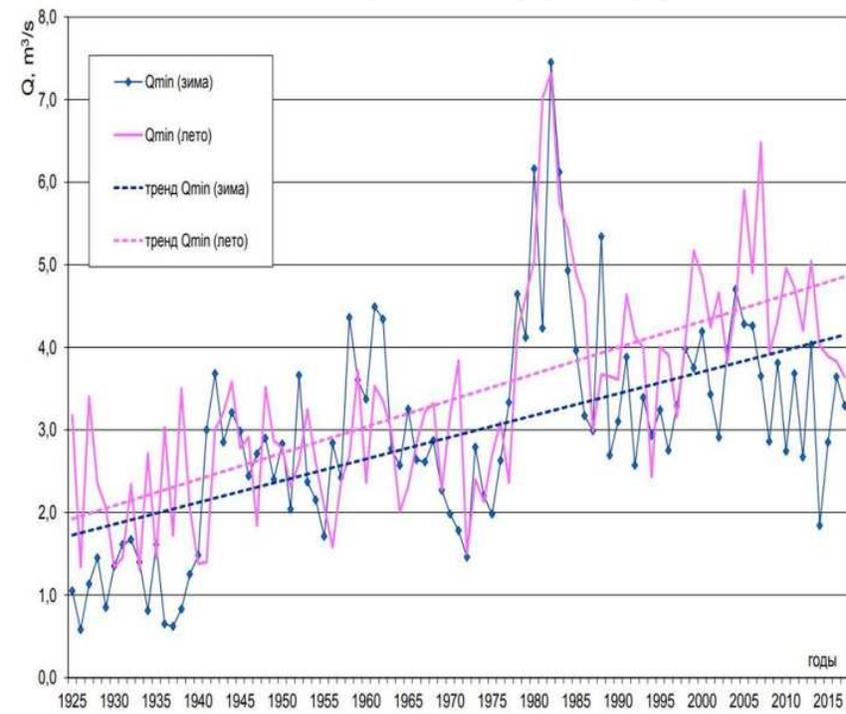
Тренды изменения стока воды на реках Курской области за период 1925-2016 гг. (на примере р. Тускарь, приток р. Сейм)

Максимальный расход воды и слой воды за половодье



Q – максимальный расход воды
H – слой воды за период половодья

Меженный расход воды



—●— Qmin (зима) расход воды в зимнюю межень
—●— Qmin (лето) расход воды в летнюю межень

Динамика почвозащитной способности агроценозов в ландшафтных зонах европейской части России за периоды 1980–1990 и 2012–2014 гг

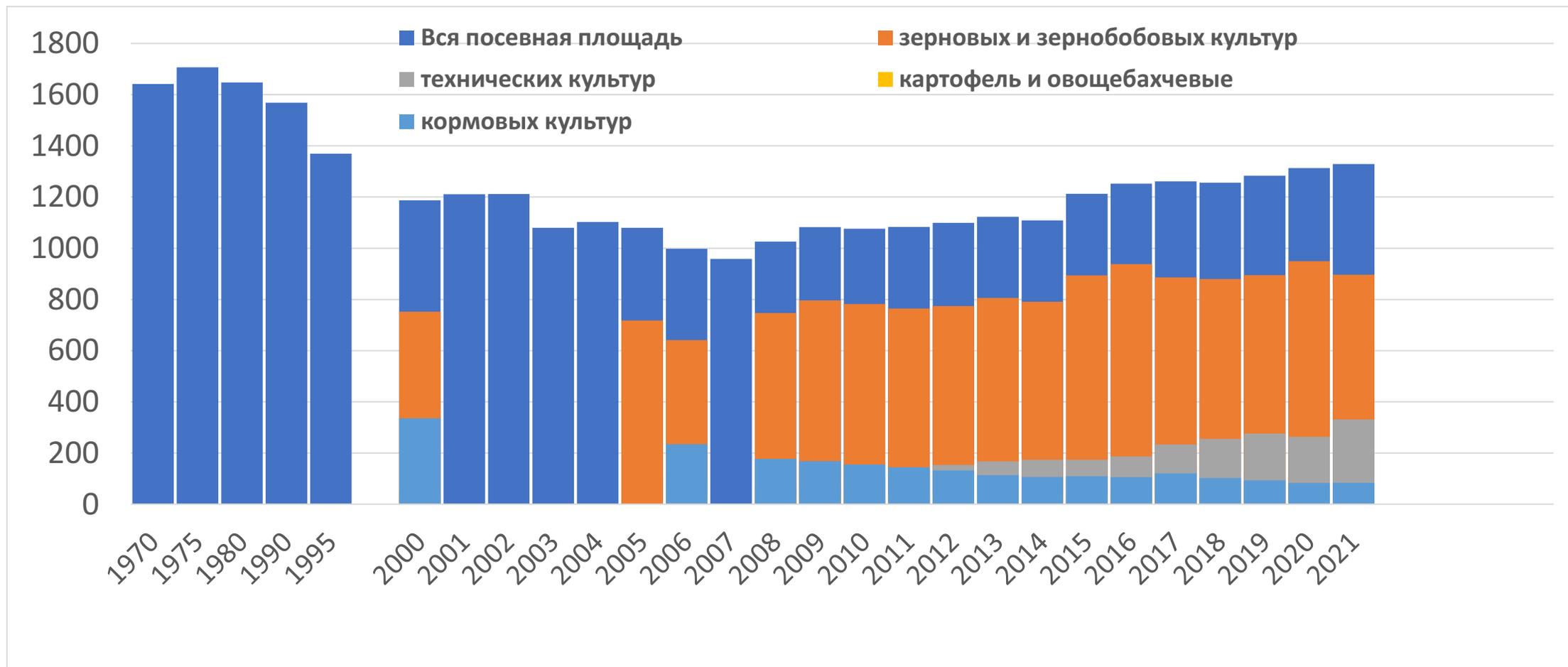
Ландшафтная зона	Агроэрозионные индексы для дождевого/талого стока		
	периоды (годы)		динамика, +/- %
	1980–1990	2012–2014*	
Северная и среднетаежная	0.22/0.61	0.18/0.42	–15.2/–31.7
Южно-таежная лесная	0.28/0.66	0.23/0.55	–17.4/–17.3
Лесная в целом	0.27/0.66	0.23/0.54	–17.3/–18.0
Лесостепная	0.37/0.77	0.38/0.81	4.3/5.0
Степная	0.38/0.70	0.43/0.82	13.3/17.1

* Использованы данные о структуре посевов Росстата (<http://www.gks.ru>).

Литвин Л. Ф. З. П. Кирюхина, С. Ф. Краснов и др. География динамики земледельческой эрозии почв на Европейской территории России// Почвоведение. – 2017. – № 11. – С. 1390–1400.

DOI:10.7868/S0032180X17110089.

Изменения структуры посевных площадей за период 1970-2021 гг. и посевные площади различных культур за период 2005-2021 в Орловской области

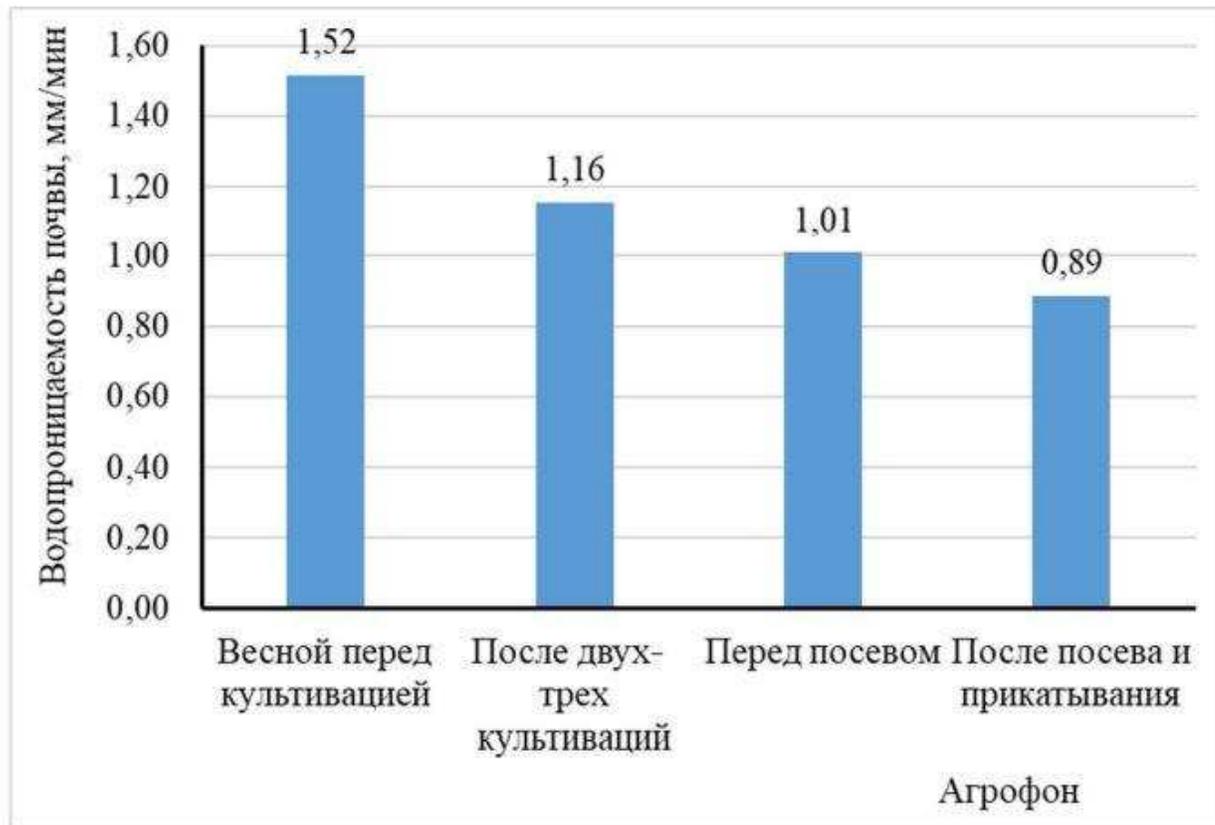


Основные факторы изменения потерь почвы в различных частях Восточно-Русской равнины

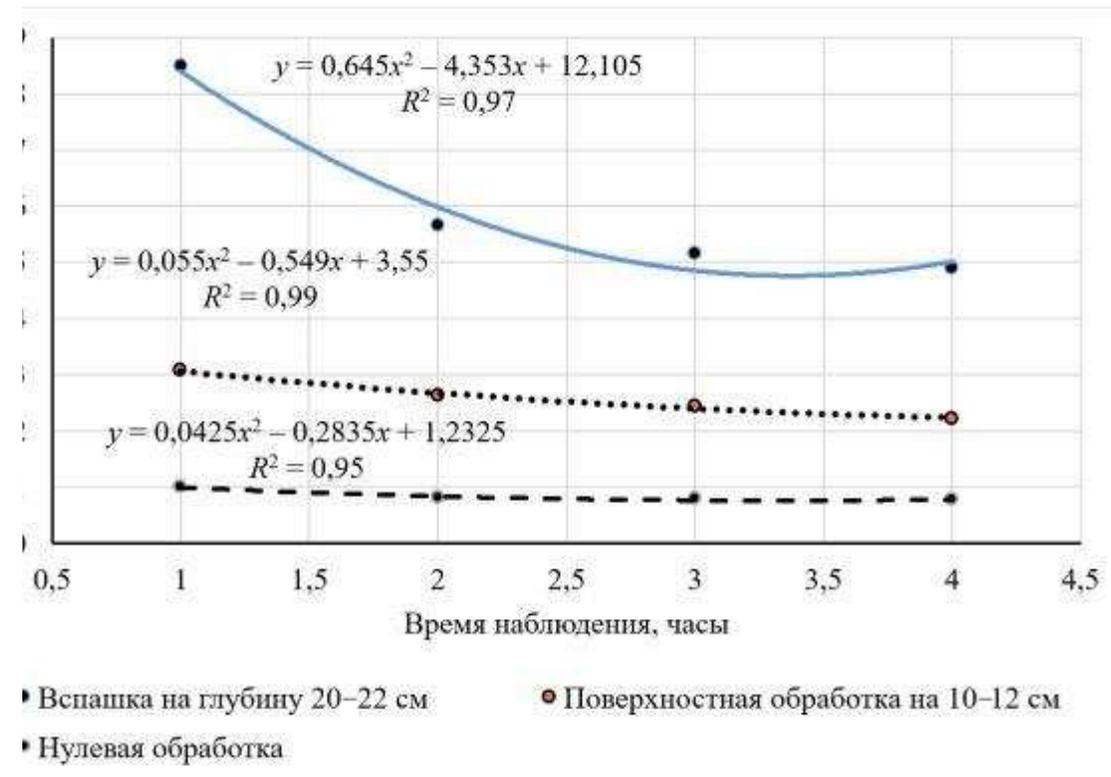
Ландшафтная зона	Тренд темпов эрозии почв	Основной фактор	Второстепенный фактор
Юг лесной зоны	Сильное снижение	Повышение температуры воздуха в зимнее время	Изменение севооборота с ростом доли многолетних трав в посевах
Запад лесостепной и степной зон	Небольшое снижение (до 2014) Небольшой прирост (после 2014)	Изменение соотношения пропашных культур в севообороте	Повышение температуры воздуха в зимнее время Увеличение повторяемости сильных осадков (локально)
Восточная часть лесостепной и степной зон	Снижение	Повышение температуры воздуха в зимнее время	Изменение севооборота за счёт роста доли посевов зерновых культур
Юг степной зоны	Нет тренда		

Водопроницаемость чернозёмов обыкновенных при различных способах их обработки, 2016–2020 гг.

Водопроницаемость до, во время и после посева



Водопроницаемость после уборки урожая



Выводы

- Климатические изменения за период с середины 1980-начала 1990-х годов привели к резкому сокращению талого стока в на юге лесной и в лесостепной зоны. При этом в степной зоне часто в холодное время года формируется талоливневой смыв
- Рост повторяемости экстремальных ливней отмечается на большей части южного мегасклона Русской равнины, с наибольшим ростом на западе лесостепной зоны. При дальнейшем потеплении климата возможно почти двукратный рост числа экстремальных ливней в западной половине лесостепной и степной зон
- В последнее десятилетие на фоне восстановления площади пахотных земель в лесостепной зоне резко возросла площадь посевов пропашных культур, на долю которых в отдельных регионах приходится более 30%, что в сочетании с ростом повторяемости экстремальных ливней повышает вероятность значительного смыва на пашне.
- В степной зоне, особенно, в её более засушливой части, отмечается сокращение доли пропашных культур, что связано с дефицитом осадков. Следует большее внимание уделить изучению ветровой эрозии в этой зоне, которая потенциально может усилиться