


М. В. Веретенникова, Н. Г. Добровольская, И. Е. Жук, Г. А. Ларионов,
Л. Ф. Литвин, Б. П. Любимов, А. Ю. Сидорчук 

БАЛАНС НАСОСОВ В ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОМ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНОМ КОМПЛЕКСЕ НА МАЛОМ ВОДОСБОРЕ

Интенсивное антропогенное воздействие (сведение лесов, распашка земель при неправильных методах обработки) привело к усилению процессов эрозии на водосборах, что вызвало нарушение сложившегося естественного равновесия эрозионно-аккумулятивных процессов во всех звеньях гидросети. Ускоренный, а местами катастрофический смыл почв на склонах водосборов, вынос материала по ложбинам, интенсивный рост оврагов вызвали поступление в балки, в руслах малых рек и на их поймы большого количества наносов. В результате этого произошло обмеление и заиление малых рек, отмирание их русел, особенно в верхних частях гидросети, резкое ухудшение состояния пойменных земель. Для оценки масштаба этих явлений и разработки научно обоснованных схем противоэрозионных мероприятий необходимо выявить количественные характеристики баланса наносов в системе "склон-овраг-балка-пойма и русло малой реки" в разных природных зональных и региональных условиях при разном антропогенном воздействии на примере ключевых участков.

Исследования механизма и форм проявления эрозионных и русловых процессов в пределах малых водосборов проводятся в соответствии с разра-

ботанными Н.И.Маккавеевым (1955) теоретическими основами взаимосвязи эрозивно-аккумулятивных процессов на водосборах и в руслах рек.

Расходными статьями баланса наносов в эрозивно-аккумулятивном геоморфологическом комплексе на водосборе малой реки являются смыв со склонов, размыв в ложбинах и овражные выносы. Смыв почв со склонов в результате ускоренной эрозии за период сельскохозяйственной обработки земель определялся тремя способами: 1) по степени фактической смывности почв различных генетических типов, определяемой сравнением мощности гумусовых горизонтов $A_1 + AB$ почв на склонах с эталонами на плакорах; 2) расчетом с помощью уравнения почвенной эрозии, модифицированного для расчетов по отрезкам склонов Г.А.Ларионовым (1984) (работа выполнялась совместно с З.В.Пацукевич, Ю.Г.Жарковой); 3) по соотношению содержания изотопа цезия-137 в смытых и эталонных почвах за период 15-20 лет (работа выполнялась И.В.Якимовой). Расхождения в оценках смыва этими методами составляют $\pm 10-15\%$. Потери почв по ложбинам (водосборам "0" порядка) оценивались по фактическому сокращению здесь мощности гумусового горизонта по сравнению с фоновым на соседних склонах.

Объемы овражного выноса определялись по данным крупномасштабных топографических карт с привлечением типичных соотношений морфометрических типов. При этом принимается гипотеза Б.Ф.Косова и др. (1982), что основная часть оврагов в центре Европейской части СССР заложилась в период сельскохозяйственного освоения территории.

Приходная статья баланса наносов складывается из объемов аккумуляции в балках и в долинах малых рек. Объем отложений в балках определялся двумя способами. 1) Бурением балочного аллювия по поперечным оси долины профилям и выделением той части отложений, которая накопилась за период сельскохозяйственного освоения. Подошва этих отложений определялась либо по началу появления в спорово-пыльцевых спектрах пыльцы культурных злаков и гречихи (определения проводила З.М.Полосухина), либо по появлению погребенных гумусированных горизонтов.

2) Сравнением современных отметок дниц балок с отметками выработанного продольного профиля, рассчитанных по методике Е.Ф.Зориной (1981). При этом принимается гипотеза, что в период до начала интенсивного поступления наносов со склонов продольные профили балок были близки к выработанным.

Объем отложений в долинах малых рек определялся на основании данных бурения, определения мощности отложений агрокультурного периода по спорово-пыльцевому анализу и изменению гумусированности наносов.

Исследовано четыре ключевых малых водосбора с площадями бассейнов 17-180 км² в лесной, лесостепной и степной природных зонах. Это водосбор ручья Язвицы притока р.Протвы (Калужская область); ручья Ведуга в бассейне Ведуги (Воронежская область), р.Малый Колышлей в бассейне Медведицы (Саратовская область), Маркова ручья в бассейне Дона (Воронежская область).

Водосбор ручья Язвицы — типичный для юга лесной зоны и северного склона Среднерусской возвышенности водосбор малого водотока. Геологическое строение характеризуется моноклинальным залеганием коренных пород, перекрытых моренными и покровными суглинками различной мощности. Неразмывающие скорости для коренных мергелей и известняков достигают 3–5 м/с, для суглинков — I–I,5 м/с. Климат умеренно континентальный. Почва промерзает до 50–60 см, оттаивая полностью к концу апреля. Среднегодовое количество осадков — 700 мм, из них 30–35% выпадает в теплый период с максимумом в июле. Предвесенние запасы воды в снеге составляют 90 мм. Почвы дерново-подзолистого типа отличаются большой податливостью к смыву — коэффициент эродированности равен четырем.

Ключевой водосбор ручья Ведуги, впадающего в реку того же названия (бассейн р.Дон) в Семилукском районе Воронежской области, можно считать типичным для характеристики эрозионно-аккумулятивного комплекса в центрально-черноземной области. Количество осадков за теплый период достигает 370 мм, максимальный запас воды в снеге 73 мм. Преобладают почвы черноземного типа с коэффициентом эродированности около единицы. Длина долины ручья Ведуги — 10,5 км, площадь водосбора — 86,9 км², глубина местного базиса эрозии — 92,1 м. Долина асимметрична — правый борт круче, левый — положе. Склоны междуречий имеют выпуклый профиль. В долине фрагментами шириной до 300 м выделяется I надпойменная терраса. Повсеместно развита пойма шириной до 200 м в верховьях и до 300 м в средней части и в низовьях. Русло водотока шириной 2–4 м, глубиной 0,5–1,5 м меандрирует в пределах поймы, шаг излучин составляет 100–150 м. Уклон ручья по руслу — 6%, по долине — 9%. В пределах этого водосбора развито 10 балочных систем. Балки имеют длину 1000–4500 м с глубиной вреза от 20 до 75 м, шириной днища 40–120 м, уклоном по днищу от 5 до 70 м/км. Большинство балок — без современных водотоков, лишь в балке Лог Репный имеется водоток длиной 2,6 км (при длине балки 2,8 км) берущий начало у выходов грунтовых вод в меловых породах в верховье балки.

В днище балки Лог Репный (площадь водосбора 3,5 км², длина 2,8 км, ширина днища 50 м) по 5 профилям пробурено II скважин глубиной до 6,6 м. Балочный аллювий практически повсеместно залегает на коренных породах (жирских глинах, меловых песчаниках), поэтому положение вреза фиксируется совершенно определенно. Данные спорово-пыльцевого анализа отобранных из скважин образцов показывают, что прослой с гумусированными намытыми почвами не везде можно полностью отождествить с определяемым визуально агрикультурным слоем аккумуляции, последний существенно мощнее и охватывает почти всю толщу балочного аллювия в Лог Репном за исключением базальных слоев мощностью 0,1–0,4 м, отложившихся до начала активного сельскохозяйственного освоения территории. Мощность балочного аллювия в балке сверху вниз по течению по пробуренным профилям изменяется от 0,8 м (в верховьях) и далее — 1,5 м–3,0–4,0–

4,4-5,5-6,6 м (на конусе выноса балки). Сравнение положения подошвы балочного аллювия с расчетным по методике Е.Ф.Зориной (1981) отметками выработанного продольного профиля показывает хорошее совпадение. Это позволило **рассчитать** также объем отложений в тех балках, где бурение не проводилось. Общий объем аккумуляции в балках составил 432 тыс.м³.

В бассейне ручья Ведуга выделено 4 типа оврагов, отличающихся по морфологическим характеристикам. 1 - средняя длина 200 м, глубина - 10-12 м; 2 - длина от 80 до 200 м, глубина до 15 м; 3 - длина до 70 м, глубина 5-7 м; 4 - длина - 100-130 м, глубина 2-7 м соответственно. Всего в бассейне развито свыше ста оврагов общим объемом 3740 тыс.м³. Средний годовой прирост длины этих оврагов в настоящее время составляет 0,5-1,0 м/год.

Смыв почв со склонов в бассейне ручья Ведуга определялся в полевых условиях по степени их смытости (по почвенным горизонтам по сравнению с эталонами на плакорах). Уменьшение мощности гумусового горизонта для черноземов выщелоченных слабосмытых равна в среднем 21,5 см, а средне-смытых - 38,5 см. Для черноземов типичных - соответственно 18,5 и 40,7 см, а для балочных луговых почв - 13,2 и 41 см. Слабосмытые выщелоченные черноземы занимают 33% площади пашни, сильносмытые - 5,3%; черноземы типичные - 36,4% и 5,4%, а балочные почвы - 14,4 и 5,2% соответственно. На склонах крутизной < 1° расположено 36,7% пашни, крутизной 1-5° - 56,1%, 5-10° - 7,0% и > 10° - 0,2% пашни. Общий объем смытого почвенного материала в бассейне ручья Ведуга составил 3940 тыс.м³.

Другой ключевой участок исследований располагается в бассейне реки Малый Колышлей (приток р. Большой Колышлей, впадающей в р.Медведицу, левый приток Дона) в Аткарском районе Саратовской области, в пределах Приволжской возвышенности и региона Нижнего Поволжья. Длина долины р.Малый Колышлей до контрольного створа 22,5 км, площадь водосбора 181,5 км². Количество осадков в летний период составляет 258 мм, в зимнее время - 132 мм. Максимальный запас воды в снеге 62 мм. Основной почвенный фон представлен подтипом черноземов обыкновенных, коэффициент эродированности - от 1,05 до 1,60 т/га. Долина имеет асимметричное строение: правый коренной склон крутой и выпуклый, левый - пологий, прямой, длинный - 1,5-2 км. В долине прослеживается 1 надпойменная терраса относительной высотой от 1,5 м (в верховьях) до 5-6 м, высокая и низкая пойма. Средняя ширина долины 150 м. Ширина русла от 1-2 до 10 м. В долине пробурено 16 профилей по 3-6 скважин на каждом профиле, что позволило рассчитать объемы аккумуляции в русле и на пойме, как общие, так и с учетом палинологических определений - за агрикультурный период. Глубина находок зерен культурных растений от 0,55 м в верховьях до 3,5 м в низовьях реки. Общий объем отложений в долине р.Малый Колышлей и ее притока - Песчанки составил 17 530 тыс.м³. Водосбор реки

расчленен крупными балками и оврагами. Балка Ключи — длина 4 км, площадь водосбора 8 км², для балки Ржавец цифры соответственно 3,5 км и 18 км², балки Старая Ивановка — 5 км и 23 км². Из них объем аккумуляции по данным бурения определен в балке Ключи, он составил 430 тыс.м³, а в балке Ржавец — 3490 тыс.м³. В первой наносы агрокультурного периода выделялись по спорово-пыльцевым данным, во второй — по появлению сильно гумусированных отложений. В балке Старая Ивановка объем отложений был рассчитан по отметкам современного дна и выработанного продольного профиля. В целом объем накоплений в балках в долине р.Малый Колышлей составил 4430 тыс.м³.

В долине зафиксировано 147 оврагов. Имеются овраги двух основных видов — склоновые и береговые. Для склоновых характерны: длина 0,5–1,0 км, максимально до 1,5 км; площадь водосбора до 150 тыс.м²; глубина базиса эрозии 20 м на балках и 45–60 м на речных склонах; глубина оврагов до 10 м, ширина по бровке до 30 м, иногда до 50–60 м. У береговых оврагов размеры меньше: длина до 100 м, в основном 30–50 м; глубина 2–7 м; длина водосбора 150–180 м; объем оврагов варьирует в довольно широком диапазоне от 40 до 600 м³. Объем склоновых оврагов в среднем 250 м³. Суммарный объем оврагов в долине р.Малый Колышлей составляет 5430 тыс.м³.

Для склонов долины Малый Колышлей характерна густая сеть потяжин и мелких ложбин, которые служат источниками и путями ускоренной эрозии почв. Для оценки масштаба этого процесса при полевой почвенно-эрозионной съемке закладывались специальные профили по дну ложбин, на склонах и на плакорах. Для 51 ложбины элементарного водосбора (нулевого порядка), выделенной по картам крупного масштаба и обследованных в полевых условиях, средние величины сокращения мощности гумусового горизонта по ложбинам составили от 19 до 25 см (максимальные, по сравнению с бровкой склона — до 50 см). Протяженность ложбин в среднем около 1 км (при минимальных 275–350 м, максимальных до 11413 м). Площади водосбора в среднем 200–300 га (минимальная 23 га, максимальная 465 га). Средняя ширина водосбора ложбины 70 м. Ложбины распространены неравномерно, наиболее характерны для длинных пологих склонов левобережья рек Малый Колышлей и Песчанка. Общий объем потерь почв от смыва по ложбинам — около 1,5 или 1,22 млн м³ с площади 700 га.

Средние мощности почв разной степени смытости существенно варьировали по территории водосбора (табл. I).

На основании этих материалов были подсчитаны объемы смыва почв со склонов по водосборам отдельных балок и частей долины. За агрокультурный период со склонов в результате ускоренной эрозии здесь был удален мощный слой почвы общим объемом более 17,6 млн м³.

Водосбор Маркова ручья — правобережного притока Дона — расположен в степной зоне. Территория отличается глубоким расчленением рельефа (относительные превышения 80–100 м), сложенного карбонатными породами со сравнительно невысокими неразмываемыми скоростями (2,15 м/с для

Средние мощности гумусовых горизонтов ($A_T + AB$) (см) обыкновенных черноземов разной степени смывтости бассейна р. Малый Колышлей

Ключевые участки	Не- смывтые	Слабо- смывтые	Средне- смывтые	Сильно- смывтые
Правобережье р. Песчанки, М. Колышлей	74	57	39	26
Левобережье р. Песчанки	72	53	34	25
Левобережье р. М. Колышлей	53	39	28	23-25

мергелей и доломитов; 0,53-0,75 м/с для лесовидных покровных суглинков). Среднегодовое количество осадков 550 мм, из них 40% выпадает в теплый период. Максимальные запасы воды в снеге около 60 мм. Преобладают здесь черноземы обыкновенные с коэффициентом эродированности около единицы, а для маломощных почв - около 3 единиц.

В табл. 2 сведены данные о балансе наносов за период интенсивного сельскохозяйственного освоения территорий всех исследованных ключевых водосборов и их основных суббассейнов. Эти данные показывают, что несмотря на широкий диапазон климатических, почвенных и геолого-геоморфологических условий нет отчетливой закономерности в изменении балан-

Т а б л и ц а 2

Баланс наносов на ключевых малых водосборах в лесной, лесостепной и степной зонах Европейской части СССР за период интенсивного сельскохозяйственного освоения (тыс. м³)

Название водотока	Площадь водо-сбора, км ²	Объем смыва со склонов	Объем размыва в ложбинах	Объем выноса у оврагов	Аккумуляция в балках	Аккумуляция в долинах малых рек	Баланс
Л е с н а я з о н а							
Балка Язвица	3,22	50,0	-	35,0	35,0		-50,0
Л е с о с т е п н а я з о н а							
Балка Лог Репный	3,5	320	-	1180	260	-	-1240
Руч. Ведуга	86,9	3940	-	3740	4320	3540	0
Балка Ржавец	18,0	3330	245	250	3490	-	-335
Балка Ключи	8,0	1670	185	2150	430	-	-3575
Балка Старая Ивановка	23,0	1600	59	490	510	-	-1639
р. Песчанка (без балки Ключи)	29,4	4220	497	1540	-	1760	-4497
р. М. Колышлей	181,5	17600	1220	5430	4430	13100	-6720
С т е п н а я з о н а							
Руч. Марков	142,3	9100	-	7990	7600	9180	-310

са наносов на водосборах. Местные условия формирования и трансформации стока наносов создают существенную специфику протекания эрозионно-аккумулятивных процессов на исследованных малых водосборах.

Анализ отношения объема выноса материала к общему объему размыва на водосборе K_T показывает, что с увеличением площади водосбора прослеживается тенденция к уменьшению диапазона изменений K_T , а с другой — уменьшения значения его верхнего предела. Так, для водосборов с площадью до 50 км^2 диапазон изменений K_T составляет 0–90%, для водосборов с площадью $50\text{--}200 \text{ км}^2$ K_T изменяется от 0 до 20%. Таким образом, не менее 80% сносимых со склонов и из оврагов отложений накапливаются в самых верхних звеньях гидросети, в долинах водотоков с площадью водосбора $<200 \text{ км}^2$. В этой связи представляет интерес проанализировать баланс наносов на более крупных водосборах.

Крупные реки — завершающее звено эрозионно-аккумулятивной системы водных потоков суши. Суммарный вынос твердого вещества реками составляет около 70% общего эффекта денудации материков (Н.И. Маккавеев, 1981). Весьма важным в связи с этим представляется вопрос о соотношении твердого материала, перемещаемого водными потоками на склонах и в русле самой реки.

Для определения объемов и модулей склоновых наносов была использована карта "Эрозионно опасные земли Европейской части СССР" масштаба 1:1 500 000, составленная под руководством М.Н. Заславского. На карте отражена современная расчетная интенсивность смыва почвы (т/га·год) для крупных массивов сельскохозяйственных земель (лесные земли и болота оцениваются как неэрозионно опасные). По карте определялись площади ареалов с той или иной интенсивностью смыва и с учетом объемного веса пахотного горизонта вычислялся объем годового склонового смыва и модуль склонового стока для выбранного водосборного бассейна. Точность оценки этих величин по карте зависела от степени генерализации карты (площади под лесами в степной зоне на карте несколько преуменьшены) и самих величин темпов смыва, поскольку шкала интенсивности неравномерна.

Для анализа твердого стока рек использовались опубликованные в справочниках данные гидрометеослужбы по территории бассейнов нескольких крупных рек, охватывающих большую часть степной и лесостепной зон, — Днестра, Днепра, Дона и Северского Донца. На самих этих реках и их притоках выбирались пункты наблюдений, на которых продолжительность измерений твердого стока оказалась достаточной для вычисления модулей твердого стока. Таких пунктов оказалось всего лишь несколько десятков, вследствие того что позднее реки были зарегулированы. Диапазон площадей их водосборов от 400 до $80\,000 \text{ км}^2$, средняя площадь $10\,000 \text{ км}^2$.

Показателем соотношения речного и склонового стока наносов было выбрано отношение годового объема (или модуля) речного стока к этой же характеристике склонового — коэффициент транспорта наносов (K_T , в %). По своему численному выражению он близок к коэффициенту поступления осадков, используемому службой охраны почв США (Эрозия почв,

1984). Диапазон изменений K_T в бассейнах крупных рек еще меньше и составляет 1-7% (табл.3). В гидрографической сети аккумулируется более 90% смытых с водосбора наносов, это для рек южного склона Европейской территории СССР превышает 100 млрд.м³ отложений.

Т а б л и ц а 3

Осредненные по бассейнам характеристики стока наносов на склонах и в руслах рек

Бассейн рек	$M, \frac{т}{км^2 \cdot год}$	$г/м^3$	$M_{ск}, \frac{т}{км^2 \cdot год}$	$K_T, \%$
р.Днепр	6,1	71,5	605	1,0
р.Дон	13,7	151,1	208	6,6
р.Северский Донец	23,1	386,2	492	4,7
р.Днестр	63,1	381,1	1340	4,7

Сравнение осредненных по бассейнам характеристик стока наносов в реках, на склонах и коэффициентов транспорта показывает сложность взаимосвязей в эрозионно-аккумулятивной системе. Так, в реках бассейнов Дона, Северского Донца и Днестра как будто намечается пропорциональность между темпами эрозии почв и модулем твердого стока рек, но влияние склоновой эрозии на мутность воды и, главное, коэффициент транспорта отсутствует. Нет пропорциональности величины последнего и с самим модулем речного стока и мутностью воды. Для водосборов с площадью до 400-500 км² считается установленной обратная пропорциональная зависимость между коэффициентом поступления наносов и величиной водосбора (Эрозия почв, 1984), однако для водосбора рек юга Европейской части такой зависимости не обнаруживается ни в целом по территории, ни внутри отдельных больших бассейнов. Вероятно, при достаточно больших размерах водосбора условия поступления в русло главной реки бассейновых наносов стабилизируются или индивидуализируются настолько, что перекрывают эффект дальнейшего приращения площади. Отсутствуют также и зависимости между величинами модулей стока склоновых и речных наносов. Это позволяет сделать вывод о достаточной автономности эрозионно-аккумулятивной деятельности равнинных рек и процессов эрозии на склонах их водосборов на современном этапе развития рельефа.

Таким образом, следует отметить, что хотя общий уровень "водной" денудации соответствует уровню проявления плоскостной эрозии склонов, зависимость между ними по отдельным речным бассейнам весьма сложна. Требуется тщательный анализ геоморфологических и ландшафтных условий, чтобы найти достоверные количественные связи между ними.

Л и т е р а т у р а

З о р и н а Е.Ф. Прогноз количества и длины оврагов в пределах ба-
 лочного водосбора // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ,
 1981. Вып.8. С.80-91.

К о с о в Б.Ф., З о р и н а Е.Ф., П р о х о р о в а С.Д. История развития антропогенной овражной сети в центральной лесостепи европейской части СССР в связи с ее хозяйственным освоением // Геоморфология. 1982. № 3. С.44-50.

Л а р и о н о в Г.А. Методика средне- и мелкомасштабного картографирования эрозионно опасных земель // Актуальные вопросы эрозиоведения. М.: Колос, 1984. С.41-66.

М а к к а в е е в Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1955. 346 с.

М а к к а в е е в Н.И. Некоторые особенности эрозионно-аккумулятивного процесса // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1981. Вып.8. С.5-16.

Эрозия почв. М.: Колос, 1984. 415 с.