

лять и анализировать общие черты и различия в развитии звеньев эрозионной сети, получить региональные характеристики параметров, обосновывать комплекс связей между морфологическими особенностями водосборов и гидрологическими характеристиками потоков в разных звеньях эрозионной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 348 с.
2. Зорина Е.Ф., Прохорова С.Д., Чалов Р.С. Роль овражной эрозии в формировании речных перекатов // Геоморфология. 2000. № 4. С. 76–82.
3. Маккавеев Н.И. Сток и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1971. 114 с.
4. Овражная эрозия. М.: Изд-во МГУ, 1989. 168 с.
5. Экспериментальная геоморфология. М.: Изд-во МГУ, 1978. Вып. 5. С. 113–140.
6. Голосов В.Н., Иванова Н.Н., Литвин Л.Ф., Сидорчук А.Ю. Баланс наносов в речных бассейнах и деградация малых рек Русской равнины // Геоморфология. 1992. № 4. С. 69–75.
7. Веретенникова М.В. Механизм овражной эрозии и динамика русловых форм // Геоморфология. 1998. № 2. С. 66–75.
8. Зорина Е.Ф. Овражная эрозия: закономерности и потенциал развития. М.: ГЕОС, 2003. 169 с.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
09.04.2007

GULLIES – ONE OF THE LINKS OF SINGLE EROSION NETWORK

E.F. ZORINA, I.I. NIKIL'SKAYA

Summary

The paper concerns gully erosion as the component of erosion-accumulation process on the catch basin. The analysis is based on some ideas of N.I. Makkaveyev. The gully being the link between the area of watershed and the river and balka valleys has different functions – from the main source of silt load moving to the larger links of drainage network to the transboundary flux or accumulation zone.

УДК 551.435.12→551.312.3

© 2008 г. В.Н. ГОЛОСОВ

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАНОСОВ В ВЕРХНИХ ЗВЕНЬЯХ ФЛЮВИАЛЬНОЙ СЕТИ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ¹

Н.И. Маккавеев впервые сформулировал положение о единстве эрозионно-аккумулятивного процесса в речном бассейне, подразумевая тесную связь между процессами смыва, размыва и переотложения наносов на всем пути их перемещения от склонов междуречья до речной дельты [1]. Верхние звенья флювиальной сети, согласно идее Н.И. Маккавеева, занимают промежуточное звено между склонами, на которых в зависимости от сочетания природно-антропогенных факторов с различной интенсивностью формируется часть бассейновой составляющей наносов, и собственно руслами рек в единой цепи перемещения наносов. Усиление интенсивности

¹ Выполнено при поддержке РФФИ (проект 07-05-00193)) и гранту Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (проект НШ-790.2008.5).

эрозионно-аккумулятивных процессов на склонах междуречья приводит к увеличению стока наносов в речных руслах, при этом на равнинах значительная часть эродированного материала переоткладывается на склонах и в днищах сухих долин так и не достигая речного потока [1]. Соответственно степень взаимодействия этих важнейших компонентов эрозионно-русловых систем определяется особенностями перераспределения материала в пределах малых водосборов.

Доля подготовленного к перемещению материала, время транзита и объем транспортируемых в единицу времени наносов в замыкающих створах малых водосборов, располагающихся на их выходе в речные долины, по существу определяют степень воздействия потока наносов, поступающих с междуречных пространств, на речные русла. Так в высокогорье, где интенсивность денудации во многом диктуется темпами выветривания коренных пород, важнейшим фактором является доля подготовленного к транспорту материала, который при формировании интенсивного склонового стока практически полностью доставляется в днища речных долин. В условиях равнин контролируемыми факторами становятся проективное покрытие поверхности склонов, морфология малых водосборных бассейнов, по которым наносы со склонов доставляются в речные русла, а также степень удаленности участков интенсивной эрозии на междуречьях от постоянных водотоков. Поэтому на равнинах в естественных условиях материал значительно перераспределяется только при формировании экстремального стока в пустынях и полупустынях. В остальных ландшафтных зонах существенное увеличение потока склоновых наносов происходит при различного вида освоении земель (промышленное, сельскохозяйственное, транспортное строительство, лесоразработки, освоение месторождений и т.п.), а наиболее масштабное по площадному охвату – при их массовой распашке. Именно поэтому процессы интенсификации деградации малых рек, отражающие периоды наиболее интенсивного поступления материала со склонов междуречий в речные русла, совпадают по времени с этапами массового земледельческого освоения, что особенно наглядно проявилось на равнинах Восточной Европы и Северной Америки [2]. Количественная оценка темпов эрозионно-аккумулятивных процессов на участке транспорта наносов со склонов в речную сеть позволяет достоверно выявить долю наносов, доставляемых в речные русла за фиксированные интервалы времени.

Н.И. Маккавеев разделил все потоки на поверхности суши на три основных звена: “верхнее звено – склоновые нерусловые потоки, среднее звено – временные водотоки (овражно-балочная сеть) и нижнее звено – реки” [1, с. 35]. При этом временные водотоки, занимая промежуточное положение, формируются уже на склонах междуречья, но в основном протекают в днищах овражно-балочных систем или не имеющих постоянного водотока долин. Именно данные водотоки ответственные за доставку наносов со склонов в русла рек. Говоря об основных отличиях временных потоков равнин от постоянных, Н.И. Маккавеев указывает на формирование в них паводочных волн, сопоставимых по энергии с паводочными волнами на малых горных реках. Также он отмечает сравнительно быстрое развитие растительности в руслах временных потоков, что повышает их шероховатость, а, следовательно, и темпы аккумуляции наносов. В 50-е гг. XX в. было сравнительно мало работ по определению темпов перераспределения наносов в верхних звеньях флювиальной сети, так как недостаточно внимания уделялось количественной оценке темпов аккумуляции наносов, поскольку еще не были разработаны методы датировки современных отложений. Прямые наблюдения за эрозионно-аккумулятивными процессами на стационарах также только организовывались, что ограничивало возможности количественной оценки интенсивности перераспределения наносов.

В последние десятилетия достигнут значительный прогресс в изучении особенностей транспорта и переотложения наносов на пути их транспортировки со склонов междуречья в днища долин малых рек. Это связано с существенным расширением методической базы исследований, что позволило накапливать количественные данные о темпах эрозионно-аккумулятивных и других экзогенных процессов в системе

Модули стока наносов, установленные по результатам мониторинговых наблюдений на ряде малых водосборов в различных регионах мира [3]

Водосборы	Местоположение	Площадь, км ²	Модуль стока наносов, т/км ² в год
Аппе Кроп	Новая Зеландия	12.2	29600
Тюаньшангоу	Китай	0.18	19751
Рома и Малиэле	Лесото	1–10	220–1870
Креди	Великобритания	9.8	39
Староробочанский	Польша, Татры	8.8	5.9
Хаббард Брук	США, Нью Хемпшир	0.43	3.3

склон – склоновый водосбор – овраг – днище долин временных водотоков (балки, суходолы, лога) – днище речных долин – русло реки. Кроме того, существенный прогресс достигнут в разработке эрозионных моделей, что позволяет использовать их для оценки темпов сноса материала со склонов и склоновых водосборов.

Можно выделить несколько направлений исследований, которые своей конечной целью ставят количественную оценку коэффициента доставки наносов со склонов в речную сеть за различные интервалы времени:

1. Натурные мониторинговые наблюдения на малых водосборах (временной интервал от события до первых десятилетий);

2. Выявление динамики перераспределения наносов на основе изучения содержания в почве и отложениях радионуклидов или других маркеров (от события до 100–120 лет);

3. Палеогеоморфологические исследования перераспределения материала в верхних звеньях флювиальной сети (более 300–400 лет);

4. Комплексные исследования интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов в пределах малых водосборов, предусматривающие параллельное использование набора методов для выявления темпов перераспределения материала, в том числе в пределах каждого морфологического элемента рельефа малых водосборов (различные интервалы в зависимости от задач исследования).

Натурные наблюдения за перемещением наносов в пределах малых водосборов на специально оборудованных измерительных створах позволяют оценить перераспределение материала в период конкретного эрозионного события и в среднем за весь период проведения наблюдений. Начиная с 1970-х гг., в разных странах мира создавались стационары, на которых были организованы регулярные или периодические наблюдения за развитием денудационных процессов в пределах малых водосборов. Достаточно детальный обзор результатов подобных исследований, проводившихся в зарубежных странах, приведен в работе Д. Уоллинга [3]. Большинство подобных мониторинговых станций были организованы в горах и предгорьях, так как там более широк спектр процессов денудации и в целом выше их интенсивность в сравнении с равнинными территориями. Площади малых водосборов, на которых проводились наблюдения, находились в интервале 0.1–100 км². К сожалению, на большинстве объектов не проводились наблюдения за темпами аккумуляции наносов, а ее интенсивность может быть установлена исходя из разницы между измерениями стока наносов на измерительных створах, расположенных в разных частях бассейна, при условии их наличия. По существу, лишь немногие исследователи оценивали вклад различных экзогенных процессов в суммарную денудацию, а также определяли долю наносов, переложившихся внутри водосбора. Так детальный мониторинг на горном водосборе Лоун Три в Калифорнии [4] позволил установить, что в среднем за четыре года наблюдений около 70% перемещенного различными экзогенными процессами материала достигло русла реки. В результате мониторинговых наблюдений получены натурные данные об интенсивности современной денудации малых водосборов мира, изменяющихся на 4 порядка (таблица). Основными недостатками мониторинговых наблюдений являются: очень высокая стои-

мость работ, имея ввиду трудозатраты, стоимость оборудования и необходимость проведения продолжительных наблюдений, которые должны охватывать, как минимум, более одного цикла солнечной активности, для получения объективных результатов о среднемноголетних, минимальных и экстремальных темпах денудации малых водосборов, и проблема репрезентативности выбранных для наблюдения водосборов. Большинство данных проблем труднопреодолимы, что объективно снижает перспективы использования мониторингового подхода для получения количественных оценок перераспределения материала на малых водосборах и находит свое отражение в сокращении подобных исследований в последние годы.

Использование в качестве маркеров радионуклидов, прежде всего, изотопов ^{137}Cs глобального и Чернобыльского происхождения, а в последние годы изотопов $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ и ^7Be , дало возможность детально исследовать перераспределение наносов в пределах малых водосборов. Впервые было предложено использовать изотоп ^{137}Cs в качестве маркера для оценки интенсивности экзогенных процессов в начале 70-х гг. прошлого века [5, 6]. Известный геоморфолог Б.А. Федорович использовал изотоп ^{137}Cs для исследования темпов перемещения песков в Средней Азии [5]. Несколько позже в конце 1970-х гг. Н.И. Маккавеев был первым в российской геоморфологии, кто предложил применять радионуклиды и для оценки темпов эрозионно-аккумулятивных процессов. Изотоп ^7Be и атмосферная составляющая изотопа $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ стали использоваться для выявления темпов эрозионно-аккумулятивных процессов несколько позже [7, 8]. Особенность всех перечисленных радионуклидов – их быстрое сорбирование частицами грунта сразу после выпадения из атмосферы [9].

Применение радиоизотопов для оценки перераспределения наносов развивается по нескольким направлениям. Первое основывается на определении темпов эрозии и аккумуляции в пределах различных морфологических элементов рельефа исходя из определения содержания изотопа(ов) в каждой конкретной точке отбора, последующего его пересчета с помощью калибровочных моделей в интенсивность сноса/отложения наносов [10, 11]. С учетом площади каждого элемента рельефа проводится расчет баланса наносов на водосборе по формуле:

$$W_c(t) = \left[\sum_i^n V_e(t)F_e - \sum_i^n V_d(t)F_d \right], \quad (1)$$

где $W_c(t)$ (г год^{-1}) – суммарный снос почвы с водосбора за год; F_e (м^2) и F_d (м^2) – площади эрозионных и аккумулятивных геоморфологических элементов; $V_d(t)$ ($\text{г см}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$) и $V_e(t)$ ($\text{г см}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$) – скорость аккумуляции и темпы эрозии соответственно.

Второе направление основано на определении собственно баланса изотопа(ов) на водосборе путем определения среднего содержания изотопа(ов) в пределах каждого элемента рельефа и с учетом его площади [12], который оценивается по следующему уравнению:

$$W_f(t) = \left\{ \sum_i^n \frac{[L_e(t) - D(t)]}{t} S_e - \sum_i^n \frac{[L_d(t) - D(t)]}{t} S_d \right\} C_f(x)^{-1} \beta, \quad (2)$$

где $L_e(t)$ (кБк м^{-2}) и $L_d(t)$ (кБк м^{-2}) – среднее содержание изотопа в момент опробования для эрозионных и аккумулятивных элементов рельефа; $D(t)$ (кБк м^{-2}) – начальное выпадение изотопа, скорректированное на момент опробования; t (год) – период, прошедший между моментом опробования и 1986 г.; β – коэффициент, характеризующий различия в механическом составе и содержании органического вещества между эрозионными и аккумулятивными элементами; $C_f(t)$ (кБк г^{-1}) – содержание изотопа в транспортируемых наносах.

Поскольку в формуле (2) учитывается механический состав почв, наносов и отложений, доли выносимых за пределы водосбора изотопа и наносов сопоставимы. В этом случае могут быть получены относительные величины сноса и аккумуляции и определен коэффициент доставки наносов. Подобный подход позволяет избежать возможных ошибок, возникающих при использовании калибровочных моделей и связанных с трудностями определения некоторых параметров, в них входящих, или допущениями, которые используются в более упрощенных версиях данных моделей. Важный момент оценок баланса наносов на основе перераспределения радиоизотопов – необходимость выявления начального выпадения на опорных участках. Определение статистически достоверной величины часто игнорируется исследователями, использующими данные подходы, что приводит к ошибочным результатам. Другая проблема, ограничивающая использование радиоизотопов для оценки темпов сноса, заключается в сложности определения возможных потерь изотопа в период между его выпадением и первой распашкой в том случае, если в этот период происходило эрозионное событие. Не всегда представляется возможным восстановить историю севооборотов и выпадения стокоформирующих осадков. В результате использовании радиоизотопного метода может привести к завышению темпов сноса, что следует учитывать при построении балансов наносов и проведении оценок выноса материала в речную сеть.

Наконец третье направление связано с выявлением долевого вклада различных источников наносов в речной сток, что достигается путем сопоставления содержания изотопов или других маркеров в речных наносах и в пробах материала, отобранного в пределах территорий, на которых происходит формирование различных потенциальных источников наносов [13]. В комбинации с другими методами данный подход является весьма надежным инструментом для перехода от детальным исследований на ключевых водосборах небольшой площади к более крупным речным бассейнам. Одновременно он может использоваться для выявления долевого вклада различных источников наносов непосредственно внутри малого водосбора [14]. Совершенствование данного подхода возможно при проведении более тщательной оценки различий механического состава и содержания органического вещества в речных наносах и на участках их формирования в пределах бассейна и улучшении техники отбора образцов взвешенных наносов [15].

Широкому использованию изотопа ^{137}Cs глобального и Чернобыльского происхождения для оценок перераспределения наносов способствовало опубликование руководства, в котором систематизированы этапы проведения работ, начиная от выбора оптимального участка для определения опорного значения выпадения изотопа и заканчивая построением схем перераспределения наносов для исследованного объекта [16]. Активно применению изотопов ^7Be и $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ для оценок перераспределения наносов препятствует недостаточная методическая проработанность, хотя имеющийся опыт их использования дает оптимистические результаты [8, 17 и др.]. Учитывая постоянно снижающиеся в связи с распадом концентрации в грунте изотопа ^{137}Cs искусственного происхождения, следует совершенствовать методы использования естественных изотопов ^7Be и $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$.

Важный вклад в оценку трансформации рельефа малых водосборов в течение четвертичного периода внесли палеогеоморфологические исследования. Они основываются на детальном изучении четвертичных отложений на участках переотложения материала и определении их возраста на основании проведения радиоуглеродных датировок, результатах споро-пыльцевого анализа, а также детальной реконструкции морфологии эрозионно-аккумулятивных форм и литологического состава отложений, сформировавшихся в пределах исследованных объектов за различные временные интервалы [18–20 и др.]. По результатам анализа могут быть построены эрозиограммы, характеризующие преобладание процессов эрозии или аккумуляции в различные этапы исследованных эрозионных форм и судить о темпах преобразования рельефа в данные этапы (рис. 1) [21]. Несмотря на то, что точность определения темпов денудации и аккумуляции в данных построениях не высока, они адекватно отражают масштабы происшедших яв-

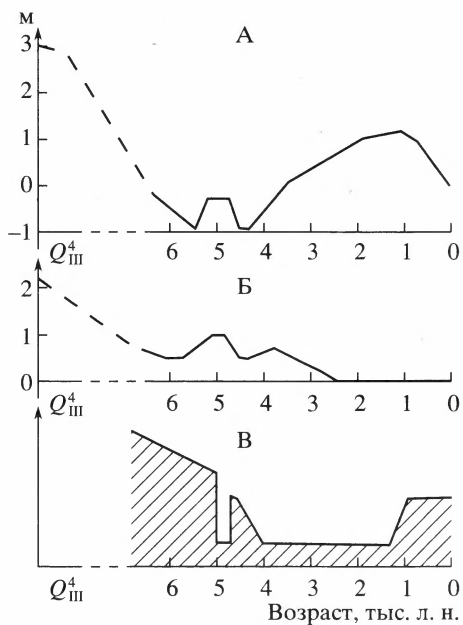


Рис. 1. Эрозионные диаграммы Чолоховского ручья в среднем (А) и нижнем течении (Б) и качественная схема изменений мощности паводков (В) в относительных величинах [21]

ное воздействие). Главное ограничение более детальных оценок темпов эрозионно-аккумулятивных процессов в верхних звеньях флювиальной сети – недостаточная точность радиоуглеродного метода, наиболее часто используемого для датировок отложений. Альтернативой может стать применение других естественных радиоизотопов, в частности ^{36}Cl , ^{10}Be , ^{26}Al [24], ограничиваемое высокой стоимостью измерительной аппаратуры и сложностью проведения измерений.

Наконец, все более широко практикуется комплексный подход, который базируется на одновременном использовании различных методов исследования для определения интенсивности процессов в пределах каждой морфологической единицы рельефа, предварительно выделенной на основании крупномасштабного геоморфологического и агроландшафтного картографирования территории [25, 26]. Выделение морфологической единицы основывается на предположении о сопоставимости темпов сноса/аккумуляции в ее пределах [26]. В большинстве случаев исследователи используют весь набор традиционных и современных методов исследования и оценок темпов эрозии и аккумуляции, включая расчеты по эрозионным моделям [27–31]. Например, темпы эрозии на пахотных участках определяются почвенно-морфологическим, радиоизотопным методами, расчетов по эрозионной модели и методом коррелятивных отложений. Подобный подход позволяет избежать грубых ошибок определения интенсивности эрозии или аккумуляции, получить достаточно объективную картину перераспределения материала за различные интервалы времени и выявить пространственное положение участков с различными темпами сноса и отложения материала. Именно данное направление выглядит наиболее перспективным в плане выявления закономерностей и количественных оценок перераспределения наносов на участке от междуречных склонов и до речного русла. Его совершенствование заключается в увеличении точности уже существующих и разработке новых методов определения интенсивности эрозии и аккумуляции в пределах различных морфологических элементов малых водосборов.

лений. Установлено, что в пределах Русской равнины можно выделить два типа перераспределения наносов в пределах балочных форм [22]. Более молодые балки, сформировавшиеся в зоне плейстоценовых оледенений, имеют невыработанный продольный профиль и направленно врезаются в толщу трудноразмываемых ледниковых отложений, что способствует преобладанию выноса материала в речные долины [23, 24]. Накопления балочного аллювия в их днищах не превышают 1–2 м. Напротив, балки, сформировавшиеся во внеледниковой зоне или на участках более древних оледенений, имеют хорошо выработанный продольный профиль [19]. Для них весьма характерны заполненные балочным аллювием участки переуглубления с мощностью балочного аллювия до 10–15 м. В настоящее время в балках доминируют процессы локального перераспределения материала, связанные с формированием и последующим заполнением вторичных врезов. Результаты палеогеоморфологических исследований чрезвычайно важны в плане сопоставления особенностей развития эрозионно-аккумулятивных процессов в плейстоцене (климатические колебания) и голоцене (климатические колебания и антропогенное воздействие).

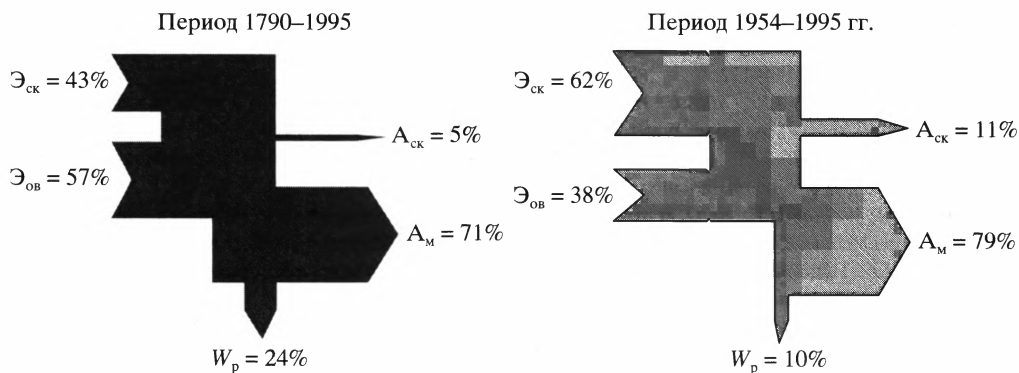


Рис. 2. Перераспределение наносов на водосборе Попов Овраг (бассейн р. Вязовка) за весь период земледельческого освоения и за период 1954–1995 гг. [2]

$\mathcal{E}_{ск}$ – плоскостная и ручейковая эрозия почв на склонах, $\mathcal{E}_{ов}$ – овражная эрозия, $A_{ск}$ – аккумуляция на задернованных частях склонов, $A_{м}$ – аккумуляция наносов в днище долины, W_p – вынос наносов в долину р. Вязовка

Важнейшим результатом исследований по перераспределению наносов в верхних звеньях флювиальной сети в последней четверти XX – начале XXI вв. стало значительное расширение методической базы, особенно в части определения темпов аккумуляции. Это позволило достоверно оценивать коэффициенты доставки наносов со склонов в речную сеть. Полученные результаты показывают, что даже в условиях равнин доля склонового материала, доставляемого в русла рек, изменяется в очень широких пределах от 1% для юга Англии [29] до 94% в Ставропольском крае России [31]. Причем в зависимости от особенностей поступления и объема наносов доля выносимого из малых водосборов в речные долины даже в пределах одного и того же водосбора может изменяться во много раз (рис. 2) [2]. Большинство из используемых в настоящее время методов оценки перераспределения наносов требуют дальнейшего совершенствования. Так мониторинговые исследования на малых водосборах не включают наблюдения за переотложением наносов на участках между измерительными створами. Радиоизотопные методы исследования более разработаны в части выявления темпов аккумуляции наносов, тогда как для оценок темпов смыва имеются достаточно значительные ограничения, вызванные необходимостью восстановления севооборотов за период выпадения радиоизотопов и их соотношением с формированием стокоформирующих ливней. Не вполне совершенны эрозийные модели, для верификации которых все еще недостаточно результатов натурных наблюдений в разных регионах мира.

В заключение можно констатировать, что полученные в последние годы обширные данные о количественной оценке перераспределения наносов в верхних звеньях флювиальной сети убедительно подтверждают положения, высказанные Н.И. Маккавеевым [1], о значительном влиянии физико-географических условий на интенсивность и соотношение процессов эрозии и аккумуляции в пределах малых долин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М. Изд-во АН СССР, 1955, 346 с.
2. Голосов В.Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС, 2006. 296 с.
3. Walling D.E. Drainage basin studies // Field experiments and measurement programs in geomorphology. Balke-ma. 1991. P. 17–59.
4. Lehre A.K. Sediment budget of a small Coast Range drainage basin in North-Central California // Sediment budgets and routing in forested drainage basins. US Forest Service General Technical Report PNW-141. 1982. P. 67–77.

5. Федорович Б.А., Болтнева Л.И., Назаров И.М., Сисигина Т.И. Скорости переноса рыхлых отложений, меченых продуктами ядерных взрывов (на примере равнин Средней Азии) // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1973. № 5. С. 114–122.
6. Ritchie J.C., McHenry J.R., Gill A.C., Hawks P.H. The use of fallout cesium-137 as a tracer of sediment movement and deposition // Mississippi Water Resources Conference Proceedings. 1970. P. 149–163.
7. Walling D.E., He Q., Blake W. Use of ^7Be and ^{137}Cs measurements to document short- and medium-term rates of water-induced soil erosion on agricultural land // Water Resources Research, 2000. V. 35(12). P. 3865–3874.
8. Owens Ph.N., Walling D.E., He Q. et al. The use of caesium-137 measurements to establish a sediment budget for the Start catchment, Devon, UK // Hydrological Sci. J. 1997. V. 42. № 3. P. 405–423.
9. Голосов В.Н. Использование радиоизотопов при исследовании эрозионно-аккумулятивных процессов // Геоморфология. 2000. № 2. С. 26–33.
10. Wallbrink P.J., Murray A.S. Determining soil loss using the inventory ratio of excess lead-210 to cesium-137 // Soil. Sci. Soc. Amer. J. 1996. V. 60(4). P. 1201–1208.
11. Foster I.D.L., Owens Ph.N., Walling D.E. Sediment yield and delivery in the catchments of Slapton Lower Ley, South Devon, UK // Field Studies. 1996. № 8. P. 629–661.
12. Golosov V.N., Panin A.V., Markelov M.V. Chernobyl ^{137}Cs Redistribution in the Small Basin of the Lokna River Central Russia // Phys. Chem. Earth (A), V. 24. № 10. 1999. P. 881–885.
13. Collins A.L., Walling D.E., Leeks G.J.L. Source type ascription for fluvial suspended sediment based on quantitative composite fingerprinting technique // Catena. 1997. V. 29. P. 1–27.
14. Беляев В.П., Голосов В.Н., Уоллбринк П., Сидорчук А.Ю. Использование радионуклидов для реконструкции стадий развития современных оврагов // Геоморфология. 2005. № 1. С. 31–44.
15. Walling D.E. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems // Science in the Total Environment. V. 344. 2005. P. 159–184.
16. Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 220 p.
17. Маркелов М.В., Голосов В.Н., Стукин Е.Д. Возможности использования ^{210}Pb и ^{137}Cs в качестве радиоактивных меток для оценки темпов эрозионно-аккумулятивных процессов // Метеорология и гидрология. 2005. № 4. С. 66–84.
18. Bork H.R. Soil erosion during the past millennium in central Europe and its significance within geomorphodynamics of the Holocene // Landforms and Landforms evolution in western Germany. Catena Suppl. V. 15. 1989. P. 121–132.
19. Панин А.В., Малаева Е.М., Голосов В.Н. и др. Геолого-геоморфологическое строение и голоценовая история развития Берестовой балки (Ростовская область) // Геоморфология. 1998. № 4. С. 70–85.
20. Larue J.P. Small valley bottom deposits in the sandy districts of the Sarthe basin (France): climatic and / or human origin // Geomorphology. 2002. V. 45. P. 309–323.
21. Беляев Ю.П., Панин А.В., Беляев В.П. История развития балок центра Русской равнины (на примере Чолоховской балки, Сатинский полигон МГУ) // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2003. № 5. С. 55–63.
22. Панин А.В. Флювиальные процессы и формы рельефа // География, общество и окружающая среда. Т. 1. Структура, динамика и эволюция природных геосистем / В.Н. Конищев, Г.А. Сафьянов. М.: Изд. дом “Городец”, 2004. С. 74–107.
23. Панин А.В., Каревская И.А., Маркелов М.В. Эволюция долины ручья Язвицы (бассейн Средней Протвы) во второй половине голоцена // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1999. № 2. С. 63–72.
24. Lal D., Barg E., Pavich M. Development of cosmogenic nuclear methods for study of soil erosion and formation rates // Current Science. 1991. V. 61. № 10. P. 636–639.
25. Trimble S.W. A sediment budget for Coon Creek, the Driftless Area, Wisconsin, 1853–1977 // Am. J. Science. 1983. V. 283. P. 454–474.
26. Голосов В.Н., Иванова Н.Н. Внутрибассейновое перераспределение наносов на речном водосборе: методика и проблемы изучения // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 2000. Вып. 12. С. 251–266.
27. Golosov V.N. Redistribution of sediments within small river catchments in the agricultural zone of Russia // Geomorphologie: relief, processus, environment. 1998. № 1. P. 53–64.
28. Walling D.E., Collins A.L., Sickingabula H.H., Leeks G.J.L. Integrated assessment of catchment suspended sediment budgets: a Zambian example // Land Degradation and Development. 2001. V. 12. P. 387–415.
29. Walling D.E., Collins A.L., Jones P.A. et al. Establishing fine-grained sediment budgets for the Pang and Lambourn LOCAR catcmnts, UK // J. of Hyrology. 2006. V. 330. № 1–2. P. 126–141.
30. Golosov V.N., Ivanova N.N. Sediment-Associated Chernobyl ^{137}Cs Redistribution in the Small Basins of Central Russia // Applied Geomorphology: Theory and Practice. Chichester. John Wiley, 2002. P. 165–181.

31. Belyaev V., Wallbrink P., Golosov V. et al. A comparison of direct measurement, USLE and caesium-137 based methods for evaluating soil redistribution from severe sheet and ephemeral gully erosion, Stavropol region, southern European Russia // *Geomorphology*. 2005. № 1. P. 173–193.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
09.04.2007

A QUANTITATIVE ASSESSMENT OF DEPOSITS' REDISTRIBUTION IN THE UPPER LINKS OF FLUVIAL NETWORK: ACHIEVEMENTS AND PROBLEMS

V.N. GOLOSOV

S u m m a r y

The main results of late decades in the field of deposits' redistribution analysis are basically the development of Makkaveyev's concept of single erosion-accumulation process. There are four primal lines of investigation: field monitoring of the small catch basins; an eliciting of deposits' redistribution dynamics by radionuclides' and other markers' concentration in soil; paleogeomorphologic investigations; integrated investigations of erosion-accumulation intensiveness within small catch basins. The simultaneous using of several approaches in concrete area investigation of erosion and accumulation rates is strongly recommended.

УДК 551.435.13→551.312.3

© 2008 г. Н.И. АЛЕКСЕЕВСКИЙ, К.М. БЕРКОВИЧ, Р.С. ЧАЛОВ

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ СООТНОШЕНИЯ ЭРОЗИИ И АККУМУЛЯЦИИ В РЕЧНЫХ РУСЛАХ¹

Реки и продуцируемые ими русловые процессы составляют нижнее звено в единой системе: склоновые нерусловые потоки, производящие плоскостную эрозию почв и грунтов – временные русловые потоки, осуществляющие линейную (овражную) эрозию – реки и русловые процессы. Это основополагающее положение теории единого эрозионно-аккумулятивного процесса, созданной Н.И. Маккавеевым [1]. К его обоснованию он подошел, изучая русловые процессы на реках, которые он рассматривал “как элемент географической среды и как составную часть гидрографической сети суши” (с. 3). Совмещая географический и инженерный подходы к их исследованию и решению водохозяйственных, в первую очередь, путевых задач, Н.И. Маккавеев сделал вывод, что “развитие реки только тогда может быть правильно понято, если оно рассматривается в неразрывной связи с процессами развития потоков, составляющих верхние звенья” (с. 32).

Сформулировав общие законы и предложив модели развития всей системы эрозионно-аккумулятивных процессов, так и каждого ее звена, Н.И. Маккавеев главное внимание в своем научном творчестве уделил работе рек. При этом русловые процессы как нижнее, завершающее звено в цепочке явлений, обусловленных воздействием стока на земную поверхность, он трактовал как процессы, которые “в основном определяются взаимодействием движущейся воды, *перемещаемых водой наносов* (выделено авт.) и слагающих ложе потоков грунтов” [1, с. 137]. Как и процессы в других звеньях, русловые процессы представляют собой “совокупность ... явлений (отрыв, смыв, аккумуляция, осаждение, сортировка и обработка материала), рассматриваемых в пространстве и

¹ Выполнено при поддержке РФФИ (проект 06-05-64295) и гранту Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (проект НШ-790.2008.5).