

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
“Казанский государственный университет им.В.И.Ульянова-Ленина”

---

УДК 551.435.1(100.2)

*На правах рукописи*

Гусаров Артём Викторович

**Тенденции изменения эрозии и стока взвешенных наносов  
на Земле во второй половине XX столетия**

Специальности: 25.00.25 – “Геоморфология и эволюционная география”  
25.00.36 – “Геоэкология”

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ**

на соискание учёной степени  
кандидата географических наук

Казань – 2005

Работа выполнена на кафедре физической географии и геоэкологии факультета географии и геоэкологии Казанского государственного университета им.В.И.Ульянова-Ленина

---

**Научный руководитель:**

доктор географических наук (25.00.25), профессор **Дедков Алексей Петрович**  
(Казанский государственный университет им.В.И.Ульянова-Ленина,  
факультет географии и геоэкологии, кафедра физической географии и геоэкологии)

**Официальные оппоненты:**

доктор географических наук (25.00.25), профессор **Чалов Роман Сергеевич**  
(Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова,  
географический факультет, кафедра гидрологии суши,  
НИЛ эрозии почв и русловых процессов им.Н.И.Маккавеева)

доктор географических наук (25.00.36), профессор **Ермолаев Олег Петрович**  
(Казанский государственный университет им.В.И.Ульянова-Ленина,  
экологический факультет, кафедра ландшафтной экологии)

**Ведущая организация:**

Башкирский государственный университет им.К.А.Тимирязева,  
географический факультет, кафедра физической географии и гидрологии

Защита диссертации состоится **28 апреля 2005 г.** в 15<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 212.081.20 по геоморфологии и эволюционной географии (25.00.25), метеорологии, климатологии, агрометеорологии (25.00.30) и геоэкологии (25.00.36) при Казанском государственном университете им.В.И.Ульянова-Ленина по адресу: 420008, Казань, ул.Кремлёвская, 35, КГУ (II-ой учебный корпус), факультет географии и геоэкологии, аудитория 1512, диссертационный совет Д 212.081.20.

*E-mail:* avgusarov@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться на кафедре физической географии и геоэкологии факультета географии и геоэкологии и в научной библиотеке им.Н.И.Лобачевского Казанского государственного университета им.В.И.Ульянова-Ленина.

Автореферат диссертации разослан **15 марта 2005 г.**

Учёный секретарь диссертационного совета Д 212.081.20,  
кандидат географических наук, доцент



Ю.Г.Хабутдинов



## *Всё течёт, всё изменяется*

(Гераклит)

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В Париже под эгидой UNESCO вышел сборник работ, отражающих результаты исследований по международной гидрологической программе “Изучение эрозии, деформации русел рек и транспорта наносов в речных бассейнах в связи с естественными и антропогенными изменениями”<sup>1)</sup>. Сборник открывается статьёй ныне экс-председателя комиссии по континентальной эрозии (ICCE) Международной ассоциации гидрологических наук (IAHS) Д.Е.Уоллинга (D.E.Walling) “Эрозия и сток наносов в изменяющейся среде”, в которой представлен наиболее полный обзор новейших исследований их временной изменчивости. Д.Е.Уоллинг отмечает, что, несмотря на относительную многочисленность и географическое разнообразие таких исследований, в их среде отсутствует единство методов, позволяющее выстроить глобальные картины динамики интенсивности эрозии в различные геохронологические отрезки. В полной мере это относится и к многоаспектной проблеме изучения современных направленных изменений интенсивности эрозии, которая всё чаще и шире выходит за рамки интереса геоморфологии и приобретает в ряде регионов планеты напряжённый, порой даже катастрофический, геоэкологический и социально-экономический характер, требуя, тем самым, поиска путей своего решения.

Актуальность исследования определена также тем обстоятельством, что все существующие глобальные модели эрозии, созданные на обширных базах данных по речному стоку наносов [Walling, Webb, 1983; Дедков, Можжерин, 1984; Jansson, 1988; Львович и др., 1991 и др.], статичны как минимум в отношении современных изменений, и нуждаются в динамизации и геоэкологизации с целью улучшения своего содержания. Тем более что в последние десятилетия в развитии мировой геоморфологической науки наблюдается усиление роли динамической и экологической составляющих, продиктованное стремлением глубже проникнуть в суть рельефообразования и его последствий для человеческого общества, для биосферы в целом.

**Цель работы** – установление и анализ направленных изменений интенсивности эрозии, происходивших на Земле во второй половине XX столетия.

Приблизиться к поставленной цели позволило решение следующих **задач**:

⇒ обоснование выбора метода исследования;

⇒ сбор и анализ тематического материала;

⇒ установление и анализ тенденций (англ. *tendency, trend* – наклонность, общее направление) изменения интенсивности эрозии во второй половине XX столетия на/в континентах/частях света (региональный обзор);

⇒ количественная оценка площадей с преобладающими тенденциями изменения интенсивности эрозии во второй половине XX столетия на Земле по результатам их регионального изучения;

⇒ анализ (площадной аспект) факторной обусловленности различных преобладающих тенденций изменения интенсивности эрозии на Земле во второй половине XX столетия по результатам их регионального изучения.

---

<sup>1)</sup> Study of erosion, river bed deformation and transport in river as related to natural and man-made changes. Intern. Hydrol. Progr./Techn. Doc. in Hydrol. Paris: UNESCO, 1997. V.5. №10. 393 p.

### **Научная новизна работы:**

⇒рассмотрены тенденции изменения интенсивности эрозии во второй половине XX столетия по крупным регионам (континентам/частям света) Земли;

⇒дана количественная оценка площадей с различными преобладающими тенденциями изменения интенсивности эрозии во второй половине XX столетия на Земле в целом, в северном и южном её полушариях, на/в континентах/частях света и в климатических поясах;

⇒проанализировано в площадном аспекте влияние факторов на различные тенденции изменения интенсивности эрозии во второй половине XX столетия на Земле в целом, на/в континентах/частях света и в климатических поясах.

*Таким образом, представляемая работа является, насколько позволяет судить проработка многочисленных научно-информационных источников, первым по данной проблематике обобщающим анализом в планетарном масштабе.*

### **Основные положения работы, выносимые на защиту:**

⇒во второй половине XX столетия на охваченной исследованием части суши Земли (132,62 млн.км<sup>2</sup>) преобладали площади с преимущественно восходящей тенденцией изменения интенсивности эрозии, её усилением. Бóльший процент таких площадей отмечался в южном полушарии планеты, меньший – в северном. Неравномерным за изучаемый период являлось соотношение площадей с различными тенденциями изменения интенсивности эрозии на/в континентах/частях света и в климатических поясах Земли. Бóльший процент площадей с преобладающим усилением эрозии был в экваториальном, субэкваториальных и тропических поясах, меньший – в поясах средних и высоких географических широт. Сравнительно более масштабным было сокращение интенсивности эрозии в умеренном климатическом поясе северного полушария планеты.

⇒изменения деятельности человека и гидроклиматических условий – ведущие причины разнонаправленных изменений интенсивности эрозии на Земле во второй половине XX столетия. Влияния (площадной аспект) эндогенного фактора и фактора времени (саморегуляция эрозионно-аккумулятивных систем) было, по-видимому, в целом сравнительно незначительными. В указанной последовательности эти факторы ранжируются по уменьшению степени влияния (площадной аспект) на глобальные тенденции изменения интенсивности эрозии во второй половине XX столетия, однако их соотношения на/в разных континентах/частях света и в разных климатических поясах имели свои особенности.

**Личный вклад автора в работу.** Основные положения работы, выносимые на защиту, получены автором лично.

**Научно-практическая ценность работы.** Результаты работы вносят вклад в изучение (в том числе проводимое по программам Международной комиссии по континентальной эрозии (ICCE of IAHS) и Международной Ассоциации наук по воде и наносам (IASWS)) пространственно-временной изменчивости интенсивности эрозии и речного стока наносов суши Земли. Они могут быть также использованы в учебном процессе по географической, геоморфологической и геоэкологической специальностям в высших учебных заведениях, в популяризации эколого-геоморфологических знаний.

**Апробация работы.** Отдельные положения диссертации представлены и/или обсуждены на научной конференции, посвящённой 60-летию факультета географии и геоэкологии Казанского государственного университета им.В.И.Ульянова-Ленина (Казань,

1998), на XIV пленарном межвузовском координационном совещании по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (Уфа, 1999), на Всероссийской научной конференции “Проблемы географии на рубеже XX века” (Томск, 2000), на IV Щукинских чтениях “Геоморфология на рубеже XXI века” (Москва, 2000), на Всероссийской отчётной научной конференции по программе “Университеты России. Фундаментальные исследования” (Новороссийск, 2000), на Юбилейной Всероссийской конференции, посвящённой 250-летию Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова (Москва, 2002), на XVII и XVIII пленарных межвузовских координационных совещаниях по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (Краснодар, 2002; Курск, 2003), на V семинаре молодых учёных вузов, объединяемых Межвузовским научно-координационным советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при Московском государственном университете им.М.В.Ломоносова (Брянск, 2004), на Международном симпозиуме “Sediment transfer through the fluvial system” (“Перенос наносов в эрозионно-русловых системах”) (Москва, 2004), на XXVIII пленуме Геоморфологической комиссии Российской Академии наук (Новосибирск, 2004), на Юбилейной Всероссийской конференции, посвящённой 200-летию Казанского государственного университета им.В.И.Ульянова-Ленина (Казань, 2004), на отчётных научных конференциях Казанского государственного университета им.В.И.Ульянова-Ленина за 1998, 2000, 2001, 2002, 2004 гг.

**Публикации.** Основное содержание диссертации отражено в 22 опубликованных работах, в том числе в 9 тезисах докладов и 13 статьях.

**Объём и структура работы.** Диссертация, состоящая из введения, 3 глав (10 разделов), заключения, списка литературы и 2 приложений, изложена на 192 машинописных страницах, и включает 47 рисунков, 29 таблиц. Список использованных научно-информационных источников представлен 295 наименованиями (в том числе 205 – на иностранных языках).

Диссертация выполнена при финансовой поддержке федеральной программой “Университеты России. Фундаментальные исследования” (проекты № 95-0-12.1-7, № 015.08.01.07, № 08.01.012) и Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 03-05-64896).

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** сформулированы актуальность, цель и задачи работы, показаны научная новизна и научно-практическая ценность исследования, приводится перечень основных положений, выносимых на защиту, и пр.

В **главе 1** обосновывается выбор метода исследования, даётся общая характеристика исходного материала и его анализа.

Среди методов оценки современной интенсивности эрозии анализ стока взвешенных наносов (далее СВН)<sup>1)</sup>, по мнению ряда отечественных [Лопатин, 1952; Маккавеев, 1955; Страхов, 1962; Караушев, 1977; Дедков, Мозжерин, 1984; Львович и др.,

<sup>1)</sup> Исключение из общей массы транзитных наносов трудноопределяемой влекомой составляющей не меняет принципиально картину временной изменчивости интенсивности эрозии в речном бассейне, поскольку доля влекомого материала относительно стока взвешенных наносов невелика: в среднем около 4-8% в равнинных реках и до 20-25% – в горных [Прыткова, 1973; Мозжерин, 1994; Чигринцев, 2000 и др.].

1991; Бобровицкая, 1995 и др.] и зарубежных [Fournier, 1960; Corbel, 1964; Milliman, Meade, 1983; Walling, Webb, 1983, 1996; Jansson, 1988 и др.] исследователей, выступает как весьма точный и объективный; причём ни один другой количественный показатель интенсивности эрозии не имеет столь широкой географической изученности и столь большого количества инструментально установленных многолетних рядов наблюдений как СВН рек. Кроме того, динамика СВН отражает изменения интенсивности суммарно всех составных частей эрозии в речном бассейне – почвенной, овражной и русловой, и отражает изменения интенсивности эрозии суммарно по всей площади речного бассейна. С учётом глобального масштаба исследования эти обстоятельства удачны при генерализации выводов. Логично, что СВН также используется для характеристики временной изменчивости интенсивности данного геоморфологического процесса [Rooseboom, Harms, 1970; Milliman, Meade, 1983; Meade, Parker, 1984; Yun et al., 1987; Abernethy, 1990; Ковальчук, 1993, 2004; Бобровицкая, 1995; Branski, Banasik, 1996; Дедков и др., 1996; Mou, 1996; Summer et al., 1996; Сафина, 2000, 2004; Чигринец, 2000; Пияшова, 2002 и др.], поскольку изменения величин стока наносов за конкретный интервал времени в каком-либо бассейне реки адекватны изменениям в нём интенсивности эрозии (шире – механической денудации) в те же сроки.

Информационной базой для выполнения настоящей работы послужили многолетние ряды наблюдений за СВН рек различных регионов Земли. Параллельно сбору данных о СВН проводился сбор материала по временной динамике природных и антропогенных условий (многолетняя динамика атмосферных осадков, стока воды, различных видов землепользования и водопользования и т.д.) эрозии и нанософормирования для анализа факторной обусловленности установленных тенденций изменения последних, и определения предполагаемых направленных изменений интенсивности эрозии на территориях, не охарактеризованных динамикой СВН рек и/или других её показателей.

Научно-информационными источниками послужили:

⇒ Материалы режимных наблюдений Гидрометеорологической службы бывшего СССР (Ресурсы поверхностных вод СССР/Государственный водный кадастр СССР (Основные гидрологические характеристики)).

⇒ Электронные банки данных Национального института водных исследований (НИВИ, Канада, <http://www.cciw.ca>) и Геологической Службы США (<http://www.usgs.gov>).

⇒ Отечественные и зарубежные тематические публикации (монографии, периодические издания, сборники научных симпозиумов, конференций, совещаний и т.д.).

В итоге, собранный фактический материал получился крайне неоднородным.

Во-первых, как и ожидалось, сравнительно лучшими в плане доступности информации о временной динамике СВН регионами Земли оказались: бывший СССР<sup>1)</sup>, США, некоторые страны Центральной (запад Украины, Польша, Австрия) и Западной (Германия, Швейцария, Франция и Великобритания) Европы, Китай, Канада; менее информативные или неинформативные – Центральная и Южная Америка, Африка, южная периферия Азии, Австралия и Новая Зеландия (характеристика исходного материала дана в разделах главы 2).

<sup>1)</sup> По направленной изменчивости (вторая половина XX столетия) СВН рек бывшего СССР опубликована одна из самых фундаментальных (опирающаяся на анализ свыше 1,5 тысяч рядов наблюдений за СВН рек) по данной тематике работ [Бобровицкая, 1995], результаты которой взяты за основу для настоящего исследования по данному региону Земли.

Во-вторых, в собранном фактическом материале отчётливо проявилась неоднородность как самих рядов наблюдений за стоком наносов (различная степень их непрерывности и продолжительности), так и неоднородность “факторных” рядов, позволяющих интерпретацию установленных тенденций изменения интенсивности эрозии, а именно:

- многие ряды наблюдений за СВН представлены непрерывной (слабо прерывистой) серией его годовых величин. Такие ряды наблюдений наиболее характерны для территории бывшего СССР, США, Китая и ряда других.

- нередко в пределах одних и тех же гидрологических постов многолетние ряды наблюдений за СВН представлены, в силу информационной доступности, за разные отрезки времени как непрерывной серией годовых величин СВН, так и в усреднённой за ряд лет форме его выражения.

- нередко в пределах одних и тех же гидрологических постов многолетние ряды наблюдений за СВН представлены за разные отрезки времени только в усреднённой за ряд лет форме; причём, эти разнопериодные усреднения разделены различными по продолжительности интервалами времени с отсутствием информации о СВН. Такие многолетние ряды СВН наиболее характерны, опять-таки в силу информационной доступности, для Южной Америки, Африки, Южной Азии и др.

- материал по направленной изменчивости СВН для таких территорий как бывший СССР [Бобровицкая, 1995] и Польша [Branski, Banasik, 1996] представлены уже в итоговой картографической форме, без указания многолетней динамики СВН по конкретным гидрологическим постам.

Эти особенности базового материала заметно усложняют его обработку с единых позиций, снижают надёжность сопоставления и анализа направленных изменений СВН и интенсивности эрозии по разным регионам планеты.

Собранный материал по многолетней динамике СВН был проанализирован на тренд с применением статистического блока электронного пакета *Excel*. Для сохранения универсальности в подходе к изучению неоднородных многолетних рядов наблюдений за СВН, был выбран наиболее простой вид тренда (тенденции) – линейный. Линейная аппроксимация – это гипотетическая прямая, наилучшим образом описывающая набор каких-либо данных. Общее уравнение линейного (арифметического) СВН-тренда, построенного статистическим методом наименьших квадратов, имеет вид:

$$\mathbf{СВН}_i = \mathbf{a} \cdot t_i + \mathbf{b} \quad (1)$$

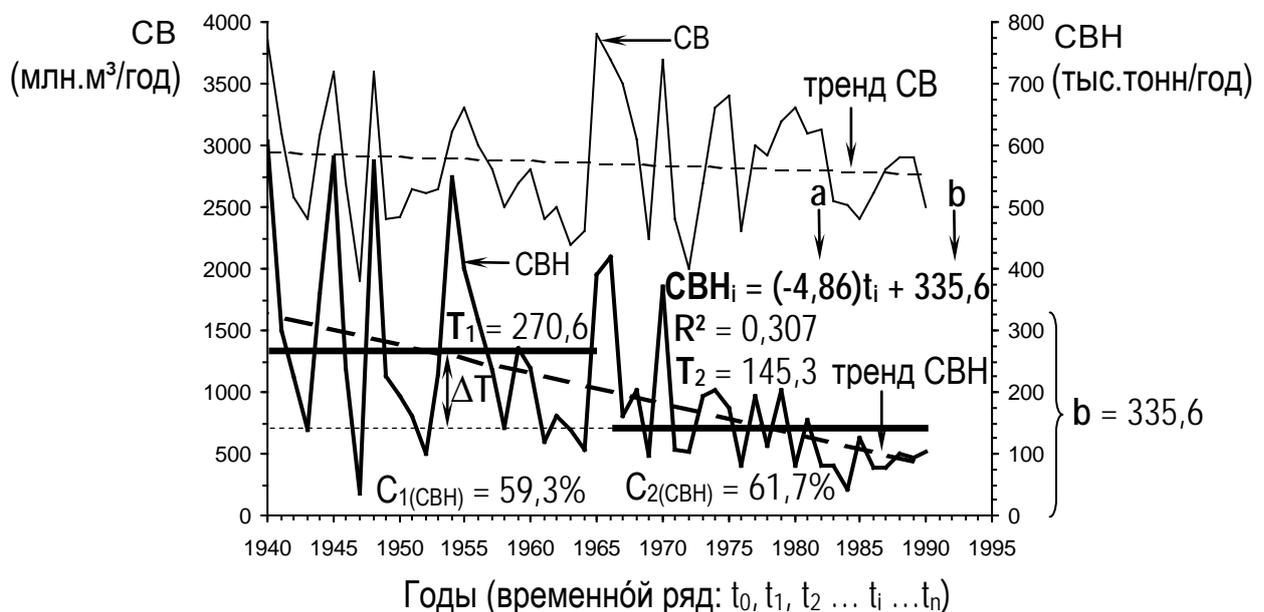
где  $t_i$  – конкретный год наблюдений (его порядковый номер в многолетнем ряду), которому соответствует теоретическая (регрессионная) величина стока наносов ( $\mathbf{СВН}_i$ )(рис.1),

$b$  – величина СВН на “раннем” конце линии СВН-тренда, т.е.  $b = \mathbf{СВН}_0$  (в  $t_0$ );

$a$  – тангенс угла наклона линейного тренда к оси времени (при  $\mathbf{a} > 0$  – тренд положительный (восходящий), т.е. отмечается медленное постепенное увеличение случайной переменной стока наносов на протяжении всего периода наблюдения за ним; при  $\mathbf{a} < 0$  – тренд отрицательный (нисходящий)); при  $\mathbf{a} = 0$  временной ряд считается *теоретически* стационарным. В естественных условиях значение коэффициента  $\mathbf{a}$  практически никогда не бывает равным нулю (т.е.  $\mathbf{СВН}_i \neq b$ ), что особенно справедливо для столь изменчивого во времени показателя как речной сток наносов. Следовательно, необходим критерий выделения *относительно* стационарной тенденции (тренда) в динамике переменных

величин СВН. Он, безусловно, должен отражать геоморфологическую сущность явления – изменения интенсивности эрозии и баланса наносов в речном бассейне. Решение такой задачи в настоящее время затруднительно, тем более в глобальном масштабе. Примеры выделения указанного критерия в многолетних рядах СВН нам, к сожалению, не известны. В предлагаемой работе введён собственный критерий, без глубокой, пока, проработки его с позиции внутриводосборной геолитодинамики. Он следующий: многолетний ряд наблюдений за СВН считался относительно стационарным, если разность ( $\Delta T$ ) средних значений (норм) стока наносов между первой (ранней) ( $T_1$ ) и второй (поздней) ( $T_2$ ) половинами анализируемого ряда наблюдений составляла от 0 до  $\pm 5\%$  (при разности более  $+ 5\%$  и менее  $- 5\%$  ряд считался с нисходящим или восходящим трендом в зависимости от знака разности), то есть:

- ⇒ при  $\Delta T$ :  $- 5\% \geq ((T_1 - T_2)/T_1) \cdot 100\% \leq + 5\%$  – тренд **относительно стационарный**;
- ⇒ при  $\Delta T$ :  $((T_1 - T_2)/T_1) \cdot 100\% < - 5\%$  – тренд **восходящий** ( $a \neq 0$ ;  $a > 0$ );
- ⇒ при  $\Delta T$ :  $((T_1 - T_2)/T_1) \cdot 100\% > + 5\%$  – тренд **нисходящий** ( $a \neq 0$ ;  $a < 0$ ) (рис.1).



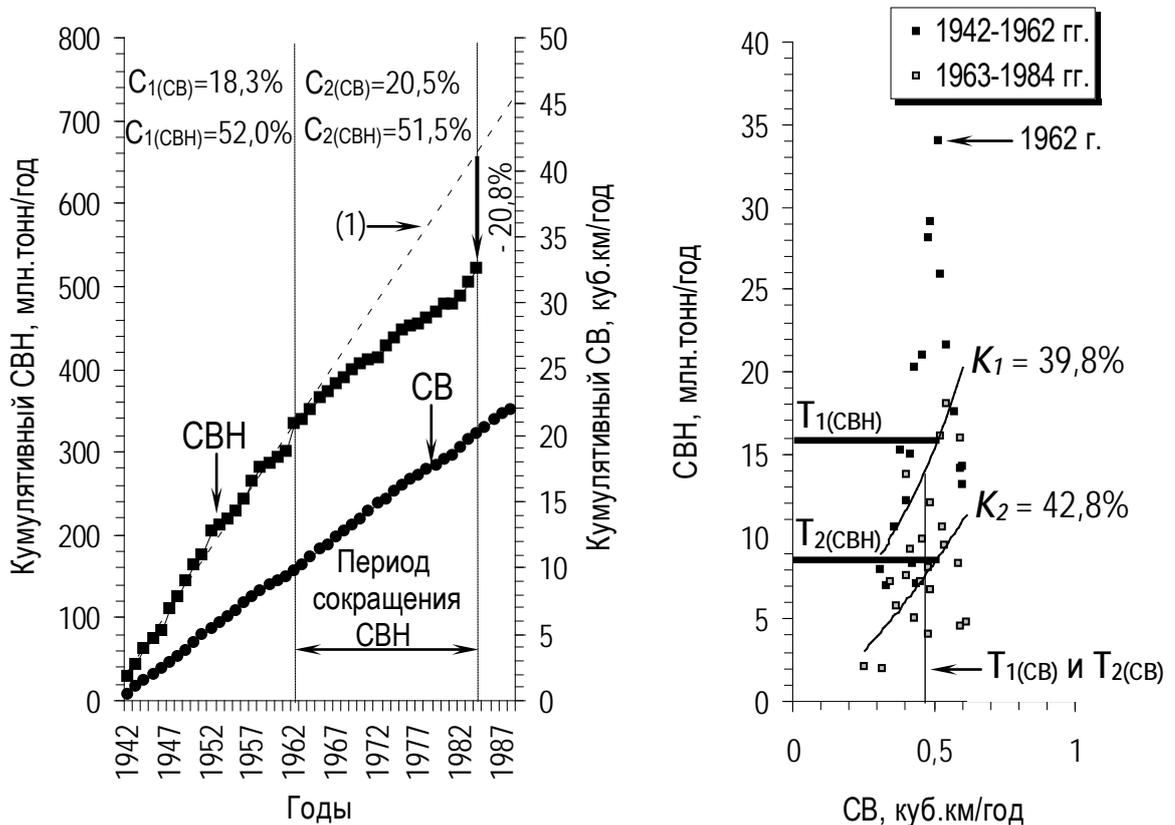
**Рис.1.** Установление тренда и его параметров на примере многолетнего ряда наблюдений за стоком взвешенных наносов (СВН) р.Изар/Мюнхен (южная Бавария, Германия)  $\{\Delta T = ((T_1 - T_2)/T_1) \cdot 100\% = + 46,3\% \Rightarrow$  тренд СВН р.Изар/Мюнхен за 1940-1990 гг. – нисходящий};  $C_{1(СВН)}$  и  $C_{2(СВН)}$  – коэффициенты межгодовой вариации СВН за периоды 1940-1965 гг. и 1966-1990 гг. соответственно;  $a$  и  $b$  – коэффициенты в уравнении (1) ( $b$  количественно соответствует теоретической (регрессионной) величине СВН в 1940 году ( $t_0 = 0$ ));  $R^2$  – коэффициент достоверности аппроксимации линии тренда (см.ниже); СВ – сток воды.

В рядах наблюдений за СВН, представленных уже усреднёнными за разные периоды величинами (разделёнными отрезками времени с отсутствием данных о СВН), направленность определялась соотношением этих усреднений при тех же количественных рубежах.

Для анализа достоверности линии тренда в непрерывных (слабо прерывистых) рядах наблюдений за СВН использовался коэффициент достоверности аппроксимации –

$R^2$ , показывающий близость линии тренда к исходному ряду. Чем больше этот коэффициент ( $R^2$  изменяется от 0 до 1), тем достовернее тренд. Коэффициент широко применяется в тренд-анализах при гидролого-метеорологических исследованиях. В тоже время величины этого показателя для многолетних рядов наблюдений за СВН, как правило, невелики – менее 0,3-0,5 (рис.1), в силу бóльшей межгодовой изменчивости стока наносов по сравнению со стоком воды и, тем более, атмосферными осадками в одних и тех же бассейнах/регионах.

Линейные тренды в стоке наносов сопоставлялись с направленными изменениями природных (атмосферные осадки, сток воды – для них так же определялся линейный тренд (рис. 1)) и антропогенных условий с целью анализа причинности эрозионных изменений. Где позволял фактический материал, для анализа факторной обусловленности прослеживались количественные связи между годовыми и внутригодовыми величинами СВН, осадками и стоком воды (анализ кривых зависимости стока наносов от стока воды и атмосферных осадков, сопряжённый анализ кумулятивных (интегральных) кривых стока наносов и стока воды, коэффициентов корреляции и вариации последних (рис. 2), и пр.).



**Рис. 2.** Пример сопряжённого анализа кумулятивных кривых речного стока воды (СВ) и стока взвешенных наносов (СВН): р.Грин-Ривер (запад штата Вайоминг, США) в период 1942-1988 гг. (СВ определён по гидропункту г.Даниел, СВН – г.Грин-Ривер).

(1) – прогнозная линейная тенденция для периода 1942-1962 гг.;  $C_{1(SW)}$  и  $C_{1(SVN)}$  – коэффициенты межгодовой вариации СВ и СВН реки в период 1942-1962 гг.,  $C_{2(SW)}$  и  $C_{2(SVN)}$  – тоже для периода 1963-1984 гг.;  $T_1(SW)$  и  $T_1(SVN)$  – усреднённая величина (норма) СВ и СВН в период 1942-1962 гг.,  $T_2(SW)$  и  $T_2(SVN)$  – тоже для периода 1963-1984 гг.;  $K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты корреляции между годовыми величинами СВ и СВН за периоды 1942-1962 гг. и 1963-1984 гг. соответственно  $\{\Delta T_{СВ} = ((T_1(SW) - T_2(SW))/T_1(SW)) = -0,6\%$ ;  $\Delta T_{СВН} = ((T_1(SVN) - T_2(SVN))/T_1(SVN)) = +46,1\%$ .

На кумулятивной кривой СВН (рис. 2) чётко прослеживается сокращение стока наносов после 1962 года (СВН в период 1942-1962 гг. составлял в среднем 15,91 млн.тонн/год, в период 1963-1984 гг. – 8,58 млн.тонн/год), причём сокращение стока воды после указанного года на кумулятивной кривой СВ не выявляется (СВ в период 1942-1962 гг. составлял в среднем 0,468 км<sup>3</sup>/год, в период 1963-1984 гг. – 0,471 км<sup>3</sup>/год; мало изменялись между указанными периодами и коэффициенты межгодовой вариации стока воды). Наиболее вероятной причиной сокращения стока наносов в р.Грин-Ривер мог выступить антропогенный фактор, а именно: сокращение интенсивности эрозии в бассейне реки в следствие противоэрозионных мероприятий (изменение структуры посевов в сторону преобладания эрозионно более устойчивых культур, изменение механизма обработки почв, залесение и залужение земель) и, возможно, сооружение небольших водохранилищ, аккумулирующих наносы – продукты эрозии, переносимые водотоком.

Для изучения предполагаемой современной направленной изменчивости эрозии на территориях, не охарактеризованных многолетними рядами наблюдений за СВН и/или других показателей, нами применялся либо метод аналогий с территориями (с аналогичными или близкими природно-хозяйственными условиями), где изученность динамики эрозионных показателей (преимущественно СВН) равно как и факторов их контролирующих в период исследования, как минимум, удовлетворительная, либо известный в гидрологической и геоморфологической литературе метод пространственно-временных замещений. Суть последнего сводится, в данном случае, к замещению временных особенностей изменений СВН при смене природно-антропогенных условий, пространственными, как сравнительно лучше изученными. Применяя этот метод (метод эргодичности), мы опирались на обширный фактический материал по пространственной дифференциации интенсивности эрозии в различных природных и природно-хозяйственных условиях Земли, приведённый в работе А.П.Дедкова и В.И.Мозжерина (1984), на зональные интерполяционные зависимости интенсивности эрозии от стока воды, установленные в работе М.И.Львовича и др.(1991), на региональные работы, характеризующие связь стока наносов со стоком воды или атмосферными осадками. Вместе с тем, метод эргодичности даёт неплохие результаты лишь для достаточно длительных отрезков времени, измеряемых, как минимум, столетиями или тысячелетиями, и по мере сокращения интервала времени его применения возрастает погрешность [Walling, 1997 и др.]. Поэтому, к использованию этого метода для целей установления направленных изменений интенсивности эрозии на Земле во второй половине XX столетия необходимо относиться достаточно критично, хотя в условиях отсутствия другой, сколь-либо надёжной информации для ряда регионов планеты, его применение как дополняющего метода здесь нам видится оправданным.

Установленные на региональном уровне тенденций изменения интенсивности эрозии во второй половине XX столетия были подвергнуты на заключительном этапе исследования картографическому (площадному) анализу на глобальном уровне.

Во-первых, были проанализированы соотношения площадей (как в абсолютной (млн. км<sup>2</sup>), так и относительной (%) величинах) с разнонаправленными преобладающими изменениями интенсивности эрозии на Земле в целом, в северном и южном её полушариях, на/в континентах/частях света Земли и по климатическим поясам. В связи глобальной генерализацией выводов анализировались преобладающие тенденции суммарно как инструментально установленные, так и предполагаемые. Расчёт площадей

проводился с точностью до одной десятой доли процента от охваченной исследованием площади ( $\approx 0,132$  млн.км<sup>2</sup>).

Во-вторых, для территорий с выделенными преобладающими тенденциями изменения интенсивности эрозии определялись ведущие их факторы: природный (главным образом гидроклиматический – многолетняя направленная динамика атмосферных осадков, стока воды), антропогенный (многолетняя динамика различных по направленности и интенсивности видов хозяйственной деятельности) и условно антропогенно-гидроклиматический (данный фактор выделялся на территориях, на которых проблемно было выделить доминирующее влияние как чисто гидроклиматического, так и антропогенного факторов многолетних направленных эрозионных изменений). Соотношение всех этих факторов в площадном аспекте (анализ региональных карт, приведённых в соответствующих разделах главы 2) было так же установлено для Земли в целом, для северного и южного её полушарий, континентов/частей света Земли и для климатических поясов.

**Глава 2** посвящена обзору направленных изменений интенсивности эрозии во второй половине XX столетия по крупным регионам Земли. Рассмотрение приводится по материкам/частям света в следующем порядке: Европа, Азия, Северная Америка, Южная Америка, Африка, Австралия и Новая Зеландия, предваряясь по каждому из этих регионов характеристикой пространственной дифференциации интенсивности эрозии по стоку взвешенных наносов.

**Европа.** Изучению современной направленной изменчивости интенсивности эрозии на субконтиненте посвящён ряд отечественных и зарубежных работ: Европейская часть бывшего СССР [Бобровицкая, 1995], восток Русской равнины [Дедков и др., 1996], Западная Украина [Ковальчук, 1993], Польша [Branski, Banasik, 1996], Австрия [Summer et al., 1996] – по динамике СВН; Среднее Поволжье и Приуралье [Миронова, Сетунская, 1980; Бутаков и др., 2000; Рысин, 1998; Назаров, 1992 и др.], Предкарпатье [Ковальчук, 1993; Волощук, 1986 и др.], Нижегородское Предволжье [Пияшова, 2002] – по овражной динамике с дополнительным анализом динамики СВН; центральные области Русской равнины [Голосов и др., 1992; Голосов, 1998], флишевые Карпаты юга Польши [Froehlich, Walling, 1992], лёссовый район Нидерландов [Leenaers et al., 1990] – по радиоизотопному методу. Несмотря на этот, далеко не полный перечень работ, общеевропейского обзора на сегодня нет.

Для выявления в эрозионных скоростях современной направленности использованы результаты многолетних наблюдений за СВН, проводимых Гидрометеослужбой СССР и РФ (97 речных бассейнов), электронный банк данных НИВИ Канады, дополняемые выводами указанных выше и других работ, прочие опубликованные отечественные и зарубежные материалы. Картина направленных изменений интенсивности эрозии в Европе во второй половине XX столетия достаточно сложная, и здесь более или менее чётко обособляются два основных региона [Гусаров, 2001].

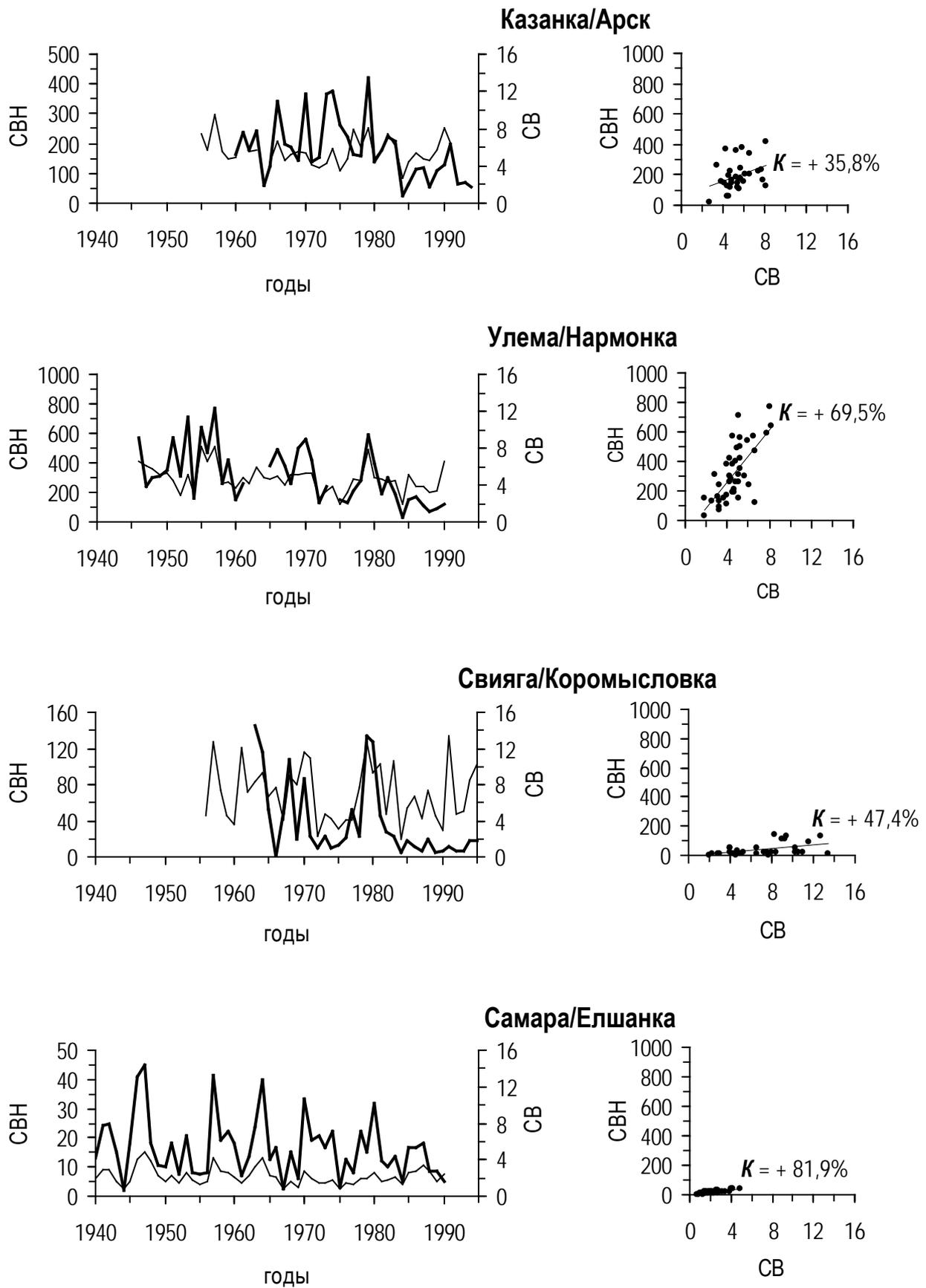
**Восточная и Северная Европа.** На обширном пространстве Русской равнины от Предкарпатья и Прибалтики на западе до Среднего Поволжья и южного Приуралья на востоке, от побережья Черного моря на юге и до бассейна Северной Двины (включительно) на севере за последние 40-50 лет была выявлена преобладающая тенденция уменьшения интенсивности эрозии, связанная как с однонаправленной динамикой стока воды (уменьшение водности), так и причинами антропогенного характера. Противозерозионные мероприятия, проводимые в 1970-1980-х гг., эффективными были, в частности,

в Среднем Поволжье (Ульяновское Предволжье, запад Татарстана и др.). Сток наносов в речных бассейнах Ульяновского Предволжья, к примеру, с 1960-х по середину 1990-х гг. сократились в 1,8-3,7 раза, несмотря на то, что годовой сток воды в 1980-1990-е гг. был, в некоторых из них (рр.Сызранка, Свияга, Сельдь, Тушонка), в среднем на 5-15 % выше, чем за период 1960-1970-х гг. (рис. 3). Отмеченная динамика СВН в целом хорошо согласовалась со снижением скоростей ежегодного прироста оврагов на фоне пульсационно-ритмичного характера их развития.

Иное направление современной динамики эрозии имело место в Среднем Приуралье (Кировская, Пермская области, Республика Башкортостан). Оно было определено следствием благоприятного для денудации сочетания возраставшего стока воды и хозяйственной деятельности на водосборах за последние как минимум 30-40 лет. По имеющимся данным, сток наносов только крупных рек региона – Белой и её притока Дёмы – возрос вдвое с 1960-х по 1980-1996 гг. За то же время, на фоне увеличения (в 1,5 раза) водности в бассейнах этих рек были расширены (на 120 тыс. га) площади естественных пастбищ с поголовьем скота, в 5-20 раз превышающим экологически допустимую ёмкость [Хазиахметов, 1996]. Столь же благоприятные для усиления эрозии условия сложились в расположенном севернее, в лесной зоне, бассейне верховья р.Вятка. Здесь, увеличение показателей водности за период 1976-1987 гг. в сравнении с периодом 1945-1957 гг. на 21% определило рост в этом речном потоке продуктов эрозии, при сопоставлении тех же периодов, более чем на 60%. Данное соотношение темпов прироста водности и наносов в реке вполне закономерно, и ещё раз подтверждает степенную зависимость между ними. В то же время здесь проявилось влияние антропогенного фактора: в Кировской области с 1956 по 1988 гг., площадь спелых, а значит обладающих бóльшей почвозащитной функцией, лесов в результате рубок заметным образом сократилась – с 42,8 до 27,4% [Новоселов, 1989].

На севере Европы, в Швеции, проводимые ещё с конца XIX столетия лесовосстановительные работы послужили главной причиной ощутимого сокращения средних скоростей эрозии, судя по динамике ежегодной седиментации взвесей в чашах ряда озёр на севере страны с начала XX века по 1970-1980-е гг. – с 700-300 до 250-150 г/м<sup>2</sup> [Segeström et al., 1984]. Отрезок нисходящей тенденции прослеживался в 1980-1990-е гг. в стоке наносов некоторых рек и, в частности, в бассейне р.Турне-Эльв: СВН с 1979-1987 по 1988-1996 гг. сократился с 3,1 до 2,4 т/год·км<sup>2</sup>, т.е. на 22,6% (СВ сократился соответственно с 19,7 до 19,3 л/с·км<sup>2</sup>, т.е. на 2,0%). Значимую роль в этой направленности изменения скоростей эрозии на территории страны динамика гидрометеорологических условий не играла, ибо на фоне ослабления западного воздушного переноса, с 1940-х гг. в сериях атмосферных осадков на севере и юге Скандинавии заметных трендов не обнаруживалось [Eriksson, Alexandersson, 1990]. Отметим, что в соседней Норвегии сходное затухание скоростей эрозии могло также иметь место, и при той же гидроклиматической динамике. В стране за последние 40 лет площадь обрабатываемых земель сократилась на 20%, причем 6% из них было залесено, в то время как 78% – не использовалось напрямую в сельском хозяйстве [Øvstedal, 1989].

Климатологами статистическим анализом многолетних рядов расходов воды и атмосферных осадков на территории 13 речных бассейнов Финляндии установлено, в противоположность территории Швеции, некоторое увеличение рассматриваемых характеристик, ощутимо проявившееся с начала 1940-х гг. При значительной залесенности междуречий и в целом рациональном землепользовании на них в стране, данная



**Рис. 3.** Изменения стока взвешенных наносов (СВН, т/год·км<sup>2</sup>) и стока воды (СВ, л/с·км<sup>2</sup>) в бассейнах некоторых рек Среднего Поволжья во второй половине XX столетия (толстая линия – СВН, тонкая линия – СВ;  $K$  – коэффициент корреляции СВ/СВН).

тенденция определенно имела следствием усиление эрозии, преимущественно руслового типа. Увеличение стока наносов в одной из рек севера страны – р. Кеми-Йоки – свидетельствует об этом: с 1979-1987 по 1988-1996 гг. он возрос с 0,3 до 1,2 т/год·км<sup>2</sup>, т.е. на 300% (СВ увеличился соответственно с 3,0 до 8,8 л/с·км<sup>2</sup>, т.е. на 193%).

*Западная, Центральная и Южная Европа.* На большей части данного региона преобладало усиление эрозионных процессов, основным фактором которого выступила хозяйственная деятельность (в 1920-1990 гг. годовое количество осадков в Западной Европе сокращалось на 0,9 мм/год [Семёнов, 1996]). Её влияние особенно ощутимо проявилось в Карпато-Альпийском поясе Европы. Так, если суммарная площадь бассейнов со среднемноголетними модулями СВН более 100 т/год·км<sup>2</sup> занимала в 1950-1960-х гг. около 14% горной части Польши, то в 1970-1980-е гг. – уже около 50% (бассейны верховьев рек Сан (Восточные Карпаты) и Дунаец (Висповские Бескиды), Словацкие Бескиды, Татры). Причина сложившейся тенденции – сведение лесов, ещё сохраняющихся на горных склонах, экстенсивное земледелие, проводимое, в том числе, на местах рубок, и расширенная рекреация. Рядом, в Западной Украине и Молдавии, за минувшие 40-50 лет во многих, наиболее заовраженных районах средняя плотность оврагов возросла более чем вдвое [Ковальчук, 1993; Волощук, 1986], что вызвало увеличение речного стока наносов с конца 1940-х гг. по начало 1990-х гг. до 2,5-3 раз, заиливание их русел и ухудшение общей экологической ситуации в крае.

В Чехии и Словакии, несмотря на сокращение площадей сельскохозяйственных угодий с 64,7 % в 1948 г. до 54,4% в 1990 г. и некоторое увеличение залесённой площади [Страшил, 1989], ускоренная эрозия за последние 40-50 лет охватила в этих странах более половины обрабатываемых земель. Связано это, прежде всего, с расширением пашни (в том числе с экспансией эрозионно-малоустойчивых посевов хмеля), с применением тяжёлой механизированной техники, использованием почв со слабой сопротивляемостью размыву и распахиванием по падению длинных (до 500-600 м) склонов значительной крутизны [Kundrata, 1992] в процессе социалистической коллективизации в 1950-1990 гг. З.Климент [Kliment, 2000] установил, что в северо-западной Чехии при коллективизации модули эрозии (не СВН!) возросли в среднем с 1.000 до 2.500 т/год·км<sup>2</sup>.

В том же направлении шло изменение интенсивности эрозии в Австрии (центральная и восточная части), где в период 1950-1990 гг. наблюдалась тенденция значительного (на 32%) увеличения массы наносов во многих бассейнах рек-притоков Дуная. По данным Ф. Грелфа [Grelf, 1985], в 1970-1980-х гг. 4,33 тыс. км<sup>2</sup> (11,6 % всех равнинных угодий) сельскохозяйственных площадей на равнине под пропашными культурами и виноградниками (их площадь в стране за период 1950-1987 гг. возросла с 0,349 до 0,582 тыс. км<sup>2</sup> [Weiß, 1989]), и 3 тыс. км<sup>2</sup> в горах (более 30% всех горных угодий) были подвержены эрозии. В ряд основных причин ее усиления в стране В.Саммер и др. [Summer et al., 1996] особо ставят расширение посевов кукурузы (с 4 % в 1950 г. по 16 % в 1990 г.), не защищающих почвы не только весной, но и в начале лета. Провоцировать ускорение смыва почво-грунтов могли как расширение пастбищ и сенокосов (только за 1974-1982 гг. в земле Верхняя Австрия поголовье крупного рогатого скота увеличилось на 26,4 %, а в земле Нижняя Австрия – даже на 40% [Penz, 1984]), так и растущая сфера горного туризма, снижающая устойчивость почво-грунтов к деятельности временных водотоков, поставляющих огромные массы обломочного материала в реки. Рассматривать в качестве одной из причин роста скоростей эрозионного разрушения земель в Альпий-

ской республике увеличение водности нет оснований, поскольку за период 1945/46–1994/1995 гг. здесь не выявлено какого-либо положительного тренда в мощностях зимних осадков [Mohul, 1996], формирующих летом эрозионно опасный сток талых вод.

С окончанием II Мировой войны интенсивная механизация сельского хозяйства и смена структуры посевов на значительной площади сказались негативно на состоянии эрозионной системы в Западной Европе. Это отчетливо проявилось в динамике СВН ряда рек региона. Увеличение модулей транспортируемых р.Сена у Парижа наносов – с 3,8 т/год·км<sup>2</sup> (в 1960-е гг.) до 6,6 т/год·км<sup>2</sup> (в период 1979-1993 гг.) – шло синхронно изменению технологии выращивания винограда и расширению территорий под эти цели после 1950 г. в области Шампань (верховья реки) – одной из известных провинций виноградарства [Gourbesville, 1997]. Аналогичный подход при использовании угодий наблюдался в бассейне верховья р.Луара, увеличение наносов в которой прямо указывает на неблагоприятную обстановку с эродированием земель в его пределах, поскольку модули СВН возросли здесь с 30 т/год·км<sup>2</sup> (до 1960 г.) до 38 т/год·км<sup>2</sup> (в период 1981-1994 гг.). Интенсификация сельскохозяйственных работ на расчленённых возвышенностях при расширении посевов однолетних культур – главные причины ускорения эрозии в последние десятилетия и в ряде департаментов северо-запада [Ouvry, Delahay, 1992] и юго-запада [Auzet, 1987] Франции. По тем же причинам СВН в бассейне р.Темза выше Лондона (юг Англии) с 1950-х гг. по начало 1990-х гг. возрос с 2 до 4 т/год·км<sup>2</sup>.

В Болгарии из 1.200 тыс.га орошаемых, большей частью в послевоенные годы, земель около 550 тыс.га ныне подвержено эрозии, превышающей, как минимум, в 1,5 раза среднемировые темпы [Великов, 1991]. Доля таких земель в Испании за период 1960-1980 гг. возросла с 8 до 15%, и основная доля расширения пришлась на наиболее чувствительные в денудационном отношении горные провинции страны.

Всё более частыми становятся потери лесных и кустарниковых массивов при пожарах. В условиях ощутимо неравномерного увлажнения в Средиземье это приводит к катастрофическим последствиям, ибо смыв оголенных почв в десятки и сотни раз превосходит смыв почв под незатронутой пожаром растительностью. В таких условиях в Испании ежегодно теряется почвенный мелкозём со скоростью 1.500-1.7000 т/год·км<sup>2</sup>, при допустимых значениях в 1.100 т/год·км<sup>2</sup> [Diaz-Fierros et al., 1982]. Все эти проявления антропогенизации, приводящие к образованию обширных, слабо защищающих земли от размыва, растительных формаций типа гарриги и маквиса, ускоряют эрозию во французском и итальянском Средиземье с развитием массового туризма.

Но не всюду в регионе хозяйственная деятельность приводила к усилению эрозии и увеличению наносов в реках. Осознание допущенных ошибок кардинальным образом улучшает ситуацию, приближает скорости эродирования земель к естественному уровню (юг Германии, восток Франции, Швейцария, северная Испания). Сток наносов во многих речных бассейнах южных земель Германии и западной Австрии за полвека заметно (в 1,2-2,8 раза) сократился (рис.1). Отправным моментом такой динамики выступало, по видимому, планомерное уменьшение площадей пахотных земель и, особенно, эрозионно малостойчивых посевов ржи и картофеля [Horst, 1989], а также увеличение за счет последних посевов кормовых, многолетних трав, более противодействующих размыву. Свою, хотя и не определяющую, роль в отмеченном сокращении продуктов эрозии сыграло уменьшение в регионе водности.

Ещё более ощутимое сокращение интенсивности эрозии отмечаем в Альпах Швейцарии. В бассейне верховья р.Рейн выше Лустенау модули СВН, составлявшие в

середине века в среднем  $840 \text{ т/год}\cdot\text{км}^2$ , уменьшились до  $159 \text{ т/год}\cdot\text{км}^2$  за период 1991-1996 гг.), в бассейне верховья р.Роны у Порт-де-Скёза выше Женевского озера с середины века по период 1991-1996 гг. СВН реки сократился с 850 до  $133 \text{ т/год}\cdot\text{км}^2$ .

**Азия.** Изучению современных направленных изменений интенсивности эрозии в разных частях субконтинента посвящён ряд отечественных и зарубежных работ. Большинство их базируется на анализе многолетней динамики СВН и темпах его аккумуляции. Отметим наиболее крупные и/или известные работы: Северная Азия в границах бывшего СССР [Бобровицкая, 1995]; бассейн р.Хуанхэ [Моу, 1996; Сток наносов реки Хуанхэ, 1996 и др.]; бассейн р.Янцзы [Yun et al., 1987; Lin, 1989; Миллиман, 1991; Dingzhong, Ying, 1996 и др.]; юго-восточный Казахстан [Чигринец, 2000], бассейны ряда водохранилищ Юго-Восточной Азии [Abernethy, 1990]. На основе выводов указанных и других работ, данных о динамике СВН, полученных по сети Интернет из НИВИ Канады (р.Ганг, р.Селенге, р.Иртыш, р.Амур и др.), а также обширного научно-информационного материала, содержащего сведения о современных изменениях эрозионных факторов, представлена общая по субконтиненту картина тенденций изменения интенсивности эрозии [Гусаров, 2002].

Северная и Северо-Восточная Азия с преобладающей относительной стационарностью интенсивности эрозии. Ясно выраженная в более чем 50% проанализированных [Бобровицкая, 1995] бассейнах региона относительная стационарность стока наносов в последние десятилетия установилась лишь вдоль побережья (полосой до 500-1.000 км) Северного Ледовитого океана, а также на юге Дальнего Востока России и крайнего северо-востока Китая (бассейн р.Амур, о.Сахалин, Приморье). На остальной части региона какой-либо однозначной доминирующей тенденции в изменении стока наносов отмечено не было (примерно равное соотношение числа бассейнов с восходящей, нисходящей и относительно стационарными тенденциями). При сравнительно хорошей сохранности естественных (таёжных, тундровых и лесотундровых) ландшафтов, отмеченная динамика стока наносов отражает за этот период общую динамику гидроклиматического фактора. Последствия вмешательства человека (сведение лесов, распахивание земель, добыча полезных ископаемых и пр.) проявляются, зачастую, лишь локально (верховье р.Колыма и др.).

Западная Сибирь, Центральная и Восточная Азия (средняя часть) с преобладающей нисходящей тенденцией изменения эрозии, выявляемой по результатам анализа динамики СВН крупнейших рек данного региона – Хуанхэ, Янцзы, Селенге, Иртыш.

Проблема сильной эрозии и повышенного стока наносов в бассейне р.Хуанхэ существует давно. По мере усиления хозяйственной деятельности, особенно на Лёссовом плато (вырубка лесов, распахивание земель), сток наносов неуклонно возрастал: к 1190 г. – 1.160 млн.тонн/год, к 1855 г. – 1.330 млн.тонн/год, к 1949 г. – 1.680 млн.тонн/год, к 1970 г. – 1.741 млн.тонн/год. Проводимые с 1970-х гг. главным образом на Лёссовом плато лесопосадочные и берегоукрепительные работы, а также создание водохранилищ привели к его уменьшению в 1980-х гг. даже в среднем течении Хуанхэ до 800 млн.тонн/год, что является самым низким на памяти человечества среднемноголетним годовым стоком Жёлтой реки. Мульчирование и залужение эродированных земель привело к 20-30%, и даже к 90%, уменьшению стока наносов в малых речных бассейнах на Лёссовом плато. Отметим, что и гидроклиматический фактор в последние десятилетия способствовал уменьшению скоростей эрозии и объёмов СВН: в 1980-х гг. норма стока воды в бассейне была на 13,3% ниже многолетней нормы.

В бассейне другой великой реки Азии – Янцзы – такого ощутимого сокращения стока наносов, как в бассейне р.Хуанхэ, не отмечалось. При сравнение периодов 1950-1970 гг. и 1971-1992 гг. он уменьшился всего лишь на 5,6% (соответственно с 532 до 502 млн.тонн/год) при уменьшение водности в бассейне за те же периоды на 4% (с 447 до 429 млрд.м<sup>3</sup>/год). В тоже время, в ряде бассейнов верховья реки деятельность человека развивалась по такому сценарию, который способствовал ускорению механической денудации земель.

Западно-Сибирский регион характеризовался во второй половине XX столетия преобладанием числа речных бассейнов (около 50%) с сокращением наносов. В 25-30% и более бассейнах сток наносов в целом за этот период мало изменялся [Бобровицкая, 1995].

Юго-Восточная, Южная и Юго-Западная Азия с преобладающей восходящей тенденцией изменения интенсивности эрозии. Динамика стока наносов в р.Ганг отразила общую тенденцию изменения скоростей эрозии в этом обширном регионе во второй половине XX столетия. Если в первой половине 1960-х гг. (ориентировочно) с водами реки ежегодно выносилось (с площади 976 тыс.км<sup>2</sup>) около 480 млн.тонн взвешенных наносов [A compendium of ..., 1966], то в 1980-х гг. – около 520 млн. тонн (по материалам НИВИ, Канада). Сравнение космических снимков индийской территории за 1972-1975 гг. и 1980-1983 гг. показало, что всего за 7-8 лет лесные площади в стране сократились с 550 до 463 тыс.км<sup>2</sup>, или на 16,6%. При этом наиболее масштабное сведение леса зафиксировано в наиболее залесённой Центральной, Северо-Восточной и Юго-Восточной Индии [Шеров-Игнатъев, 1989]. Только в штате Уттар-Прадеш (бассейн верховья р.Ганг) темпы расширения эрозионно неустойчивых пастбищных угодий составили свыше 11%/год; каждые 10 лет площадь сильно заовраженных земель в стране увеличивается на 1% [Haigh, 1984]. Прогрессирующему обезлесиванию подвергались также Гималаи, что приводило к усилению аккумуляции продуктов эрозии на предгорных равнинах (например, в долине низовья р.Брахмапутра (Бангладеш)).

Не менее убедительны свидетельства усиления эрозии в Юго-Восточной Азии, что связано опять-таки с очень быстрыми темпами прироста аграрного населения, значительными скоростями сведения тропических лесов и расширения обрабатываемых земель. Согласно расчетам К.Абернети [Abernethy, 1990], полученным на основе изучения соотношения темпов прироста численности населения и стока наносов в бассейнах ряда водохранилищ Юго-Восточной Азии, на каждый 1% прироста населения следует ожидать увеличение стока наносов в бассейне в среднем на 1,6%. Учитывая эту, пусть даже грубую закономерность и достаточно высокие для региона темпы прироста населения – 6,3%/год (за период 1960-1990 гг.), можно было ожидать здесь увеличение скоростей эрозии на 10%/год, или на 300% с 1960 г. по 1990 г. При этом процессы сведения лесов проходят также весьма быстро. С 1950 г. по 1980-е гг. лесопокрытая площадь на Филиппинах, к примеру, сократилась с 50 до 20% площади страны [Kummer, 1990], причём наиболее активно лесосведение происходит в отношении первичных лесов (с 100 до 10 тыс.км<sup>2</sup> соответственно). Особенно угрожающий характер имели темпы лесосведения в Таиланде. В этой стране за 1961-1981 гг. лесопокрытая площадь сократилась с 513 до 143 тыс.км<sup>2</sup>, или с 99,8 до 27,8 % площади страны (т.е. в 3,5 (!) раза) [Hirsch, 1990]. Еще 100-150 лет тому назад о.Калимантан на 90-95% площади был покрыт дождевыми тропическими лесами. К середине 1980-х гг. они сохранились лишь на 2/3 его территории. Причина всё та же – увеличение численность населения: на острове оно

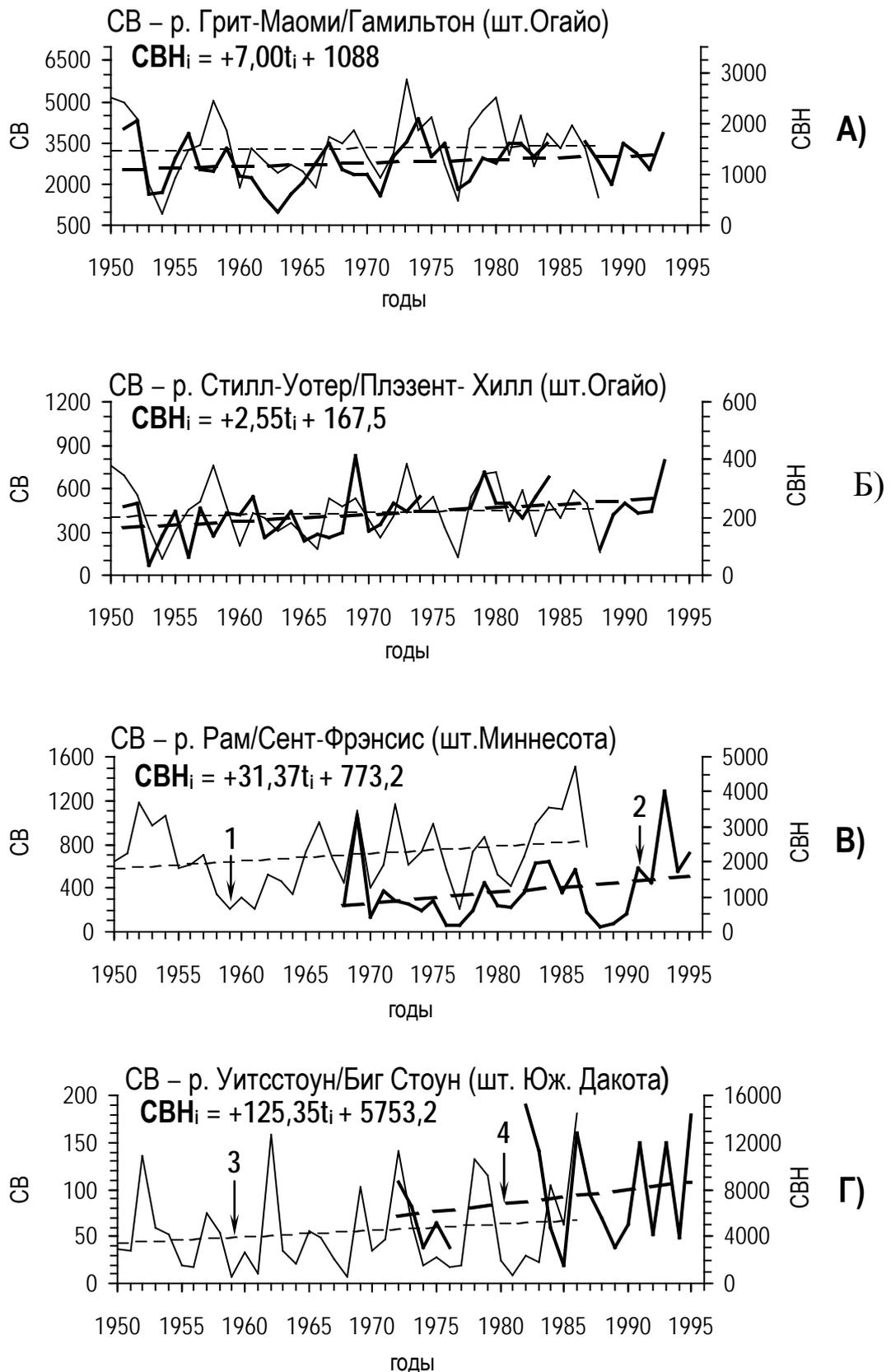
возросло с 1912 по 1990 гг. на 480% (6,2%/год) – с 1,6 до 9,1 млн.чел. [Zimmerman, 1997], что могло, согласно выводам К.Абернети, увеличить сток наносов в местных реках более чем в 7 раз. К сожалению, примеры, подобные этим, по региону не единичны, и вызывают большую тревогу.

В Юго-Западной Азии хозяйственная деятельность также выступила причиной ускорения денудации, что отмечалось, к примеру, на огромных пространствах пустынь и полупустынь Ирака при чрезмерном выпасе скота, ранней пастьбе, сведении на топливо пастбищных полукустарников и т.д. Аналогичная картина была характерна для 40% территории Сирии, для Палестины. Способствовать усилению эрозии могла также и механизация сельского хозяйства, участвовавшие лесные пожары (Иран, Турция и др.).

**Северная Америка.** Современные направленные изменения интенсивности эрозии установлены и оценены [Гусаров, 2002] здесь как по результатам анализа многолетней динамики СВН на 48 речных гидрологических постах (на территории США – 44, Канады – 4) (по материалам Геологической Службы США и НИВИ Канады), так и косвенно – по динамике основных факторов, контролирующих изменчивость эрозии (Центральная Америка, острова Карибского моря, северо-западная часть Северной Америки и др.).

**Юго-восток Северной Америки.** На востоке США во второй половине XX столетия отмечалось увеличение стока воды в подавляющем большинстве (почти 80%) проанализированных речных бассейнов. Увеличение водности повлияло, с ростом эродирующей силы стекающих, особенно талых вод, на усиление эрозии в столь хорошо агрикультурно освоенном регионе континента (рис. 4). Другая причина усиления эрозии – освоение территории человеком. Только за период 1950-1980 гг. доля посевов кукурузы, слабо сдерживающих эрозию, в севообороте США возросла почти на 70%, причём штаты именно этого региона – Айова, Иллинойс, Индиана, Огайо, Небраска, Миннесота, Мичиган, Висконсин, Южная Дакота и др. (т.н. “Кукурузный пояс”) – сконцентрировали более 80% общеамериканской уборочной площади данной культуры [Черняков, 1990]. По расчётам [Walling, 1997], на каждый 1% увеличения площади, засеянной кукурузой, концентрация взвешенного в речной воде эрозионного материала увеличивается в среднем на 0,42% (зависимость установлена по бассейну р.Айова в штате Айова). Следовательно, только с 1950 г. по 1980 г. сток наносов в бассейнах многих рек “Кукурузного пояса” страны должен был, согласно зависимости, возрасти примерно на 30%, без учёта гидроклиматической составляющей этого увеличения. Показательными здесь будут результаты исследования Л.Петерсона [Peterson, 1964], проведённого на одном из стационаров в том же штате Айова, где на площадях выявлены следующие потери почв за год под разными культурами: под многолетними травами – 6 т/км<sup>2</sup>, при чередовании посевов трав и кукурузы – 540 т/км<sup>2</sup>, под посевами кукурузы на зерно – 1.880 т/км<sup>2</sup>. В ряде штатов – Миссисипи, Теннесси, Кентукки и др. – сокращение посевов кукурузы (с 9,5 млн.га в 1929 г. до 3 млн.га в 1982 г.) шло параллельно увеличению площадей под другими, не менее эрозионно опасными культурами – сои и пшеницы. Скорости эрозии при культивации последней (пшеничный пар), к примеру, в среднем в 5-6 раз превышают таковые на полях, засеянных люцерной, и почти в 30 раз – скорости на естественных пастбищах [Brown, 1950].

Расширение посевов культурной растительности сопровождалось, зачастую, сведением растительности лесной, что ярко проявилось в некоторых южных штатах США. Следствие – усиление эрозии бассейнового типа в достаточно короткий интервал времени. Так, сток наносов р.Перл/Богалуза (штат Луизиана) увеличился только с периода



**Рис. 4.** Тенденции изменения стока воды (СВ, фут<sup>3</sup>/с) и стока взвешенных наносов (СВН, тыс. тонн/год) в бассейнах некоторых рек северо-востока США.

**А)** – р. Маоми/Уотервилл (шт. Огайо); **Б)** – р. Кайахога/Индепенденс (шт. Огайо);

**В)** – р. Миннесота/Манкейто (шт. Миннесота); **Г)** – р. Уайт-Ривер/Окома (шт. Юж. Дакота);

1(2) – СВ(СВН); 3(4) – тренд СВ(СВН).

1968-1974 гг. по период 1983-1989 гг. в 2,2 раза: соответственно со 115 до 250 тыс.тонн/год (по материалам Геологической Службы США). Синхронно увеличению речной мутности в регионе было отмечено увеличение скоростей осадконакопления в озерных котловинах.

*Запад США и Канады.* На большей части горно-предгорного запада США и Канады изменения интенсивности эрозии, судя по динамике СВН, имели преимущественно иную направленность, чем на юго-востоке Северной Америки. Причины тому – как динамика гидроклиматических условий, так и эффективная в ряде штатов и провинций деятельность человека по борьбе с эрозией (рис. 2). Здесь сокращению наносов во многих реках способствовало создание водохранилищ различного целевого назначения. В этих краях некоторые водохранилища быстро заполняются продуктами эрозии – всего за 10-15 лет [Dendy et al., 1973].

*Мезоамерика (Южная Мексика, Центральная Америка, острова Карибского моря).* Вторая половина XX столетия в этом регионе материка характеризовалась преобладающей восходящей направленностью скоростей эрозии. Главная причина тому – сведение лесов. Начиная с 1950-х гг. на равнинах Центральной Америки было сведено до 2/3 (!) тропического леса [Nations James, Komer, 1987]. Бурное развитие туризма на островах Малой Антильской гряды (о.Барбадос [Tam, 1981], о.Мартиника [Ega, 1988] и др.) также приводило к ускорению бассейновой эрозии. Лишь на Кубе проводимые с послереволюционного времени работы по восстановлению лесов удерживали, по всей видимости, темпы эрозии на более или менее постоянном в последние десятилетия уровне.

*Южная Америка.* Установление и анализ тенденций изменения интенсивности эрозии на континенте во второй половине XX столетия проведён [Гусаров, 2003] по многолетним рядам наблюдений за СВН наиболее крупных его рек – Амазонке, Ориноко, Паране, суммарная площадь бассейнов которых составляет 63% всей площади Южной Америки.

*Бассейн р.Амазонка.* Сток взвешенных наносов в устье р.Амазонка по определениям за последние 30-40 лет имел выраженную тенденцию роста. По данным Р.Гиббса [Gibbs, 1967], на рубеже 1950-1960-х гг. сток наносов реки в океан составлял около 420 млн.тонн ежегодно. Эти оценки были позднее подтверждены наблюдениями в 1967-1968 гг. – 400-500 млн. тонн/год. В 1970 г. и 1977 г. группа исследователей на судне “Альфа Холикс” провела новые замеры стока наносов – 800-900 млн.тонн/год [Mead et al., 1979]. Данные же, приведённые на официальном сайте НИВИ Канады, свидетельствуют о превышении объёма СВН р.Амазонка в начале 1980-х гг. миллиардного рубежа – около 1,2 млрд. тонн/год. Главной причиной отмеченного усиления эрозионных процессов и увеличения стока наносов (почти в три раза с конца 1950-х гг. по 1980-е гг.) в бассейне крупнейшей реки Южной Америки выступило, по-видимому, широкомасштабное лесосведение как на Амазонской низменности в связи с государственной (Бразилия) программой хозяйственного освоения сельвы, так и в горной части бассейна реки – на склонах Анд – территории Боливии, Перу, Эквадора и Колумбии. В последней, к примеру, в 1950-1980-х гг. ежегодно леса сокращались на площади 6,6-8,8 тыс.км<sup>2</sup> (из 470 тыс.км<sup>2</sup> лесов, покрывавших страну в начале XX столетия).

*Бассейн р.Ориноко.* Сток взвешенных наносов реки в Атлантический океан с середины 1960-х гг. по начало 1980-х гг. возрос со 100 [Jansen, Painter, 1974] до 150 млн.тонн/год (НИВИ, Канада). Причина также заключается в динамике хозяйственной

деятельности: в Венесуэле с 1950 г. площадь посевных земель под слабо противостоящими эрозии культурами, к примеру, увеличилась в среднем по стране в 4 раза [Wettstein, 1982].

**Бассейн р.Парана.** Сток взвешенных наносов реки в Атлантический океан с середины 1960-х гг. по период 1979-1986 гг. возрос с 90 [Jansen, Painter, 1974] до 102 млн.тонн/год (НИВИ, Канада). Именно в этом речном бассейне наблюдались наибольшие на всём континенте, по отношению к площади водосбора, темпы сведения лесов: только с 1963 г. по 1973 г. здесь было уничтожено почти 60% лесов (более 150 тыс.км<sup>2</sup>), которые ныне занимают лишь около 5% территории [Krause, 1982]. Дополнительно, с 1970-х гг. широкое распространение получили в регионе посевы пшеницы и сои, а с ними – интенсивная эрозия на обрабатываемых полях. Причина несоответствия темпов увеличения наносов сравнительно высоким темпам антропогенного прессинга на ландшафты бассейна р.Парана – большое количество водохранилищ в бассейне, аккумулирующих значительную массу продуктов эрозии.

Дальнейшее углубление изучения динамики интенсивности эрозии на континенте весьма актуально, ибо здесь происходит постоянный и значительный рост сельскохозяйственных угодий (обрабатываемых и пастбищных)<sup>1)</sup>, главным образом за счёт вырубки лесов. При этом соотношение восстановленных лесных площадей к площадям вырубок в целом по Южной Америке далеко не в пользу первых – 1:10,5 [Кобак, Кондрашева, 1991].

**Африка.** Установление и оценка тенденций изменения интенсивности эрозии на континенте проведены [Гусаров, 2000] по многолетним рядам наблюдений за СВН ряда крупных его рек – Конго, Шери, Сенегал, Нил, Замбези, Оранжевая, Тана – с учётом динамики атмосферных осадков по климатическим поясам [Жильцова, 1997].

**Восточная и Южная (северная часть) Африка.** В саваннах и редколесьях Восточной Африки, где во второй половине XX столетия по большинству метеорологических станций не было отмечено выраженной тенденции в изменении годового количества атмосферных осадков, хозяйственная деятельность определяла современную направленность эрозионного процесса. Механизированная обработка земель при возделывании зерновых культур во многих земледельческих провинциях Восточно-Африканского плоскогорья увеличила скорость эрозии в сравнении с естественным фоном до 10-30 раз [Lal, 1985]. По причине резкого усиления бассейновой эрозии и увеличения взвешенного материала в реках значительно сократилась продолжительность действия многих водохранилищ на малых реках региона. Лесозаготовительные работы также наносят значительный ущерб землям региона.

**Центральная Африка (бассейн р.Конго).** Ежегодно самая полноводная река Африки – Конго – в середине XX века выносила в прибрежную зону Атлантического океана около 68-70 млн. тонн взвешенного материала [Holeman, 1968]. Однако уже в первой половине 1980-х гг. его ежегодный объём не превосходил и 44 млн.тонн (по материалам НИВИ, Канада), а по данным Д.Эйсма [Eisma, 1982] – 40 млн.тонн за 1976-1980 гг., Н.Мукало и др. [Moucolo et al., 1990] – 35 млн.тонн с 95% площади водосбора реки за 1987-1988 гг. Уменьшение нормы осадков в бассейне реки с периода 1940-1950-х гг. по период 1976-1988 гг. в 1,2 раза привело к сокращению объёма наносов в 1,7 раза. Не-

<sup>1)</sup> В Бразилии, к примеру, площадь сельскохозяйственных земель с 1940 г. по 1980 г. возросла с 1,97 до 3,69 млн.км<sup>2</sup>, т.е. на 86% [Ceron, 1985].

смотря на весьма интенсивную вырубку древесной растительности, широко развернувшуюся в последние десятилетия в бассейне реки, лесистость здесь по-прежнему высокая (более 75%), и дождевой тропический лес достаточно быстро восстанавливает позиции на местах его сведения в течение всего 3-10 лет. Лесовосстановлению благоприятствует всё ещё низкая плотность сельского населения и слабая агрикультурная освоенность земель в регионе.

*Пояс Судано-Сахеля Северной Африки.* Анализ синхронных изменений стока наносов р.Шари и атмосферных осадков во второй половине XX века приводит, на первый взгляд, к парадоксальному выводу: значительное сокращение осадков не вызвало ожидаемого уменьшения скоростей эрозии и стока наносов. Нарастающее иссушение климата (норма осадков периода 1973-1986 гг. была ниже нормы периода 1940-1965 гг. на 17%) спровоцировало даже некоторое усиление механической денудации в регионе – сток наносов р.Шари с середины XX столетия по 1980-1985 гг. увеличился с 2,34 до 2,41 млн.тонн/год. Засуха, вызвавшая сокращение производства основных продовольственных культур зоны, заставила крестьян начать освоение новой целины в саванне. В результате увеличилась площадь обрабатываемых земель; активизировалась бассейновая эрозия на них.

Сходная по сути, но не по конечному результату, схема взаимодействия климата и хозяйственной деятельности наблюдалась в Западном Сахеле. Ежегодный сток наносов р.Сенегал в Атлантический океан, оцениваемый до середины XX века [Дмитревский, 1967] примерно в 9,0 т/год·км<sup>2</sup> (при водосборе в 268 тыс. км<sup>2</sup>), в 1979-1985 гг. сократился до 7,1 т/год·км<sup>2</sup> (на 21,1%). Хотя масса наносов этого водотока и уменьшилась, однако не столь существенно, как следовало бы ожидать при соответствующих темпах иссушения региона, поскольку средний годовой расход воды в реке сократился значительно больше: в 1970-1982 гг. он был на 25% ниже многолетней нормы [Michel, 1985].

*Северо-запад Африки (Атлас).* В горах Атласа хозяйственная деятельность, также как и в Восточной Африке и в полосе вдоль северного побережья Гвинейского залива, являлась главной причиной ускорения водной денудации в последние десятилетия. Гидроклиматический фактор в целом решающей роли не играл. Растущая плотность сельского населения, сведение растительного покрова и порочная практика земледелия и скотоводства, усиленная, к тому же, возросшим парком тяжелой тракторной техники, обрекали на неудачу и так немногочисленные и малоэффективные попытки борьбы с этим процессом.

*Южная Африка (южная часть).* Динамика эрозии здесь имела более сложный характер, чем в субтропиках Северной Африки. Опираясь на относительную стационарность динамики СВН р.Оранжевая и количества атмосферных осадков, мы можем отнести субтропики Южной Африки к тому региону, где направленность изменения эрозионных скоростей за полвека носила также относительно стационарный характер.

**Австралия и Новая Зеландия.** Отсутствие в распоряжении результатов многолетних наблюдений за СВН не позволяет нам надёжно судить о направленности изменения интенсивности эрозии в этой части света Земли. Тем не менее, определенные выводы были сделаны [Гусаров, 2003], опираясь преимущественно на результаты анализа динамики атмосферных осадков в различных климатических поясах региона [Жильцова, 1997].

*Субэкваториальный пояс Австралии.* В ряду атмосферных осадков периода 1940-1990 гг. в границах пояса не отмечено ощутимо выраженной тенденции (с периода

1940-1965 гг. по период 1966-1990 гг. годовое количество осадков возросло лишь на 1,9%). Принимая данную динамику относительно стационарной, предположим, что с ней изменение скоростей эрозии в регионе могло также иметь относительно стационарный характер.

*Тропический пояс Австралии.* Здесь во второй половине XX столетия в ряду атмосферных осадков отмечалась преимущественно восходящая тенденция, причём наибольшим приростом последние (на 34% за период 1965-1990 гг. в сравнении с периодом 1940-1964 гг.) характеризовались в континентальном (центрально-западный) секторе пояса, нежели в приокеаническом (увеличение осадков лишь на 3%). Следовательно, можно было ожидать еще более осязаемое, чем прирост осадков, увеличение интенсивности эрозии в этом поясе. Внести свой вклад в усиление эрозии и увеличение СВН в реках мог и человек: площадь обрабатываемых земель, имеющих высокий индекс эрозионной опасности в данных ландшафтно-климатических условиях Западной Австралии, за период с 1950 г. по 1970 г. удвоилась, достигнув 150.000 км<sup>2</sup> [Bebin, 1984]. Особенно быстрым был прирост площадей под окультуренными пастбищами (лютиковые посевы). Если принять, что на последних скорости смыва почво-грунтов в 2-2,5 раза превышают таковые на естественных пастбищах (15-20 и 8 т/год·км<sup>2</sup> соответственно), то суммарный антропогенно-гидроклиматический эффект усиления эрозии был здесь весьма осязаемым.

*Субтропический пояс Австралии.* Западный и центральный сектора субтропического пояса Австралии – единственные регионы на континенте, где во второй половине XX столетия отмечено преобладающее уменьшение количества атмосферных осадков (с периода 1940-1963 гг. по период 1964-1988 гг. – почти на 4,5%). Австралийские климатологи [Pittok, 1983; Yu, Neil, 1993] прогнозируют, что к 2040 г. годовое количество осадков на юго-западе Австралии сократится на 20% по сравнению с 1970-ми гг. Следовательно, в ближайшие десятилетия, как и в десятилетия предшествующие, здесь можно будет также ожидать сокращение эрозионной интенсивности.

В восточном секторе субтропического пояса многолетняя динамика осадков характеризовалась относительной стационарностью (с периода 1940-1963 гг. по период 1964-1988 гг. количество осадков сократилось только на 0,7%). Заметно уменьшилась при этом их межгодовая вариация, а с ней – аномальные проявления эрозии.

*Новая Зеландия.* При относительной стационарности динамики атмосферных осадков соотношение между темпами сведения лесов и их восстановлением на островах за период 1920-1984 гг. было в целом также относительно стабильным (в 1920 г. леса занимали около 25% всей площади Новой Зеландии, в 1984 г. – около 23% [Wilson, 1990]). Логично предположить, что в этой части Океании относительная стационарность эрозионных процессов также могла иметь место.

В **главе 3** на основе результатов регионального изучения (глава 2) изложены обобщения глобального уровня по соотношению площадей с разнонаправленными (суммарно установленными и предполагаемыми) преобладающими изменениями интенсивности эрозии, по влиянию (площадной аспект) на данные изменения динамики природных и антропогенных условий во второй половине XX столетия [Гусаров, 2004; Gusarov, 2004]. Они следующие.

⇒ На большей части (58,96 млн.км<sup>2</sup>, или 44,4% территории) суши Земли (из 132,62 млн.км<sup>2</sup> затронутых настоящим исследованием), во временной динамике интенсивности эрозии во второй половины XX столетия преобладала восходящая тенденция

(нисходящая тенденция – на 28,51 млн.км<sup>2</sup>, или 21,5% территории; относительно стационарная тенденция – на 26,75 млн.км<sup>2</sup>, или 20,2% территории). Без учёта площадей, для которых отсутствовали прямые и/или косвенные данные о эрозионной динамике (около 18,4 млн.км<sup>2</sup>, или 13,9% территории), пространственное преобладание восходящей тенденции было ощутимее – 51,6% (нисходящей – 25,0%, относительно стационарной – 23,4%) (рис. 5).

⇒Соотношение площадей с разнонаправленными изменениями интенсивности эрозии во второй половине XX столетия отличалось в северном и южном полушариях (табл. 1).

**Таблица 1**

*Соотношение площадей (млн.км<sup>2</sup>) с различными тенденциями изменения интенсивности эрозии в северном и южном полушариях Земли во второй половине XX столетия.*

Тенденции	Полушария Земли	
	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)
Относительно 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: в числителе – в процентах с учётом площадей, для которых отсутствовали прямые и/или косвенные данные о эрозионной динамике; в знаменателе – в процентах без учёта таких площадей

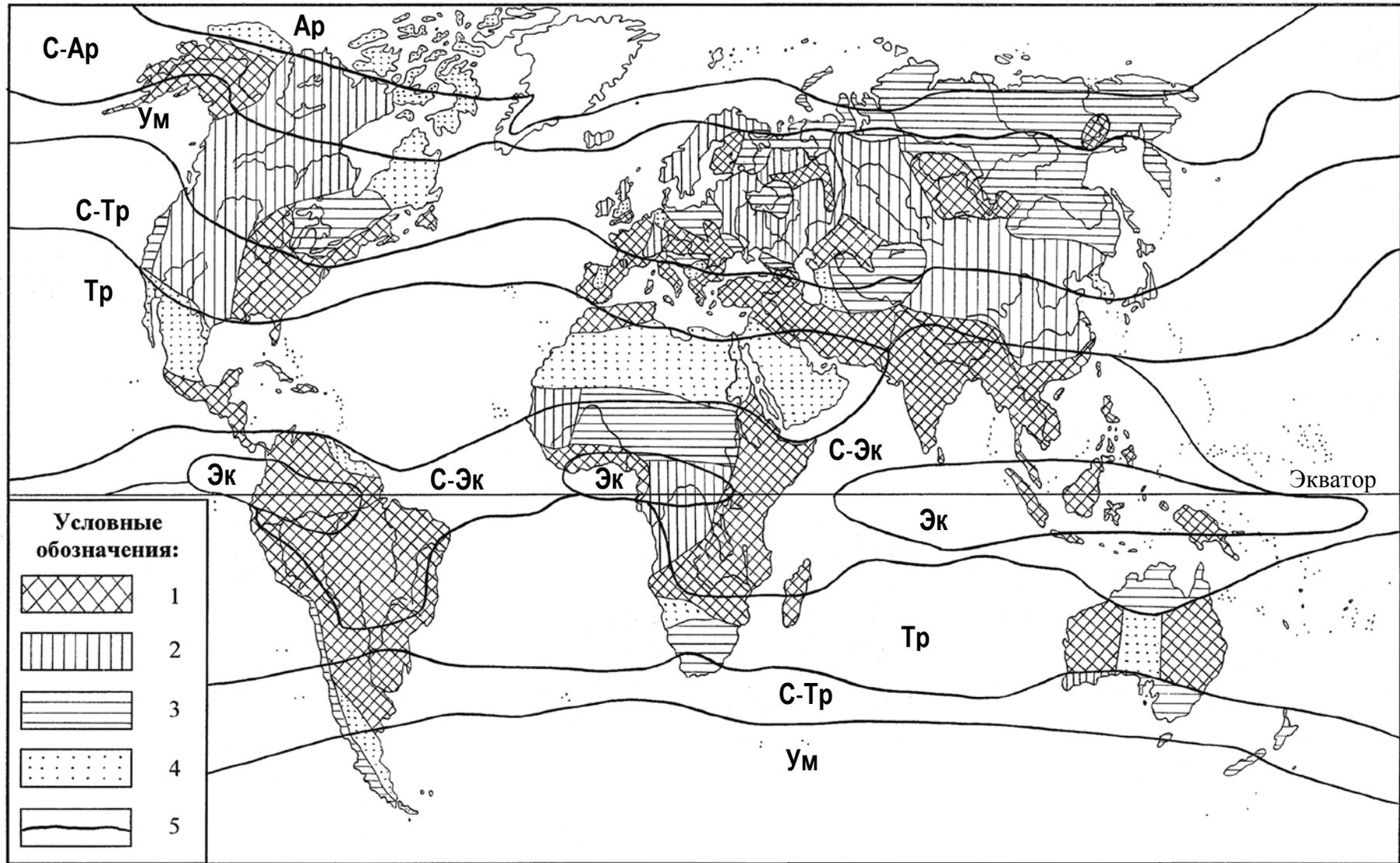
⇒Асимметричное распределение площадей с разнонаправленными изменениями интенсивности эрозии в северном и южном полушариях соотносилось с асимметрией их распределения на/в северных и южных континентах/частях света Земли (табл. 2).

**Таблица 2**

*Соотношение площадей с различными тенденциями изменения интенсивности эрозии на/в континентах/частях света Земли во второй половине XX столетия.*

Тенденции	Континенты/части света Земли					
	Африка	Австралия и Новая Зеландия	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
Относительно 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 <sup>2</sup>	30,23	8,73	17,85	22,10	10,09	43,62

В числителе – в млн.км<sup>2</sup>, в знаменателе – в процентах от суммарной площади



**Рис. 5.** Тенденции изменения интенсивности эрозии на Земле во второй половине XX столетия. Тенденции (суммарно установленные и предполагаемые): 1 – восходящая, 2 – нисходящая, 3 – относительно стационарная; 4 – нет данных; 5 – граница климатических поясов (Ар – арктического, С-Ар – субарктического, Ум – умеренного, С-Тр – субтропического, Тр – тропического, С-Эк – субэкваториального, Эк – экваториального).

⇒Неравномерным являлось распределение площадей с разнонаправленными изменениями интенсивности эрозии и в различных климатических поясах Земли (рис. 5; табл. 3). Бóльшая доля площадей с преобладающим усилением эрозии была характерна для экваториального, субэкваториальных и тропических поясов, наименьшая – для поясов более высоких географических широт. Противоположным этому было распределение площадей с относительно стационарной динамикой интенсивности эрозии. Сравнительно более масштабное снижение интенсивности эрозии во второй половине XX столетия имело место в умеренном климатическом поясе северного полушария, в направлении как к северу, так и к югу от которого эта масштабность сокращалась.

**Т а б л и ц а 3**

*Соотношение площадей с различными тенденциями изменения интенсивности эрозии в климатических поясах Земли во второй половине XX столетия.*

Климатические пояса	Тенденции			Нет данных, млн.км <sup>2</sup>
	Восходящая	Нисходящая	Относительно стационарная	
Арктический	— / 0,0	1,98 / 53,4	1,73 / 46,6	1,54
Субарктический	1,20 / 16,4	2,54 / 34,6	3,59 / 49,0	0,80
Умеренный (С)	7,28 / 24,0	14,03 / 46,2	9,06 / 29,8	1,53
Субтропический (С)	8,63 / 50,3	6,87 / 40,0	1,67 / 9,7	2,72
Тропический (С)	2,90 / 70,7	0,61 / 14,9	0,59 / 14,4	8,60
Субэкваториальный (С)	11,78 / 67,9	1,05 / 6,1	4,51 / 26,0	0,59
Экваториальный (С-Ю)	6,10 / 74,7	1,90 / 23,2	0,17 / 2,1	—
Субэкваториальный (Ю)	11,50 / 79,7	0,83 / 5,8	2,10 / 14,5	—
Тропический (Ю)	7,94 / 82,6	0,19 / 2,0	1,48 / 15,4	1,74
Субтропический (Ю)	1,63 / 48,1	0,24 / 7,1	1,53 / 44,8	0,41
Умеренный (Ю)	— / 0,0	— / 0,0	0,32/100,0	0,45

В числителе – в млн.км<sup>2</sup>; в знаменателе – в процентах (без учёта площадей, для которых отсутствовали прямые и/или косвенные данные о эрозионной динамике); полушария: С – северное, Ю – южное

⇒На большей части (47,86 млн.км<sup>2</sup>, или 36,1% территории) суши Земли (из 132,62 млн.км<sup>2</sup> охваченных настоящим исследованием) ведущим фактором направленных изменений интенсивности эрозии выступила различная по характеру и интенсивности деятельность человека. Влияние на эрозионные изменения преимущественно гидроклиматического фактора (направленная динамика осадков и стока воды), а также сонаправленного действия антропогенного и гидроклиматического факторов – условно антропогенно-гидроклиматического фактора – ограничивалось меньшей площадью распространения – соответственно 29,85 млн.км<sup>2</sup> (22,5% территории) и 36,51 млн.км<sup>2</sup> (27,5% территории). Без учёта площадей, для которых отсутствовали прямые и/или косвенные данные об эрозионной динамике, соотношение между данными факторами составило соответственно 41,9%, 26,1% и 32,0%.

⇒В площадном аспекте влияние антропогенного, гидроклиматического и условно антропогенно-гидроклиматического факторов на разнонаправленные изменения интенсивности эрозии было в целом по Земле неодинаковым. На территориях с преимущественным усилением эрозии и увеличением СВН весьма значительным было влияние антропогенного фактора (почти на 76% их площади), и заметно меньшим – гидроклиматического (12,4%) и антропогенно-гидроклиматического (11,6%). На территориях же с преобладающим ослаблением и относительной стационарностью эрозионных процессов доминирующую роль играла динамика гидроклиматического (30-50% их площади) и условно антропогенно-гидроклиматического (45-60% их площади) факторов. Влияние антропогенного фактора сказывалось не более чем на 4-8% площади таких территорий.

Несмотря на относительное преобладание антропогенного фактора в современных разнонаправленных изменениях интенсивности эрозии в глобальном масштабе (площадной аспект), его соотношение с гидроклиматическим фактором имело свои региональные особенности, отразившиеся в структуре этих факторов как на/в континентах/частях света Земли, так и в её климатических поясах.

**Таблица 4**

*Соотношение площадей с преобладающим влиянием факторов разнонаправленных изменений интенсивности эрозии (в целом) на/в континентах/частях света Земли во второй половине XX столетия.*

Преобладающий фактор	Континенты/части света Земли					
	Африка	Австралия и Новая Зеландия	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 <sup>2</sup>	7,32	1,13	1,33	4,79	0,44	3,38
Суммарная площадь, млн.км <sup>2</sup>	30,23	8,73	17,85	22,10	10,09	43,62

В числителе – в млн.км<sup>2</sup>; в знаменателе – в процентах без учёта площадей, для которых отсутствовали прямые и/или косвенные данные о эрозионной динамике

*Различия по континентам/частям света.* Если на континенте Евразия влияние гидроклиматического, антропогенного и условно антропогенно-гидроклиматического факторов на современные тенденции изменения интенсивности эрозии было в площадном аспекте более или менее сопоставимо, то на южных континентах преобладающим было влияние либо хозяйственной деятельности (Африка и, особенно, Южная Америка), либо, по-видимому, гидроклиматического фактора (Австралия) (табл. 4). Обращает на себя внимание значительный процент площадей в Северной Америке, на которых разнонаправленные изменения интенсивности эрозии были обусловлены взаимодействием гидроклиматического и антропогенного факторов (преимущественное усиление эрозии и увеличение СВН в восточной и юго-восточной части континента (рис. 4), преимущественное ослабление эрозии и сокращение СВН – в западной). Заметно в этой связи ва-

рьировалась на/в континентах/частях света Земли факторная структура территорий с разнонаправленными изменениями интенсивности эрозии (табл. 5).

**Таблица 5**

*Соотношение преобладающих факторов (площадной аспект) различных тенденций изменения интенсивности эрозии на/в континентах/частях света Земли во второй половине XX столетия.*

Тенденции	Фактор	Континенты/части света Земли					
		Африка	Австралия и Новая Зеландия	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
Относительно 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

\* в процентах без учёта площадей, для которых отсутствовали прямые и/или косвенные данные о эрозионной динамике. Преобладающие факторы: А – антропогенный, Г – гидроклиматический, А-Г – условно антропогенно-гидроклиматический

#### *Различия по климатическим поясам.*

Во-первых, усиление эрозии и увеличение СВН при хозяйственной деятельности было во второй половине XX столетия явлением более характерным для экваториального, обоих субэкваториальных, северных тропического и субтропического, южного субтропического поясов Земли; для поясов, расположенных в более высоких географических широтах северного полушария планеты, оно определялось преимущественно либо динамикой изменения гидроклиматических условий, либо однонаправленной динамикой изменения антропогенных и гидроклиматических условий (рис. 6).

Во-вторых, на достаточно ограниченной в масштабе суши Земли территории в пределах экваториально-тропических поясов обоих полушарий, субтропического пояса южного полушария и арктического пояса северного полушария, где во второй половине XX столетия фиксировалась нисходящая тенденция изменения интенсивности эрозии, последняя была обусловлена главным образом динамикой гидроклиматических условий. В средних широтах северного полушария Земли вместе с гидроклиматическим фактором в ослаблении эрозионного разрушения земель принял заметное участие и человек: преобладающее влияние условно антропогенно-гидроклиматического фактора в данной тенденции отмечалось более чем на 60-80% территории его проявления в субтропическом, умеренном и субарктическом поясах (рис. 6).

⇒ В зависимости от ландшафтно-климатических и социально-экономических условий конкретных территорий роль антропогенного фактора в направленных изменениях интенсивности эрозии проявилась на них по-разному.

Восходящая тенденция  
СП ЮП

Нисходящая тенденция

Относительно стационарная тенденция

**Рис. 6.** Факторная структура площадей (в %) с разнонаправленными (суммарно установленными и предполагаемыми) изменениями интенсивности эрозии в климатических поясах Земли во второй половине XX столетия (без учёта площадей, для которых отсутствовали прямые и/или косвенные данные об эрозионной динамике).

*Факторы:* 1 – антропогенный, 2 – гидроклиматический; 3 – условно антропогенно-гидроклиматический; **СП** – северное полушарие, **ЮП** – южное полушарие.

Название климатических поясов см. на рис. 5.

*Восходящая тенденция.* Как 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 планеты основными причинами усиления эрозии антропогенного характера были сведение влажных и переменнно-влажных тропических лесов, экстенсивное земледелие и перевыпас скота на пастбищах, то в средних широтах – изменение главным образом структуры посевов и, лишь отчасти, также вырубка лесов и перевыпас на пастбищах. Причём 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 р.Амазонка во второй половине XX столетия возрастал со скоростью 62%/10 лет, а в некоторых небольших речных бассейнах Юго-Восточной Азии – до 70-80%/10 лет; при распашке земель в саванне бассейна р.Тана (Танзания, Восточная Африка) – со скоростью 184%/10 лет), чем во втором (увеличение СВН в бассейне р.Темза (Англия) происходило в тот же период со скоростью 50%/10 лет, в бассейне р.Сена (Франция) – около 25%/10лет, в Австрии и на западе Украины (бассейн р.Западный Буг) – 8%/10лет, в бассейне р.Луара (Франция) – 7%/10 лет 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. В немалой степени тому послужили и другие причины. С одной стороны, это крайне высокая степень эрозионной неустойчивости природных ландшафтов в гумидных экваториально-тропических широтах при наивысших здесь зональных модулях стока воды и широком распространении глинистых кор выветривания. С другой стороны, это сравнительно более давняя экстенсивная агрикультурная освоённость природных ландшафтов в умеренных широтах (особенно в Европе), приведшая к способности эрозионно-аккумулятивных систем в этих условиях сравнительно быстро релаксировать (приходить в динамическое равновесие) при перестройке структуры землепользования по сравнению с более ранимыми ландшафтами экваториально-тропических широт.

При сочетании этих негативных антропогенных процессов с увеличивающимся стоком воды темпы усиления эрозии и увеличения стока наносов в реках оказываются значительно выше, особенно в гумидных районах горных стран.

*Нисходящая тенденция.* Антропогенное сокращение интенсивности эрозии и уменьшение стока наносов было явлением наиболее характерным для умеренных широт северного полушария Земли. Это сокращение шло 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, порой, 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%/10 лет, в бассейне верховья р.Гаронна (Франция) – 21%/10 лет, в Швеции – 15%/10 лет, на юге Германии – от 6 до 19%/10 лет и т.д.;

во-вторых, уменьшение интенсивности эрозии и сокращение СВН на заброшенных в силу социально-экономических процессов посевных площадях (к примеру, в Восточной Европе в 1980-1990-х гг.).

При сочетании этих противоэрозионных мероприятий с уменьшающимся стоком воды темпы ослабления интенсивности эрозии оказываются, как правило, значительно выше (Лёссовое плато Китая, запад США, юго-восток Русской равнины и т.д.).

⇒ Влияние гидроклиматического фактора на разнонаправленные изменения интенсивности эрозии проявлялось тем отчетливее, чем меньшим было синхронное ему влияние хозяйственной деятельности (сокращения СВН в Исландии происходило со скоростью 20%/10 лет, в бассейнах африканских рек Конго – 11%/10 лет, Сенегал – около 7%/10 лет, на северо-западе Северной Америки, в Австралии, на северо-востоке и крайнем севере Евразии и т.д.). Темпы гидроклиматических изменений интенсивности эрозии (особенно их сокращения) были в целом сопоставимы со скоростями их антропогенного изменения (уменьшения).

⇒ При анализе доминирующих во второй половине XX столетия антропогенного и гидроклиматического факторов разнонаправленных изменений эрозии нельзя упускать из внимания другой природный фактор глобального действия – тектонический. К сожалению, мы не располагаем какой-либо количественной информацией, которая позволила бы дать более или менее четкое представление о роли и месте эндогенного фактора в современных эрозионных изменениях, как на региональном, так и на глобальном уровнях. Ясно пока одно: при достижении объективной оценки факторной обусловленности современных направленных изменений интенсивности эрозии нельзя умалять влияние данного фактора, каким бы локальным и/или опосредованным ни было его участие в этих изменениях.

В **заключении** резюмируются результаты диссертационного исследования.

⇒ Во второй половине XX столетия на Земле преобладало усиление эрозионных процессов и связанное с ним (хотя и не везде) увеличение речного стока наносов. Бóльшей долей площадей, где прямо или косвенно отмечено усиление эрозии, характеризовалось южное полушарие планеты, нежели северное. Преобладали такие площади в целом на южных континентах (Южная Америка, Африка, Австралия) и в Азии (Юго-Западная, Южная, Юго-Восточная) – в экваториальном, субэкваториальных и тропических поясах. В тоже время, бóльшая доля площадей, где прямо или косвенно было отмечено ослабление эрозии, была характерна для Европы и Северной Америки (свыше 40% их территории), Северо-Западной, Центральной и Восточной Азии. Причём, наиболее масштабным было уменьшение интенсивности эрозии и сокращение СВН в умеренном климатическом поясе северного полушария Земли (свыше 45% его территории).

⇒ Ведущими причинами разнонаправленных изменений эрозии на Земле во второй половине XX столетия выступили хозяйственная деятельность и динамика гидроклиматических условий. Негативное (усиление эрозии) влияние антропогенного фактора (сведение лесов, распаивание земель, строительство инженерных сооружений и пр.) выразилось с наибольшей отчетливостью и масштабностью в экваториально-субтропических поясах Земли; позитивное же (ослабление эрозии) его влияние (лесовосстановление, травосеяние, изменения структуры посевов в сторону преобладания культур, более противостоящих эрозии, изменение технологии распаивания и пр.) – в средних широтах северного полушария, зачастую на фоне уменьшения водности в речных бассейнах.

*Изложенные положения дают лишь общие представления о глобальных эрозионных тенденциях и факторах, которые их обусловили во второй половине XX столетия. Расширение информационной базы позволит, в дальнейшем, уточнить или скорректировать изложенные выводы, выявить более глубокие закономерности в системе “эрозия – факторы эрозии”, и прогнозировать грядущие направленные изменения интенсивности эрозии и стока наносов в планетарном масштабе.*

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### тезисы докладов:

**Гусаров А.В.** Исследования временной изменчивости эрозии: глобальный обзор / А.В.Гусаров // Динамика и взаимодействие природных и социальных сфер Земли / Тезисы докладов научной конференции, посвящённой 60-летию факультета географии и геоэкологии Казанского университета, Казань, КГУ, 12-13 ноября 1998 г. – Казань. – 1998. – С. 29-31.

**Гусаров А.В.** Зональность зависимости стока взвешенных наносов от стока воды на Русской равнине / А.В.Гусаров / Тезисы докладов и сообщений XIV пленарного межвузовского координационного совещания по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов, Уфа, БашГУ, 14-16 сентября 1999 г. – Уфа. – 1999. – С. 97-99.

**Гусаров А.В.** Направленность развития эрозии в Центральной и Северной Европе во второй половине XX столетия / А.В.Гусаров // Проблемы географии на рубеже XX века / Материалы Всероссийской научной конференции, Томск, ТГУ, 24-26 февраля 2000 г. – Томск. – 2000. – С. 43-44.

**Гусаров А.В.** Тенденции развития эрозии в Европе во второй половине XX столетия / А.В.Гусаров // Геоморфология на рубеже XXI века: IV Щукинские чтения – Труды. М.: Изд-во “Географический факультет МГУ”, 2000. – С. 298-301.

**Гусаров А.В.** Глобальный сток наносов и его изменчивость / А.П.Дедков, В.И.Мозжерин, А.В.Гусаров и др. / Материалы Всероссийской отчётной научной конференции по программе “Университеты России. Фундаментальные исследования”, Новороссийск, 2000 г. – М. – 2000. – С. 70.

**Гусаров А.В.** Внутригодовая изменчивость эрозии и стока взвешенных наносов в бассейнах рек Русской равнины / А.В.Гусаров / Тезисы докладов и сообщений XVII пленарного межвузовского координационного совещания по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов, Краснодар, КубГАУ, 15-17 октября 2002 г. – Краснодар. – 2002. – С. 84-85.

**Гусаров А.В.** Глобальная эрозия и сток наносов: пространственная и временная изменчивость / А.П.Дедков, В.И.Мозжерин, А.В.Гусаров и др. / Материалы Юбилейной Всероссийской научной конференции, Москва, МГУ, 30 октября – 1 ноября 2002 г. – М. – 2002. – С. 214-215.

**Гусаров А.В.** Зональность внутригодовой неравномерности эрозии и стока взвешенных наносов в бассейнах малых и средних рек Восточной Европы / А.В.Гусаров // Рельефообразующие процессы: теория, практика, методы исследования / Материалы XXVIII Пленума Геоморфологической комиссии, Новосибирск, ИГ СО РАН, 20-24 сентября 2004 г. – Новосибирск. – 2004. – С. 90-92.

**Гусаров А.В.** Тенденции изменения эрозии и стока взвешенных наносов на Земле во второй половине XX столетия / А.В.Гусаров // Современные глобальные и региональные изменения геосистем / Материалы Всероссийской научной конференции, посвя-

щённой 200-летию Казанского университета, Казань, КГУ, 19-21 октября 2004 г. – Казань. – 2004. – С. 69-71.

**статьи:**

**Гусаров А.В.** Эрозия в изменяющемся мире / А.П.Дедков, А.В.Гусаров // Геоморфология. – 1999. – № 1. – С. 118-121.

**Гусаров А.В.** Изменчивость эрозии и стока наносов в Африке во второй половине XX века / А.В.Гусаров // Геоморфология. – 2000. – № 2. – С. 3-12.

**Гусаров А.В.** Тренды эрозии в Европе во второй половине XX столетия / А.В.Гусаров // Геоморфология. – 2001. – № 3. – С. 17-33.

**Гусаров А.В.** Глобальная модель эрозии и стока наносов и пути её совершенствования / А.П.Дедков, В.И.Мозжерин, А.В.Гусаров и др. // Современные и древние эрозионные процессы. – Казань: Изд-во КГУ, 2001. – С. 5-14.

**Гусаров А.В.** Тенденции изменения эрозии и стока взвешенных наносов в Северной Америке во второй половине XX столетия / А.В.Гусаров // Геоморфология. – 2002. – № 2. – С. 9-26.

**Гусаров А.В.** Тенденции эрозии и стока взвешенных наносов в Азии во второй половине XX столетия / А.В.Гусаров // Геоморфология. – 2002. – № 4. – С. 70-87.

**Гусаров А.В.** Тенденции изменения эрозии в Южной Америке и Австралии во второй половине XX столетия / А.В.Гусаров // Геоморфология. – 2003. – № 1. – С. 56-64.

**Гусаров А.В.** Зональность внутригодовой неравномерности эрозии и стока взвешенных наносов в бассейнах малых и средних рек Восточной Европы / А.В.Гусаров // Эрозионные, русловые процессы и проблемы гидротехники / Материалы V семинара молодых учёных вузов, объединяемых советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов, Брянск, БГУ, 27-30 апреля 2004 г. – Москва: Изд-во МГУ, 2004. – С.64-69.

**Гусаров А.В.** Тенденции изменения эрозии и стока взвешенных наносов на Земле во второй половине XX столетия / А.В.Гусаров // Геоморфология. – 2004. – № 2. – С.11-22.

**Гусаров А.В.** XVIII пленарное совещание межвузовского научно-координационного совета по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов / А.В.Гусаров // Геоморфология. – 2004. – № 2. – С. 94-96.

**Gusarov A.** The trends of erosion intensity and suspended sediment yield changes on the Earth during second half of the 20<sup>th</sup> century / A.V.Gusarov // Poster Report Booklet of Int.Symp. "Sediment transfer through the fluvial system", Russia, Moscow, Moscow State University, August 2-6, 2004. Moscow. – 2004. – P. 106-110.

**Gusarov A.** The intraannual unevenness of erosion and suspended sediment yield in basins of the small and medium rivers of the Russian plain / A.V.Gusarov // Poster Report Booklet of Int.Symp. "Sediment transfer through the fluvial system", Russia, Moscow, Moscow State University, August 2-6, 2004. Moscow. – 2004. – P. 111-116.

**Гусаров А.В.** Зональность внутригодовой неравномерности эрозии и стока взвешенных наносов в бассейнах малых и средних рек Восточной Европы / А.В.Гусаров // Геоморфология. – 2004. – № 4. – С. 3-15.

