

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ЭРОЗИИ И СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ НА ЗЕМЛЕ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX СТОЛЕТИЯ¹

(посвящается 200-летию Казанского государственного университета)

Введение

В 1997 г. в Париже под эгидой ЮНЕСКО вышел сборник работ, содержащий результаты научных исследований по международной программе “Изучение эрозии, деформации русел рек и транспорта наносов в речных бассейнах в связи с естественными и антропогенными изменениями”². Сборник открывается статьей председателя комиссии по континентальной эрозии Международной ассоциации гидрологических наук (IAHS) Д.Е. Уоллинга (D.E. Walling) “Эрозия и сток наносов в изменяющейся среде” с подробным обзором новейших исследований изменчивости этого рельефообразующего процесса в широком геохронологическом интервале. Отмечается, что при относительной многочисленности и все возрастающей географической представительности исследований нет единых методов построения глобально целостных картин временной денудационной динамики, в том числе и процессов эрозии, происходивших на Земле во второй половине XX столетия. Все существующие глобальные модели современной пространственной дифференциации эрозии, созданные на обширных базах данных по речному стоку наносов³ [1–4 и др.], статичны и нуждаются в динамизации, тем более, что в последние десятилетия в развитии мировых геоморфологических исследований постепенно усиливается роль динамической составляющей, отражая стремление глубже проникнуть в суть процессов рельефообразования, в законы, управляющие перемещением вещества и агентов его транспортировки [5–7 и др.]. Кроме того, эта тематика все шире выходит за границы флювиальной геоморфологии и обретает достаточно напряженный геоэкологический и социально-экономический характер.

Одним из направлений изучения современной глобальной изменчивости эрозии является установление и оценка в ней факторной обусловленности тенденций (англ. – *tendency, trend* – наклонность, общее направление).

Метод и исходный материал исследования

Среди методов установления тенденций изменчивости эрозии анализ речного стока взвешенных наносов (далее СВН)⁴, по мнению ряда отечественных [11, 12 и др.] и зарубежных [13–17 др.] исследователей, выступает, в целом, как наиболее точный и объективный, успешно зарекомендовавший себя на региональном уровне. Ни один другой количественный показатель интенсивности эрозии (темпы аккумуляции наносов на дне водоемов и водотоков, почвенной, овражной и русловой эрозии, аккумуляции склоновых отложений и др.) не имеет в настоящее время столь широкой геогра-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке фонда УРФИ (проекты № 015.08.01.07 и 08.01.012).

² Study of erosion, river bed deformation and sediment transport in river basin as related to natural and man-made changes. International hydrological programme / Technical documents in hydrology. Paris: UNESCO, 1997. V. 5. № 10. 393 p.

³ Для транзитной механической денудации, оцениваемой по стоку наносов, нижний рубеж “современности” приходится на середину 1930-х гг., когда впервые стала формироваться достаточно густая мировая сеть гидрологических постов и станций для регулярного измерения стока наносов.

⁴ Исключение из общей массы транзитных наносов трудноопределяемой влекомой составляющей принципиально не меняет картины временной динамики эрозии в речном бассейне, поскольку доля влемого материала относительно стока взвешенных наносов невелика: около 4% в равнинных реках и до 20–25% – в горных [8–10 и др.].

фической изученности и столь большого количества инструментально наблюдаемых длительных рядов как СВН. Его динамика отражает изменения интенсивности всех составных частей эрозионного процесса (почвенной, овражной и русловой) суммарно по всей площади речного бассейна. При глобальном масштабе исследования это позволяет прийти к генерализированным выводам. Для большей детальности и объективности изучение направленных изменений интенсивности эрозии по СВН необходимо, по мере возможности, дополнять анализом временной динамики других ее количественных показателей, что показано в работах [18–24].

В основу настоящего исследования положены данные многолетних рядов наблюдений (более 2950) за годовым СВН рек различных регионов Земли, относящиеся ко второй половине XX столетия. Лучшими по доступности информации по временной динамике СВН (более 2800 рядов) были территории бывшего СССР (преимущественно по материалам Н.Н. Бобровицкой [11]), США (44 ряда), некоторые страны Центральной и Западной Европы, отчасти Китай, Канада; менее информативные или неинформативные – Центральная и Южная Америка, Африка, южная периферия Азии, Австралия и Океания. Параллельно проводился сбор фактического материала по временной динамике природных и антропогенных условий эрозии и стокоформирования для территорий, не охарактеризованных динамикой СВН, а также сбор некоторых других показателей интенсивности эрозии. Источниками сбора информации были: 1. Материалы режимных наблюдений Гидрометеорологической службы бывшего СССР (Ресурсы поверхностных вод СССР / Государственный водный кадастр СССР (Основные гидрологические характеристики)). 2. Электронные базы данных Национального института водных исследований (НИВИ, Канада, <http://www.cciw.ca>) и Геологической службы США (U.S. Geological Survey (<http://www.usgs.gov>)). 3. Тематические отечественные и зарубежные публикации (монографии, периодические издания, сборники научных конференций и совещаний).

С помощью гидрологического анализа⁵ в многолетних рядах наблюдений за СВН выделялись, по методике Н.Н. Бобровицкой [11], как правило, два периода, различающиеся средними значениями и размахом колебаний возле них. Для оценки достоверности различных средних значений и дисперсий за выделенные периоды использовались статистические критерии, в частности, параметрический Стьюдента и непараметрический Колмогорова-Смирнова, в настоящее время широко применяемые в гидрологических исследованиях. При обработке временных рядов были задействованы ресурсы статистического блока электронного приложения EXCEL.

Ниже, на основе изложенного ранее материала регионального обзора [25–29], предлагаются обобщения глобального уровня (картографический анализ) относительно соотношения площадей с разнонаправленными изменениями эрозии и СВН, а также влияния (площадной аспект) на эти изменения динамики природных и антропогенных факторов во второй половине XX столетия. Установленные тенденции являются лишь преобладающими во второй половине XX столетия; именно они нашли отражение на картах регионального обзора [25–29], приведенной ниже итоговой (глобальной) карте и в выводах самой работы.

Результаты исследования

1. На большей части суши Земли (58.96 млн. км², или 44.4% территории), затронутой настоящим исследованием (132.62 млн. км²), во временной динамике интенсивности эрозии и объемов СВН второй половины XX столетия преобладала восходящая тенденция (нисходящая – на 28.51 млн. км², или 21.5%, условно стационарная – на 26.75 млн. км², или 20.2%). Без учета площадей, для которых отсутствовали пря-

⁵ Гидрологический анализ предусматривает построение, анализ графиков динамики годового стока воды и стока взвешенных наносов за многолетний период, кривых транспорта наносов (кривых зависимости стока взвешенных наносов от стока воды) и их интегральных (кумулятивных) кривых.

мые и/или косвенные данные об эрозионной динамике (около 18.4 млн. км², или 13.9% территории), пространственное преобладание восходящей тенденции интенсивности эрозии и объема СВН было более ощутимым – 51.6% (нисходящей – 25.0%, стационарной – 23.4%) (рис. 1).

2. Соотношение площадей с разнонаправленными изменениями интенсивности эрозии и объемов СВН во второй половине XX столетия заметно отличалось в северном и южном полушариях Земли (табл. 1). Здесь и ниже речь идет о тенденциях суммарно установленных и предполагаемых, и соотношение между ними в обоих полушариях планеты несколько отличается ввиду разной доступности к источникам фактического материала. Следовательно, и степень надежности сделанных выводов также будет отличной как для полушарий в целом, так и для отдельных их регионов.

3. Асимметричное распределение площадей с разнонаправленными изменениями интенсивности эрозии и объема стока наносов в северном и южном полушариях соотносится с асимметрией их соотношения на северных и южных континентах / частях света (табл. 2). Примечательно, что на фоне глобального доминирования в последние десятилетия площадей с усилением эрозии и увеличением СВН в Северной Америке и Европе значительные площади (более 40%) занимали территории с преобладающим ослаблением эрозионных процессов [26, 27]. Напротив, достаточно контрастно по отношению к этим регионам выглядела Южная Америка, где усиление эрозии (увеличение стока наносов) было отмечено почти на 90% территории [29].

4. Неравномерно было и распределение площадей с разнонаправленными изменениями интенсивности эрозии и объемов СВН в различных климатических поясах. Большая доля площадей с преобладающим усилением эрозии характерна для экваториального, субэкваториальных и тропических поясов суши (более 65% их территории), наименьшая – для поясов более высоких географических широт (рис. 1, табл. 3). Противоположным этому было распределение площадей с условно стационарной динамикой эрозии и СВН. Сравнительно более масштабное снижение интенсивности эрозии во второй половине XX столетия имело место в умеренном климатическом поясе северного полушария, в направлении к северу и к югу от которого эта масштабность сокращалась.

5. На большей части суши (47.86 млн. км², или 36.1% территории), охваченной исследованием (132.62 млн. км²), ведущим фактором разнонаправленных изменений интенсивности эрозии и объемов СВН выступила различная по характеру и интенсивности деятельность человека. Влияние на эти изменения преимущественно гидроклиматического фактора (динамика осадков и стока воды), а также совместного действия сравнительно соразмерных по силе влияния антропогенного и гидроклиматического факторов – условно антропогенно-гидроклиматического фактора – ограничивалось сравнительно меньшей площадью распространения – соответственно 29.85 млн. км² (22.5% территории) и 36.51 млн. км² (27.5%). Без учета площадей, для которых отсутствовали прямые и/или косвенные данные об эрозионной динамике, соотношение между данными факторами (площадной аспект) составило соответственно 41.9%, 26.1% и 32.0%.

6. В площадном аспекте влияние антропогенного, гидроклиматического и условно антропогенно-гидроклиматического факторов на различные тенденции изменения интенсивности эрозии и объемов СВН было в целом неодинаковым за рассматриваемый период времени. На территориях с преимущественным усилением эрозии и увеличением СВН весьма значительным было влияние антропогенного фактора (почти на 75% их площади). На территориях же с преобладающим ослаблением и стационарностью эрозионных процессов доминирующее значение имела динамика гидроклиматического и условно антропогенно-гидроклиматического факторов (табл. 4).

7. Площадную тенденцию структуры территорий с преобладающим влиянием различных факторов на разнонаправленные изменения интенсивности эрозии и объемов СВН иллюстрирует табл. 5:

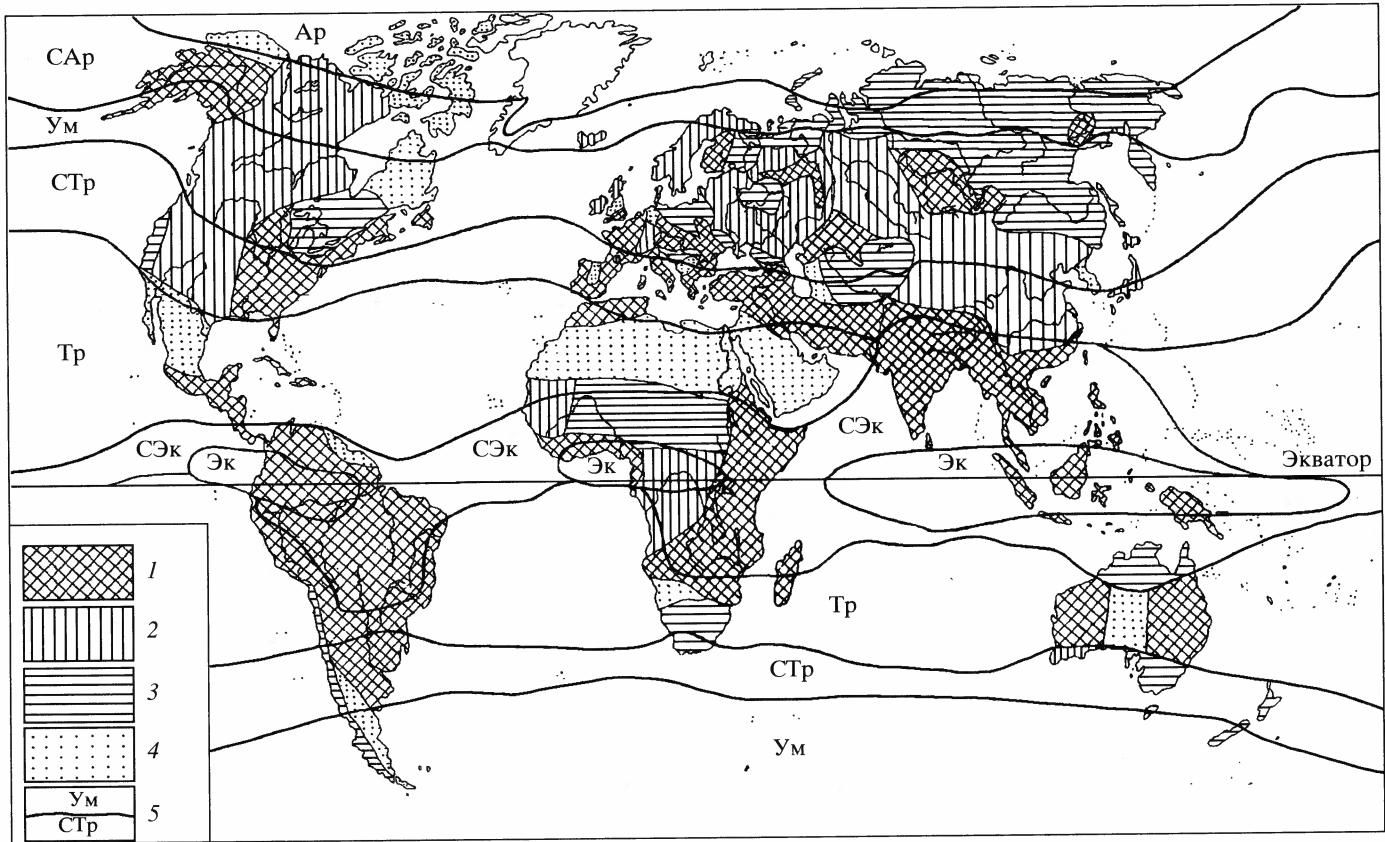


Рис. 1. Карта тенденций изменения интенсивности эрозии на Земле во второй половине XX столетия
 Тенденции (суммарно установленные и предполагаемые): 1 – восходящая, 2 – нисходящая, 3 – условно стационарная; 4 – нет данных; 5 – климатические пояса: Ар – арктический, САр – субарктический, Ум – умеренный, СТр – субтропический, Тр – тропический, СЭк – субэкваториальный, Эк – экваториальный

Соотношение площадей с разнонаправленными (тенденциями) изменениями эрозии и СВН в северном и южном полушариях Земли во второй половине XX столетия

Тенденции изменения эрозии и СВН	Полушария Земли, млн. км ²	
	Северное	Южное
Восходящая	34.02 (34.7/41.4)	24.94 (72.0/77.8)
Нисходящая	26.83 (27.4/32.6)	1.69 (4.9/5.3)
Стационарная	21.33 (21.8/26.0)	5.42 (15.6/16.9)
Нет данных	15.79 (16.1/-)	2.60 (7.5/-)
Суммарная площадь	97.97	34.65

В скобках: числитель – процент с учетом площадей, для которых отсутствовали прямые и/или косвенные данные об эрозионной динамике; знаменатель – процент без учета таких площадей.

Соотношение площадей с разнонаправленными изменениями эрозии и СВН на континентах/частях света Земли во второй половине XX столетия

Тенденции изменения эрозии и СВН	Континенты/части света Земли					
	Африка	Австралия и Океания	Южная Америка	Северная Америка	Европа	Азия
Восходящая	11.40/37.7	4.59/52.6	15.96/89.4	5.89/26.7	3.45/34.2	17.67/40.5
Нисходящая	4.25/14.1	0.24/2.8	–	9.36/42.4	4.12/40.8	10.55/24.2
Стационарная	7.26/24.0	2.77/31.7	0.56/3.1	2.06/9.3	2.08/20.6	12.02/27.6
Нет данных	7.32/24.2	1.13/12.9	1.33/7.5	4.79/21.6	0.44/4.4	3.38/7.7
Суммарная площадь, млн. км ²	30.23	8.73	17.85	22.10	10.09	43.62

Числитель – млн. км², знаменатель – процент от суммарной площади.

Соотношение площадей с разнонаправленными изменениями эрозии и СВН в климатических поясах Земли во второй половине XX столетия

Климатические пояса	Тенденции изменения эрозии и СВН			Нет данных, тыс. км ²
	восходящая	нисходящая	стационарная	
Арктический (северный)	-/0.0	1980/53.4	1730/46.6	1540
Субарктический (северный)	1200/16.4	2540/34.6	3590/49.0	800
Умеренный (северный)	7280/24.0	14030/46.2	9060/29.8	1530
Субтропический (северный)	8630/50.3	6870/40.0	1670/9.7	2720
Тропический (северный)	2900/70.7	610/14.9	590/14.4	8600
Субэкваториальный (северный)	11780/67.9	1050/6.1	4510/26.0	590
Экваториальный	6100/74.7	1900/23.2	170/2.1	–
Субэкваториальный (южный)	11500/79.7	830/5.8	2100/14.5	–
Тропический (южный)	7940/82.6	190/2.0	1480/15.4	1740
Субтропический (южный)	1630/48.1	240/7.1	1525/44.8	410
Умеренный (южный)	-/0.0	-/0.0	320/100.0	450

Числитель – тыс. км²; знаменатель – процент без учета площадей, для которых отсутствовали прямые и/или косвенные данные об эрозионной динамике.

во-первых, в глобальном масштабе разнообразная деятельность человека на значительной части территории своего доминирующего влияния (свыше 90% площади) приводила во второй половине XX столетия к усилению эрозионных процессов и увеличению стока наносов. На остальной площади (менее 10%) эта деятельность

Факторная структура площадей с разнонаправленными (тенденциями) изменениями эрозии и СВН на Земле во второй половине XX столетия без учета площадей, для которых отсутствовали прямые и/или косвенные данные об эрозионной динамике

Тенденции изменения эрозии и СВН	Преобладающий фактор, млн. км ² (%)			Суммарная площадь, млн. км ² (%)
	антропогенный	гидроклиматический	условно антропогенно-гидроклиматический	
Восходящая	44.79 (76.0)	7.30 (12.4)	6.87 (11.6)	58.96 (100)
Нисходящая	2.13 (7.5)	9.12 (32.0)	17.26 (60.5)	28.51 (100)
Стационарная	0.94 (3.5)	13.43 (50.2)	12.37 (46.3)	26.74 (100)

Таблица 5

Тенденциальная структура площадей с преобладающим влиянием антропогенного, гидроклиматического и условно антропогенно-гидроклиматического факторов на разнонаправленные изменения эрозии и СВН на Земле во второй половине XX столетия без учета площадей, для которых отсутствовали прямые и/или косвенные данные об эрозионной динамике

Преобладающий фактор	Тенденции изменения эрозии и СВН, млн. км ² (%)			Суммарная площадь, млн. км ² (%)
	восходящая	нисходящая	стационарная	
Антропогенный	44.79 (93.6)	2.13 (4.4)	0.94 (2.0)	47.86 (100)
Гидроклиматический	7.30 (24.5)	9.12 (30.5)	13.43 (45.0)	29.85 (100)
Условно антропогенно-гидроклиматический	6.87 (18.8)	17.26 (47.3)	12.37 (33.9)	36.50 (100)

способствовала либо поддержанию интенсивности эрозии и объемов СВН на относительно постоянном уровне (стационарные тенденции), либо их снижению (нисходящие тенденции);

во-вторых, стационарную и нисходящую тенденции изменения интенсивности эрозии и объемов СВН в глобальном масштабе обусловила во второй половине XX столетия динамика гидроклиматических условий на большей (свыше 75%) части территории своего доминирующего влияния;

в-третьих, динамика однонаправленных изменений гидроклиматических и антропогенных условий – условно антропогенно-гидроклиматического фактора – во второй половине XX столетия приводила на значительной (свыше 80%) части территории их сравнительно соразмерного влияния к ослаблению или стационарности эрозионных процессов, а с ними и объемов СВН.

8. Несмотря на относительное преобладание (площадной аспект) влияния антропогенного фактора на современные разнонаправленные изменения интенсивности эрозии и объемов СВН в глобальном масштабе, его соотношение с гидроклиматическим фактором имело свои региональные особенности, отразившиеся в структуре указанных факторов как на континентах / частях света, так и в ее климатических поясах.

Различия между континентами / частями света. Если в Евразии влияние гидроклиматического, антропогенного и условно антропогенно-гидроклиматического факторов на современные направленные изменения интенсивности эрозии и объемов СВН было по площади более или менее сопоставимо [26, 28], то на южных континентах преобладало влияние либо хозяйственной деятельности (Африка [25] и, особенно, Южная Америка [29]), либо гидроклиматического фактора (Австралия [29]) (табл. 6). Обращает на себя внимание значительный процент площадей в Северной Америке, на которых разнонаправленные изменения интенсивности эрозии и объемов СВН были обусловлены взаимодействием гидроклиматического и антропогенного факторов (преимущественное усиление эрозии и увеличение СВН в вос-

Соотношение площадей с преобладающим влиянием антропогенного, гидроклиматического и условно антропогенно-гидроклиматического факторов разнонаправленных изменений эрозии и СВН на континентах/частях света Земли во второй половине XX столетия

Преобладающий фактор	Континенты/части света Земли					
	Африка	Австралия и Океания	Южная Америка	Северная Америка	Европа	Азия
Антропогенный	11.4/49.8	–	16.52/100	1.15/6.6	3.85/39.9	14.94/37.1
Гидроклиматический	4.25/18.5	7.33/96.4	–	1.48/8.6	2.79/28.9	14.01/34.8
Условно антропогенно-гидроклиматический	7.26/31.7	0.27/3.6	–	14.68/84.8	3.01/31.2	11.29/28.1
Нет данных, млн. км ²	7.32	1.13	1.33	4.79	0.44	3.38
Суммарная площадь, млн. км ²	30.23	8.73	17.85	22.10	10.09	43.62

Числитель – млн. км²; знаменатель – процент без учета площадей, для которых отсутствовали прямые и/или косвенные данные об эрозионной динамике.

Таблица 7

Соотношение преобладающих факторов (площадной аспект) разнонаправленных изменений эрозии и СВН на континентах/частях света Земли во второй половине XX столетия

Тенденция изменения эрозии и СВН	Фактор	Континенты/части света Земли					
		Африка	Австралия и Океания	Южная Америка	Северная Америка	Европа	Азия
Восходящая	А	100*	0	100	17.7	55.7	81.9
	Г	0	100	0	25.1	35.6	0
	А-Г	0	0	0	57.2	8.7	18.1
Нисходящая	А	0	0	0	0	42.7	3.5
	Г	100	100	0	0	9.7	40.1
	А-Г	0	0	0	100	47.6	56.4
Стационарная	А	0	0	100	5.3	8.2	0.8
	Г	0	90.3	0	0	55.8	81.4
	А-Г	100	9.7	0	94.7	36.0	17.8

* – процент без учета площадей, для которых отсутствовали прямые и/или косвенные данные об эрозионной динамике. Преобладающие факторы: А – антропогенный, Г – гидроклиматический, А-Г – условно антропогенно-гидроклиматический.

точной и юго-восточной частях континента, и преимущественное ослабление эрозии и сокращение СВН – в западной части) [27]. Заметным образом в этой связи варьировалась на континентах факторная структура территорий с разнонаправленными изменениями интенсивности эрозии и объемов СВН (табл. 7).

Различия по климатическим поясам Земли. Во-первых, усиление эрозии при хозяйственной деятельности было во второй половине XX столетия явлением более характерным для экваториального, обоих субэкваториальных, северных тропического и субтропического, южного субтропического климатических поясов Земли. Для поясов, расположенных в более высоких географических широтах северного полушария, усиление эрозии определялись преимущественно либо динамикой гидроклиматических условий, либо – однонаправленных изменений антропогенных и гидроклиматических (рис. 2).

Во-вторых, на достаточно ограниченной в масштабе суши территории в пределах экваториально-тропических поясов обоих полушарий, субтропического пояса южного полушария и арктического пояса северного полушария, где во второй половине

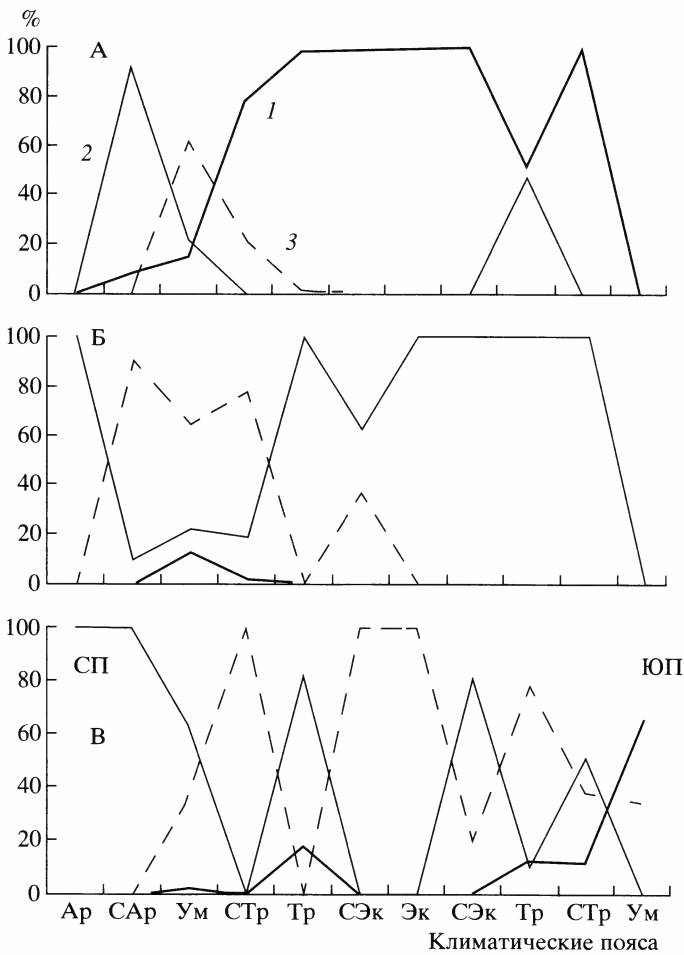


Рис. 2. Факторная структура площадей (%) с разнонаправленными (суммарно установленными и предполагаемыми) изменениями интенсивности эрозии в климатических поясах Земли во второй половине XX столетия без учета площадей, для которых отсутствовали прямые и/или косвенные данные об эрозионной динамике

Тенденции: А – восходящая, Б – нисходящая, В – стационарная. Преобладающие факторы: 1 – антропогенный, 2 – гидроклиматический, 3 – условно антропогенно-гидроклиматический.

СП – северное полушарие, ЮП – южное полушарие.

Климатические пояса см. рис. 1

XX столетия отмечалась нисходящая тенденция изменения интенсивности эрозии и объемов СВН, последняя была обусловлена главным образом динамикой гидроклиматических условий. В средних широтах северного полушария вместе с гидроклиматическим фактором в сокращении эрозионного разрушения земель заметное участие принял человек: преобладающее влияние условно антропогенно-гидроклиматического фактора в данной тенденции отмечалось более чем на 60–80% территории его проявления в субтропическом, умеренном и субарктическом климатических поясах.

В-третьих, в площадном аспекте факторной обусловленности условно стационарной тенденции изменения интенсивности эрозии во второй половине XX столетия наметились две противоположные, не четко выраженные закономерности (рис. 2):

1) роль антропогенного фактора в этих изменениях возрастала от климатических поясов средних широт северного полушария к климатическим поясам средних широт южного полушария;

2) роль гидроклиматического фактора в этих изменениях снижалась в том же направлении. Уточним, что речь здесь идет лишь о доле площадей с преобладающим влиянием данных факторов в общей изученной площади соответствующих климатических поясов.

9. В зависимости от ландшафтно-климатических и социально-экономических условий конкретных территорий влияние антропогенного фактора в направленных изменениях интенсивности эрозии и объемов СВН проявилось в последние полвека по-разному.

Восходящая тенденция. Как было показано выше, более чем на 90% территории своего доминирующего влияния хозяйственная деятельность приводила к усилению эрозионных процессов и увеличению стока наносов.

Если в низких широтах основными причинами усиления эрозии антропогенного характера были сведение влажных и перемененно-влажных тропических лесов, экстенсивное земледелие и перевыпас скота на пастбищах, то в средних широтах – главным образом изменение структуры посевов и, лишь отчасти, вырубка лесов и перевыпас на пастбищах. Причем темпы усиления эрозии и увеличения СВН в первом случае были в целом более значительными (при лесосведении, к примеру, в гилейных лесах Южной Америки сток наносов Амазонки во второй половине XX столетия возрастал со скоростью 62% за 10 лет [29], а в некоторых небольших речных бассейнах Юго-Восточной Азии – до 70–80% [28]; при распашке земель в саванне бассейна р. Тана (Танзания, Восточная Африка) – со скоростью 184%), чем во втором (увеличение СВН в бассейне Темзы (Англия) происходило в тот же период со скоростью 50%, в бассейне Сены (Франция) – около 25%, в Австрии и на западе Украины (бассейн Западного Буга) – 8%, в бассейне Луары (Франция) – 7% за 10 лет [26] и т. д.). Однако не только сам характер хозяйственной деятельности определил разность в темпах современных направленных изменений интенсивности эрозии между низкими и средними широтами Земли. Тому послужила, с одной стороны, крайне высокая степень эрозионной неустойчивости природных ландшафтов в гумидных экваториально-тропических широтах при наивысших здесь зональных модулях стока воды и широком распространении тонкодисперсных кор выветривания. С другой стороны, это сравнительно более давняя экстенсивная агрикультурная освоенность природных ландшафтов в умеренных широтах (особенно в Европе), приведшая к способности эрозионных систем в этих условиях сравнительно быстро приходить в динамическое равновесие при перестройке структуры землепользования в сравнении с ландшафтами экваториально-тропических широт.

Очевидно, что при развитии этих негативных антропогенных процессов на фоне увеличивающегося стока воды темпы усиления эрозии и увеличения стока наносов оказывались в итоге значительно выше, особенно в гумидных районах горных стран (Восточные Карпаты, Аппалачи, Коста-Рика и др.).

Нисходящая тенденция. Антропогенное ослабление эрозии и уменьшение стока наносов – явление наиболее характерное для умеренных широт северного полушария, и особенно в европейском их секторе. Это сокращение шло в основном по двум направлениям:

во-первых, благодаря целенаправленным противоэрозионным работам (лесовосстановление, залужение, изменение структуры посевов в сторону увеличения доли многолетних культур и пр.), результаты которых были весьма эффективны: уменьшение интенсивности эрозии и сокращение СВН в ряде речных бассейнов Среднего Поволжья происходило во второй половине XX столетия в среднем со скоростью около 51% за 10 лет, в бассейне верховьев Гаронны (Франция) – 21%, в Швеции – 15%, на юге Германии – от 6 до 19% за 10 лет и т. д. [26];

во-вторых, уменьшение интенсивности эрозии и сокращение объемов СВН на заброшенных в силу социально-экономических процессов посевных площадях, что было распространено, например, в Восточной Европе в 1980–1990-х гг.

Также очевидно, что при сочетании противоэрозионных мероприятий с уменьшающимся стоком воды темпы ослабления эрозии и уменьшения стока наносов оказываются заметно выше (Лёссовое плато Китая, запад США, юго-восток Русской равнины и др.).

10. Влияние гидроклиматического фактора на разнонаправленные изменения интенсивности эрозии и объемов СВН проявлялось тем отчетливее, чем меньшим было синхронное ему влияние хозяйственной деятельности (сокращения СВН в Исландии происходило, к примеру, со скоростью 20% за 10 лет, в бассейнах африканских рек Конго – 11%, Сенегала – около 7% за 10 лет, на северо-западе Северной Америки, в Австралии, на северо-востоке и крайнем севере Евразии и т.д.). Темпы гидроклиматических изменений интенсивности эрозии и объемов СВН (особенно их сокращения) были в целом сопоставимы со скоростями их антропогенного изменения (уменьшения). Глобальные климатические изменения второй половины XX столетия должны были способствовать уменьшению интенсивности эрозии и сокращению объемов СВН в гораздо более широком масштабе, чем устанавливается нами (рис. 1). Действительно, за последнее столетие климатологами отмечались глобально прогрессирующее уменьшение прозрачности атмосферы при оранжерейном эффекте [30] и связанное с ним повышение среднегодовой температуры атмосферного воздуха, особенно в южном полушарии в последние десятилетия – с 1955 по 1997 гг., происходившее со скоростью 0.104°C за 10 лет [31]. Следствия этого потепления – глобальное усиление испарения и уменьшение стока воды, производящей эрозионную работу. Однако во второй половине XX столетия на Земле преобладала тенденция увеличения интенсивности эрозии. Причины этого расхождения, на наш взгляд, следующие.

Во-первых, это неоднозначное соотношение между современными тенденциями изменения температуры и атмосферных осадков по разным регионам планеты (в 1920–1990 гг. годовое количество осадков в Северной Америке и Северной Евразии увеличивалось в среднем на 10.4 и 2.9 мм/год соответственно, в Западной Европе – сокращалось на 0.9 мм/год [32]), отразившееся в динамике стока воды и, как следствие, эрозии и стока наносов.

Во-вторых, это, как было уже сказано, значительная по масштабу распространения и интенсивности проявления хозяйственная деятельность, шедшая зачастую в разрез с динамикой гидроклиматического фактора.

11. При рассмотрении доминирующих во второй половине XX столетия антропогенного и гидроклиматического факторов разнонаправленных изменений интенсивности эрозии и объемов СВН нельзя не учитывать другой глобальный природный фактор – эндогенный. Его влияние на современную направленность эрозионных процессов проявляется в разных аспектах.

Во-первых, через изменения рельефа земной поверхности при быстрых тектонических движениях, связанных с землетрясениями, способными вызвать кратковременное, но очень резкое усиление процессов механической денудации. Так, стационарные наблюдения румынских геоморфологов за последствиями землетрясения силой 7.2 балла по шкале Рихтера, прошедшего в Карпатах 4 марта 1977 года, показали, что активизация таких процессов, как обвалы, осыпи, лавины, эрозия, сели, оползни и оплывины привела к единовременному среднему понижению высоты поверхности небольших речных бассейнов на величину от 0.6 до 1.8 мм [33]. Ощутимое увеличение стока наносов рек карпатского региона в 1977 г. – также следствие данного землетрясения.

Во-вторых, влияние эндогенных сил Земли на современные направленные изменения интенсивности эрозии и объемов стока наносов проявляется через эффузивный магматизм. Причем влияние это, как известно, двояко: как через изменения лито-

лого-морфометрических условий в областях вулканических извержений, так и через изменения гидроклиматических условий при выбросах в атмосферу твердо-газообразных продуктов извержения. Глубокая волна похолодания в первом и начале второго десятилетий XX столетия была связана с резким ослаблением прозрачности атмосферы [30], последовавшим после крупных извержений вулканов Монт-Пеле, Санта-Мария (1902 г.), вулкана на о-ве Лесова (1911 г.), вулкана Катмай (1912 г.) и др. Интенсивный рост температуры, последовавший с середины 1980-х гг., был приурочен к периоду быстрого увеличения прозрачности атмосферы в те же годы после завершения весьма мощной серии извержений (вулканы Эль-Чичон в Мексике, Паган и др. (1982 г.)). Через изменения в цепи “температура – испарение – сток воды” вулканическая деятельность влияла и на динамику эрозии и СВН. К сожалению, мы не располагаем какой-либо количественной информацией, которая бы позволила дать более или менее четкое представление о роли и месте эндогенного фактора в эрозионных изменениях на региональном и, тем более, на глобальном уровнях. Ясно одно: при достижении объективной оценки факторной обусловленности современных направленных изменений эрозии и СВН нельзя умять влияние данного фактора, каким бы локальным и/или опосредованным ни было его участие в этих изменениях.

Заключение

Изложенные положения являются предварительными, дающими лишь ориентиры в представлении о современных глобальных эрозионных тенденциях и факторах, которые их обусловили. В 1960 г. Ф. Фурнье опубликовал ставшую уже классической работу “Климат и эрозия ...” [34], в которой рассмотрел всю имевшуюся к тому времени в его распоряжении информацию о стоке наносов рек Земли (не более 100 речных бассейнов) и попытался количественно оценить пространственные особенности глобальной системы денудации. Последующее значительное увеличение объема данных о стоке наносов неизбежно привело к корректировке многих его выводов и предположений. Тем не менее, его работа обеспечила столь необходимым информационно-теоретическим фундаментом более поздние глобальные исследования, о которых упоминалось выше [1–4 и др.]. Надеемся, что и наша работа поможет проведению дальнейших исследований, нацеленных на изучение современных и прогноз грядущих изменений эрозии и стока наносов в масштабе всей планеты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Walling D.E., Webb B.W.* Patterns of sediment yield // Background to Palaeohydrology. Willey, Chichester (UK). 1983. P. 69–100.
2. *Дедков А.П., Мозжерин В.И.* Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во КазГУ, 1984. 264 с.
3. *Jansson M.* A global survey of sediment yield // *Geografiska Annaler*. 1988. V. 70A. № 1–2. P. 81–98.
4. *Львович М.И., Карасик Г.Я., Братцева Н.П. и др.* Современная интенсивность внутриконтинентальной эрозии суши земного шара / Результаты исследований по международным геофизическим проектам. М.: Мысль, 1991. 336 с.
5. *Торнес Дж. Б., Брунсден Д.* Геоморфология и время. М.: Прогресс, 1981. 227 с.
6. *Дедков А.П., Мозжерин В.И.* Современная геоморфология: основные направления развития // *Геоморфология*. 1988. № 4. С. 3–8.
7. *Тимофеев Д.А.* Взаимодействие рельефа земной поверхности с геологической и географической средой // Экзогенные процессы и окружающая среда. М.: Наука, 1990. С. 13–22.
8. *Прыткова М.Я.* Сток наносов // *Ресурсы поверхностных вод СССР*. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. Т. 8. С. 217–258.
9. *Мозжерин В.И.* Геоморфологический анализ твердого речного стока гумидных равнин умеренного пояса: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. СПб.: СПбГУ, 1994. 32 с.
10. *Чигринцев Л.Ю.* Анализ и расчет стока наносов горных рек юго-восточного Казахстана: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Алматы: НАН Казахстана, 2000. 24 с.
11. *Бобровицкая Н.Н.* Водная эрозия на склонах и сток наносов: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. СПб.: СПбГУ, 1995. 59 с.

12. Дедков А.П., Можжерин В.И., Сафина Г.Р. О современном тренде эрозии в степной и лесостепной зонах Восточно-Европейской равнины // Геоморфология. 1996. № 3. С. 39–43.
13. *Rooseboom A., Harms H.J.von M.* Changes in the sediment load of the Orange River during the period 1929–1969 // IAHS Publ. 1970. № 128. P. 459–470.
14. *Milliman J.D., Meade R.H.* World-wide delivery of river sediment to the oceans // J. Geol. 1983. № 91. P. 1–21.
15. *Meade R.H., Parker R.S.* Sediment in river of the United States // US Geol. Surv. (Water-Soupp. Pap.). 1984. № 2275. P. 49–60.
16. Ковальчук И.П. Эколого-геоморфологический анализ флювиальных систем региона. Автореф. дис. докт. геогр. наук. М.: МГУ, 1993. 57 с.
17. *Branski J., Banasik K.* Sediment yield and denudation rates in Poland // IAHS Publ. 1996. № 236. P. 133–138.
18. *Segerström U., Renberg I., Wallin J.-E.* Annual sediment accumulation and land use history: Investigation of varved lake sediment // Verh. Int. Ver. theor. und angew. limnol. (Stuttgart). 1984. V. 22. № 3. P. 1396–1403.
19. *Froehlich W., Walling D.E.* The use of fallout radionuclides in investigations of erosion and sediment delivery in the Polish Flysh Carpathians // IAHS Publ. 1992. № 209. P. 61–76.
20. Рожков А.Г., Бахирев Г.И., Горин В.Б. Интенсивность роста оврагов в Центрально-Черноземной зоне // Почвоведение. 1993. № 4. С. 84–88.
21. *Голосов В.Н.* Аккумуляция в балках Русской равнины // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1998. Вып. 11. С. 97–110.
22. *Рысин И.И.* Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во УдмГУ, 1998. 274 с.
23. *Бутаков Г.П., Серебренникова И.А., Юсупова В.В.* Динамика овражной и речной эрозии на территории Республики Татарстан // Современные и древние эрозионные процессы. Казань: Изд-во КазГУ, 2001. С. 51–67.
24. *Пиляшова С.Н.* Овражная эрозия Нижегородского Предволжья: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Казань: КазГУ, 2002. 24 с.
25. *Гусаров А.В.* Изменчивость эрозии и стока наносов в Африке во второй половине XX века // Геоморфология. 2000. № 2. С. 3–12.
26. *Гусаров А.В.* Тренды эрозии в Европе во второй половине XX столетия // Геоморфология. 2001. № 3. С. 17–33.
27. *Гусаров А.В.* Тенденции изменения эрозии и стока взвешенных наносов в Северной Америке во второй половине XX столетия // Геоморфология. 2002. № 2. С. 9–26.
28. *Гусаров А.В.* Тенденции эрозии и стока взвешенных наносов в Азии во второй половине XX столетия // Геоморфология. 2002. № 4. С. 70–87.
29. *Гусаров А.В.* Тенденции изменения эрозии в Южной Америке и Австралии во второй половине XX столетия // Геоморфология. 2003. № 1. С. 56–64.
30. *Груза Г.В.* Климатическая изменчивость и прогноз изменений климата // Природа. 1992. № 8. С. 28–36.
31. *Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Шанталинский К.М. и др.* Современные глобальные и региональные изменения окружающей среды и климата. Казань: Изд-во УНИИПРЕСС, 1999. 96 с.
32. *Семенов В.А.* Ресурсы пресной воды и актуальные задачи гидрологии // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 10. С. 63–69.
33. *Balteaun D.* Effects of the March 4, 1977 earthquake on slope modelling in the surroundings of the Patirlagele Research Station (the Buzau Carpathians and the Subcarpathians) // Studia geomorphologia Carpatho-Balcanica. 1979. V. 13. P. 175–189.
34. *Fournier F.* Climat et erosion. La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les precipitations atmospheriques. Paris: Press Univ. de France, 1960. 201 p.

Казанский государственный университет

Поступила в редакцию
21.10.2003

THE TENDENCIES OF EROSION AND SUSPENDED SEDIMENT YIELD CHANGES ON THE EARTH DURING THE SECOND HALF OF 20TH CENTURY

A.V. GUSAROV

S u m m a r y

On the base of regional data on suspended sediment yield and other erosion characteristics the tendencies of terrestrial erosion intensity changes in the second half of 20th century were determined. Comparative evaluation (area aspect) of factors of these changes – anthropogenous, hydro-climatic, etc. – was fulfilled for the whole Earth, different continents and climatic zones.