

УДК 551.4.012→551.435.1(2)

Д.А. Безухов¹, В.Р. Беляев², Н.Н. Иванова³

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ И НАПРАВЛЕННОСТИ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОБРАБАТЫВАЕМЫХ СКЛОНАХ В ПРЕДЕЛАХ БАСЕЙНА Р. ПЛАВА (ТУЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ)⁴

Выполнена количественная оценка интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов в пределах малого водосбора с преобладанием пахотных земель (бассейн р. Плава, Тульская область, Среднерусская возвышенность). Для определения внутрибассейнового перемещения материала использован комплексный подход: фактические значения величины смыва и аккумуляции определяли методом почвенно-морфологического профилирования, для расчета интенсивности смыва при ливневом и талом стоке применялась существенно модифицированная комбинация двух методик (USLE и уравнения ГГИ), а также радиоцезиевый метод. Сопоставление полученных независимыми методами результатов дало возможность получить достоверную информацию для расчета баланса наносов. Выявлено, что водосбор балки характеризуется значительным отрицательным балансом вещества — почти 80% наносов, поступающих с эродируемых обрабатываемых склонов, выносятся через замыкающий створ в главную реку.

Анализ разновременных картографических материалов и космических снимков позволил реконструировать историю землепользования исследуемого бассейна с середины XIX в. — восстановлены границы пашни для 5 временных интервалов. Предложена примерная схема функционирования водосбора за период наиболее интенсивного сельскохозяйственного освоения (после земельной реформы 1861 г.) с учетом тенденций саморазвития балочной системы и динамики границ земельных угодий.

Ключевые слова: эрозионно-аккумулятивные процессы, внутрибассейновое переотложение наносов, овражно-балочные системы, радиоцезиевый метод, баланс наносов, реконструкция истории землепользования, Среднерусская возвышенность.

Введение. Эрозия почв, несмотря на внешнюю невыразительность непосредственных морфологических проявлений, по суммарным негативным последствиям для человечества не уступает многим катастрофическим рельефообразующим процессам. В мировом масштабе до 80% площади сельскохозяйственных земель испытывает умеренное или сильное воздействие эрозионных процессов. По состоянию на 1995 г. среднемировая интенсивность эрозионной потери почвы с пашни составляла 30 т/га в год при разбросе наблюдаемых величин от 0,5 до 400 т/га в год [14]. При этом ежегодные общемировые потери площади пахотных земель в результате эрозионной деградации достигают 10 млн га. Значительно труднее количественно оценить косвенные негативные последствия эрозии почв, связанные с заилением и эвтрофикацией водотоков и водохранилищ, деградацией малых рек и перераспределением сорбируемых наносами загрязняющих веществ [15].

В статье на примере радиоактивного изотопа ¹³⁷Cs показана возможность использования радиоактивной метки в сочетании с другими независимыми

методами для количественной оценки интенсивности эрозии почв на обрабатываемых склонах, оценки баланса наносов малых водосборов, а также изучения влияния внешних факторов, таких, как изменения землепользования на динамику баланса наносов. Поскольку исследования выполнены на территории, испытавшей в 1986 г. значительное радиоактивное загрязнение в результате атмосферных выпадений после аварии на Чернобыльской АЭС (так называемое Плавское цезиевое пятно, Плавский район Тульской области, бассейн р. Плава), одновременно решали и радиоэкологическую задачу — оценивали многолетнюю трансформацию поля первичного радиоактивного загрязнения ¹³⁷Cs в условиях, когда эрозионно-аккумулятивные процессы являются доминирующим агентом латеральной миграции вещества в ландшафтах [10].

Постановка проблемы. Главная цель работы — количественная оценка эрозионно-аккумулятивных процессов в пределах разных элементов сельскохозяйственно освоенного малого водосбора для составления баланса наносов этого водосбора и определе-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, студент; *e-mail:* goldplacer@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* valdemar_b@rambler.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* nadine_iv@mail.ru

⁴ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 13-05-00162 и 14-05-92105) и Программы Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (проект № НШ-1010.2014.5).

ния доли рыхлого материала, выносимого в главную реку. Водосбор балки “Святой источник” принципиально отличается от ранее исследованных малых водосборов в бассейне р. Плава [5, 10, 12, 13] гораздо более тесной связью с главной рекой, уклоном тальвега основной балки и активным развитием линейной эрозии (донных врезов) в ее днище. Поэтому было сделано предварительное предположение, что такие балочные водосборы должны характеризоваться существенно большей долей выносимых в принимающую реку наносов (коэффициент доставки [2]) по сравнению с ранее исследованными водосборами.

Подобные водосборы — потенциальные поставщики рыхлого материала и связанных с ним загрязнителей широко распространены в бассейне р. Плава. Поэтому помимо собственно изучения перераспределения наносов наша работа имеет и самостоятельное радиоэкологическое значение для оценки многолетней динамики трансформации поля радиоцезиевого загрязнения бассейна р. Плава — одной из наиболее сильно затронутых чернобыльскими выпадениями радионуклидов территорий на европейской части России.

Материалы и методы исследований. Для количественной оценки темпа эрозии почв применяли радиоцезиевый, почвенно-морфологический методы, эмпирико-математическую модель. В основе радиоцезиевого метода лежит свойство изотопа прочно и химически необратимо фиксироваться глинистыми минералами почвенных частиц непосредственно после его выпадения из атмосферы. Последующее перераспределение изотопа в ландшафте происходит преимущественно посредством латеральной механической миграции частиц почв и наносов в результате эрозионно-аккумулятивных процессов. Поэтому, сравнивая запасы ^{137}Cs в почве на склонах и в днищах долин с заведомо геоморфологически стабильными позициями (плоскими водоразделами), можно определить преобладающие процессы эрозии, аккумуляции или относительную стабильность поверхности для каждой опробованной точки [9]. Поскольку динамика выпадения изотопа из атмосферы хорошо известна (в частности, на исследуемой территории более 95% относится к чернобыльскому загрязнению, выпавшему практически одномоментно весной 1986 г.), по разнице запасов в интересующей точке и на геоморфологически стабильной позиции можно вычислить среднюю интенсивность эрозионно-аккумулятивных процессов по специально разработанным калибровочным зависимостям [17]. Основные расчетные зависимости для радиоцезиевого метода представлены так называемыми простой пропорциональной и упрощенной масс-балансовой моделями [8]. Кроме того, для аккумулятивных позиций можно установить хорошо обоснованную микростратиграфию отложений по датированным пикам интенсивности выпадения ^{137}Cs из атмосферы и вычислить среднюю скорость осадконакопления для нескольких промежутков времени [2].

Почвенно-морфологический метод основан на сопоставлении изменения мощности верхних горизонтов почвы (для черноземов А+АВ) в сериях разрезов, заложенных по продольным профилям на исследуемых участках склонов, с эталонными значениями, определенными в разрезах, расположенных на геоморфологически стабильных позициях [7]. При этом уменьшение мощности горизонтов почвы оценивается интегрально за весь период распашки, что позволяет при наличии информации о продолжительности этого периода перейти к среднегодовой интенсивности потерь почвы [5].

Использованная расчетная модель представляет собой существенно модифицированную комбинацию двух методик [6]. Для расчета смыва с дождевым стоком использован подход, положенный в основу универсального уравнения эрозии почв (USLE), предложенного в работе [18] и многократно модифицированного позднее [16]. Для расчета стока и смыва при снеготаянии используется подход, разработанный в Государственном гидрологическом институте (ГГИ) [1]. Достоинства, недостатки и основные допущения всех трех указанных методов подробно изложены в указанных публикациях.

В пределах исследуемого водосбора на распаханном склоне были заложены две трансекты (SS-10 и SS-11) с почвенными разрезами, где отобраны интегральные пробы для измерения активности ^{137}Cs в лабораторных условиях (5 разрезов и 6 точек пробоотбора соответственно). Интегральные пробы на содержание ^{137}Cs отбирали цилиндрическим металлическим пробоотборником диаметром 80 мм, который забивали в грунт на глубину 30 см, заведомо превышавшую мощность пахотного горизонта (на момент полевых работ она составляла 15—20 см), чтобы получить полный запас изотопа в каждой точке. Трансекты выбраны на склонах с разной морфологией. Разрезы серии SS-10 были заложены на рассеивающем склоне, серии SS-11 — на собирающем. Кроме того, для плано-высотного обоснования положения точек пробоотбора и более детальной характеристики формы склона выполнена тахеометрическая съемка вдоль этих трансект.

Для определения статистически достоверной величины первоначального выпадения ^{137}Cs из атмосферы на выровненной поверхности местного водораздела на юго-западе от исследуемого водосбора был заложен опорный участок, включавший один почвенный разрез с послынным отбором проб через 5 см до глубины 40 см с фиксированной площадью сечения 15×15 см (8 образцов) и 12 интегральных проб, отобранных тем же пробоотборником, который использовался для точек на склонах.

Для оценки аккумуляции наносов в днище балки и ее отвершках заложено 13 разрезов на тех участках, где наблюдались визуальные признаки осадконакопления. После подробного описания из разрезов отобраны образцы на радиоцезиевый анализ послынно — через 10 см с поперечным сечением 10×10 см до глубины

40 или 60 см (в зависимости от строения вскрытой разрезом толщи).

В лаборатории все образцы почв и отложений подвергались просушиванию, гомогенизации и выделению фракции <2 мм, после чего с помощью гамма-спектрометра определяли концентрацию радиоизотопов в образцах.

Результаты исследований и их обсуждение. Статистическая обработка результатов анализа запасов ^{137}Cs в почве на опорном участке плоского водораздела показала, что локальная (несколько метров — несколько десятков метров) пространственная вариабельность запасов умеренная, коэффициент вариации составляет 11,4%. С учетом 95%-го доверительного интервала получено опорное значение запаса изотопа для исследованной площадки, которое составило $56\ 115 \pm 3620$ Бк/м² ($\pm 6,5\%$). Анализ глубинного распределения изотопа в опорном разрезе показал типичную форму эпюры, характерную для пашни, — практически равномерное распределение в пахотном горизонте и незначительное проникновение ниже максимальной глубины вспашки (<1,5%). Таким образом, это опорное значение можно использовать для количественной оценки интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов радиоцезиевым методом в зоне преобладания чернобыльского загрязнения [3].

Сопоставление результатов количественной оценки интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов вдоль двух исследованных склоновых трансект тремя независимыми методами — радиоцезиевым, почвенно-морфологическим и по эмпирико-математической модели USLE/ГГИ — приведено на рис. 1. По результатам применения радиоцезиевого метода среднегодовой темп эрозии на склонах варьирует в пределах 2,4—61,0 т/га в год, среднее значение для распаханых склонов составляет 18,7 т/га в год для пропорциональной модели и 24,3 т/га в год для простой масс-балансовой модели. Эти данные характеризуют скорость почвенной эрозии за 25-летний период сельскохозяйственного освоения (1986—2011). Результаты, полученные по почвенно-морфологическому методу, колеблются в пределах 0—16,2 т/га в год, при этом в нижней точке трансекты S-11 наблюдается аккумуляция, которая оценивается средней величиной 2,5 т/га в год. Эти значения характеризуют весь период освоения изучаемой территории, который по документальной информации (карты и писцовые книги Генерального межевания) оценивается нами приблизительно в 360 лет. Подчеркнем, что среднескользящая величина эрозии, рассчитанная почвенно-морфологическим методом, для некоторых точек находится в пределах ошибки измерения, которая оценивается в $\pm 1,0$ т/га в год. Расчетные показатели потенциального среднегодового смыва почвы для типичных севооборотов, полученные с помощью объединенной эмпирико-математической модели USLE/ГГИ, находятся в интервале 0—47,0 т/га в год (рис. 1).

Такие существенные различия значений, полученных тремя независимыми методами, объясняются разным временным масштабом действия радиоцезиевого и почвенно-морфологического методов, а для эмпирико-математической модели — невозможностью учесть переотложение наносов по длине склона. В целом для трансект характерна тенденция к увеличению среднегодового темпа эрозионных процессов от водораздельной поверхности к нижней части склона, по направлению увеличения крутизны склона (рис. 1). Локальные максимумы в верхних частях трансект, вероятнее всего, связаны с механическим сносом пахотного горизонта орудиями обработки почвы, а в нижней — с развитием небольших промоин, некоторые из которых идентифицируются на космических снимках.

Из 13 разрезов, расположенных в предполагаемых зонах аккумуляции в днище балки, серии разрезов SS-1—4 находились в ее верховьях, где при полевых исследованиях обнаружено аккумулятивное тело значительной мощности, а серии SS-5—6 — в средней части балки. Результаты расчета темпа аккумуляции радиоцезиевым методом по данным 13 разрезов обобщены в таблице. Установлено, что на изучаемом водосборе скорость аккумуляции в днище балочной системы составляет в среднем 63,4—87,2 т/га в год, в отвершках верховьев основной балки (разрезы SS-1-2, SS-1-3) — 23,8—47,6 т/га в год, а в днище основной балки — 71,4—95,2 т/га в год. Относительно низкий темп аккумуляции на некоторых участках днища, скорее всего, связан с чередованием периодов врезания и заполнения, соответствующих развитию небольших регрессивно смещающихся по днищу донных врезов, либо с локальными размывами вдоль скотопроегонных троп на залуженных участках балочных террас. Аномально высокие значения аккумуляции (166,5—190,3 т/га в год) связаны с положением разрезов SS-3-1 на месте тела заиления, образовавшегося в результате прорыва плотины прудка в днище балки.

Для расчета баланса наносов площадь основных геоморфологических элементов водосбора балки “Святой источник” с учетом данных полевых наблюдений определена по топографической карте масштаба 1:25 000 и космическим снимкам. Область сноса на распаханых склонах имеет площадь 109,7 га, буферная зона (задернованные борта балки) между областью сноса и днищем балки — 40,8 га, днище балки — 2,0 га, днища отвершков балки — 0,6 га.

Баланс для количественной оценки эрозионно-аккумулятивных процессов можно рассчитать по формуле

$$W = A_1 + A_2 + A_3 + V,$$

где W — объем смыва с распаханых склонов в период стока талых и ливневых вод, A_1 — объем аккумуляции наносов на склонах, A_2 — аккумуляция в отвершках балки, A_3 — аккумуляция в днище балки, V — поступление наносов в речное русло.

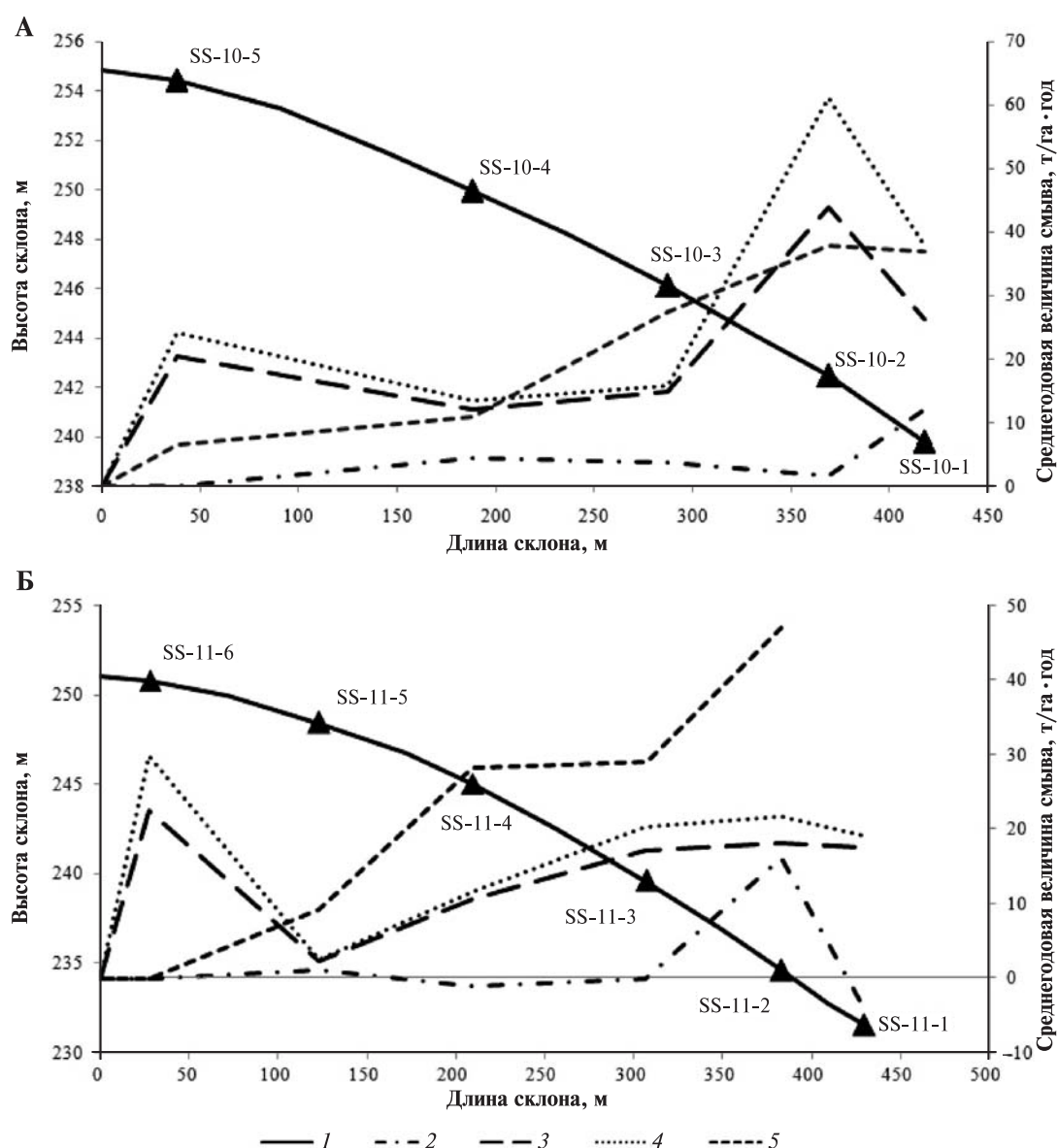


Рис. 1. Продольные профили трансект (А — SS-10, Б — SS-11) и оценка среднегодового темпа перераспределения наносов (т/га в год) разными методами. Отрицательные значения соответствуют аккумуляции, положительные — эрозии. 1 — продольный профиль склона; 2 — почвенно-морфологический метод; 3, 4 — радиоцезиевый метод (3 — пропорциональная модель, 4 — масс-балансовая модель); 5 — эмпирико-математическая модель USLE/ГГИ

С использованием приведенных выше величин среднегодовой скорости эрозионно-аккумулятивных процессов вычислены составляющие баланса наносов исследуемого водосбора (рис. 2). В нашем случае оценить переотложение наносов в буферной зоне не представляется возможным из-за отсутствия данных, но можно предполагать низкий темп аккумуляции в ней из-за периодического формирования и заполнения промоин на бортах балки, которые служат основными путями доставки наносов с распаханых водосборных склонов в днище.

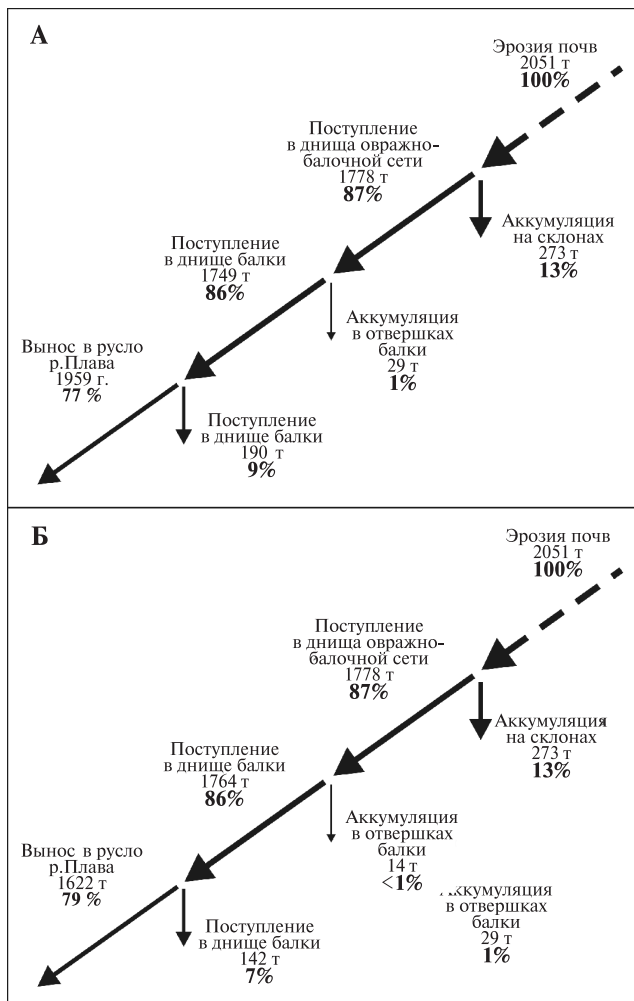
Согласно полученным нами результатам суммарное переотложение наносов в пределах распаханых склонов и в днищах составляет 21–23% от общего количества материала, смытого с обрабатываемых водосборных склонов. В русло р. Плава выносятся

77–79% смытого с водосбора материала. Таким образом, основная часть наносов, удаляемых процессами почвенной эрозии со склонов, проходит по водосбору транзитом и выносятся непосредственно в главную реку, тогда как на аккумулятивных позициях на склонах (преимущественно у нижней границы пашни) и в днище балки откладывается незначительное количество рыхлого материала. Это подтверждает высказанное выше предварительное предположение, что изучаемый водосбор служит мощным поставщиком наносов. В процессе флювиальной транспортировки происходит сортировка материала по крупности — в русло реки выносятся значительное количество мелкозема, содержащего радиоактивный загрязнитель, а в конусе выноса балки остается преимущественно относительно чистый крупнообломочный материал.

Среднегодовой темп аккумулятивных процессов в днище балки за 1986–2010 гг., определенный по заглаблению пика активности ^{137}Cs 1986 г. в исследованных разрезах для двух различных допущений о глубине его залегания

Разрез	Геоморфологическая позиция	Темп аккумуляции в днище балки, оцененный радиоцезиевым методом			
		максимальный		наиболее вероятный	
		мм/год	т/га в год	мм/год	т/га в год
SS-1-1	днище балки	8	95,2	6	71,4
SS-1-2	то же	4	47,6	2	23,8
SS-1-3	днище отвершка	4	47,6	2	23,8
SS-2-1	днище балки	4	47,6	2	23,8
SS-2-3	то же	8	95,2	6	71,4
SS-3-1	днище пруда	16	190,3	14	166,5
SS-3-2	балочная терраса	4	47,6	2	23,8
SS-4-1	днище балки	4	47,6	2	23,8
SS-4-2	вторичный врез	4	47,6	2	23,8
SS-5-1	то же	12	142,7	10	118,9
SS-5-2*	балочная терраса	—	—	—	—
SS-6-1	вторичный врез	12	142,7	10	118,9
SS-6-2	балочная терраса	8	95,2	6	71,4
Среднее	-	7,3	87,2	5	63,4

* На участке разреза SS-5-2 за послечернобыльский период преобладали эрозионные процессы.



Переотложение наносов в балочном звене весьма ограничено, локализовано в основном в верховьях балки и ее отвершков, а также на небольших фрагментах балочных террас. Площадь аккумулятивных участков днищ незначительна.

При количественной оценке среднемноголетней скорости аккумуляции на основании изучения микростратиграфии осадков по эпюре распределения ^{137}Cs по глубине, особенно при отборе проб слоями мощностью 5–10 см, один из источников неопределенности кроется в том, какую глубину залегания внутри слоя принять для того или иного датированного пика концентрации изотопа. Для устранения этой неопределенности баланс наносов рассчитывали для двух вариантов вычисления объемов аккумуляции в днище. Для определения содержания ^{137}Cs последовательно выбраны слои мощностью 10 см, полученные для них значения приняты средними для слоя. В первом варианте глубина залегания слоев, которые обогащены радионуклидами, относящимися к чернобыльскому пику выпадения, принималась равной глубине подошвы соответствующего слоя (рис. 2, А), во втором — глубине, на которой находилась середина соответствующего слоя (рис. 2, Б). При расчетах баланса наносов для второго случая темп аккумуляции можно считать наиболее вероятным (таблица).

Рис. 2. Среднегодовой баланс наносов водосбора «Святой источник», полученный с использованием радиоцезиевого метода: А — при максимальном темпе аккумуляции, Б — при наиболее вероятном темпе аккумуляции

Разница величины поступления наносов в р. Плаву составила всего 2%, что дает основание использовать при балансовых расчетах оба варианта количественной оценки аккумулятивных процессов.

Для исследованного водосбора определен коэффициент доставки наносов по формуле,

$$k = \frac{\mathcal{E}S - AS_a}{\mathcal{E}S} \cdot 100\%,$$

где \mathcal{E} — темп эрозии на склонах, т/га в год; A — аккумуляция наносов на склонах, т/га в год; S — площадь области сноса; S_a — площадь области аккумуляции.

Величина коэффициента доставки со склонов в днище балки достигает 86,6% (для водосборов “Локна” и “Ляпуновка” 71,7 и 87,4% соответственно [10]). По сравнению с другими типами балочных водосборов бассейна р. Плава исследуемый водосбор вносит наиболее значительный относительный вклад в заиление реки (77–79% наносов, выносимых из балки, попадают в русло, рис. 2) и превосходит по скорости склоновой эрозии все остальные (среднегодовой смыв почвы с распаханых склонов на водосборах “Локна” и “Ляпуновка” не превышает 12 т/га в год) [10–13].

По динамике сельскохозяйственного землепользования, полученной на основании совместного ана-

лиза разновременных картографических источников и данных дистанционного зондирования, определены изменения положения основных рубежей переотложения наносов и приближенно реконструирована история развития малой эрозионной формы “Святой источник” за период интенсивного сельскохозяйственного освоения (рис 3). В период земельной реформы в середине XIX в. происходила практически полная распашка водосбора, что отразилось в преимущественном поступлении наносов на задернованные борты балок (рис. 3, А). Последовавшее за этим интенсивное развитие плоскостного смыва и линейной эрозии, отраженное на карте размывов, построенной А.Г. Козменко в 1912 г. (рис. 3, Б), привело к некоторому сокращению пахотных земель за счет передвижения нижних границ пашни на более высокий гипсометрический уровень, а следовательно, к увеличению поступления наносов в днище балки. Таким образом, зона переотложения наносов вдоль нижней границы пашни сместилась в сторону водораздела, расширилась площадь задернованных подножий междуречных склонов, что привело к увеличению доли аккумулирующегося на склонах материала в балансе наносов. В послевоенное время произошло еще одно перемещение нижней границы пашни, по-видимому, связанное

с попытками стабилизировать развитие многочисленных промоин на правом борту балки и прилегающем участке водосборного склона (рис. 3, В). Об этом свидетельствует угловатый характер современной границы пашни, огибающей вершины наиболее крупных промоин (рис. 3, Д).

По аналогии со многими другими подобными овражно-балочными системами можно предположить, что в истории развития балки “Святой источник” за последние 150 лет наблюдались стадии активного врезания, регрессивного роста и выработки предельной длины [4]. За это время отметки тальвега балки понизились на несколько метров, сформировались балочные террасы вдоль тыловых швов в его нижней и средней частях. С первой половины XX в. эрозионные процессы стали постепенно зату-

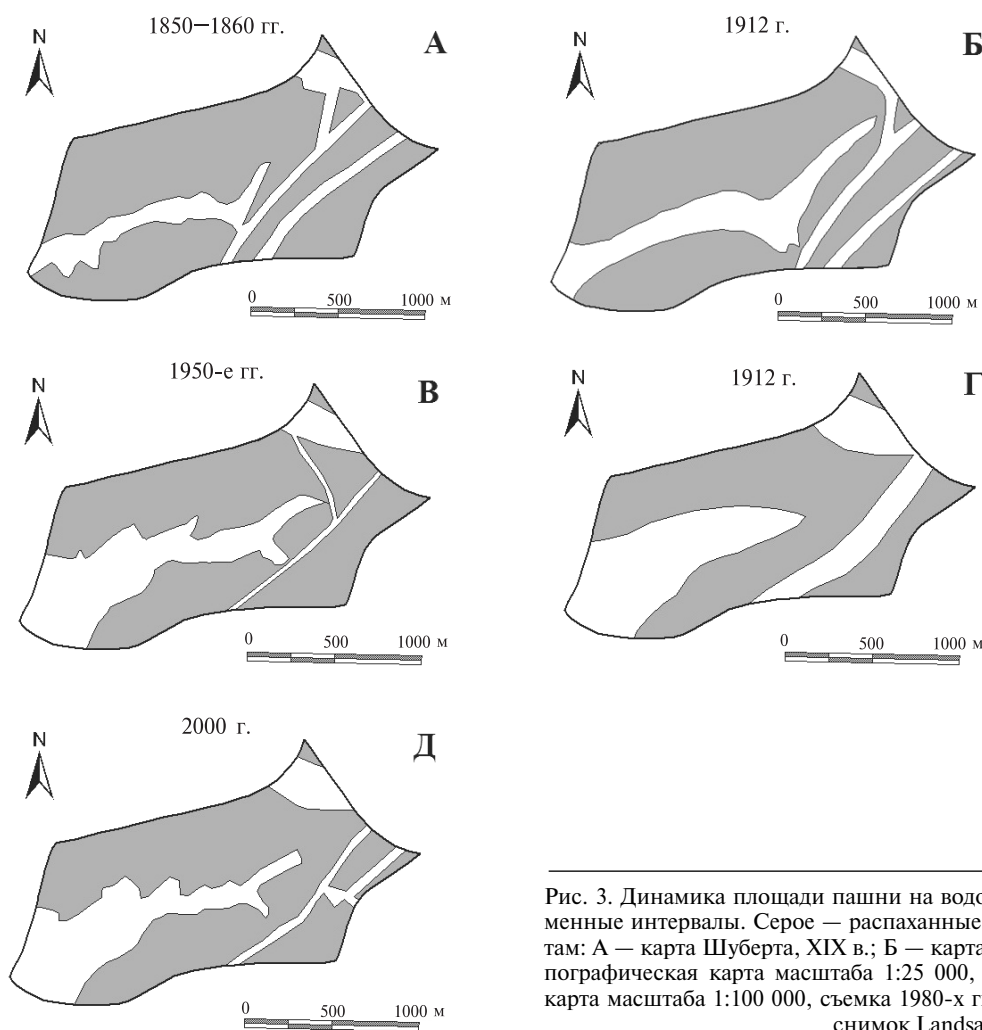


Рис. 3. Динамика площади пашни на водосборе “Святой источник” за разные временные интервалы. Серое — распаханые участки, белое — нераспаханые по картам: А — карта Шуберта, XIX в.; Б — карта размывов А.Г. Козменко, 1912 г.; В — топографическая карта масштаба 1:25 000, съемка 1950-х гг.; Г — топографическая карта масштаба 1:100 000, съемка 1980-х гг. с коррекцией 1993 г.; Д — космический снимок Landsat ETM, 2002 г.

хоть. В настоящее время эта малая эрозионная форма находится на стадии формирования выработанного продольного профиля, реализуемой за счет периодического развития относительно крупных донных врезов. Основная черта развития водосбора в последние десятилетия — постепенное уменьшение выноса наносов в главную реку за счет увеличения доли перераспределения и аккумуляции на склонах в верховьях балочной системы. Это определяется сочетанием тенденции к саморазвитию овражно-балочной системы (переход к стадии формирования выработанного продольного профиля) и изменениями сельскохозяйственного землепользования (постепенное смещение нижних границ пашни вверх как реакция на активное развитие плоскостного смыва и линейной эрозии в наиболее крутых нижних прибрежных частях водосборных склонов).

Выводы:

— среднегодовая эрозия почв за послечернобыльский период (25 лет) на распаханых склонах водосбора “Святой источник” по данным радиоцезиевого метода достигает 20–30 т/га в год. Скорость аккумуляции в днище балки за этот же период по глубине залегания пика концентрации ^{137}Cs (1986) составляет в среднем 6–10 мм/год (70–120 т/га в год). Однако площадь зоны аккумуляции в верховьях балки весьма невелика, на большей части ее длины преобладает эрозия (регрессивный рост донных врезов) или транзит материала. Аккумуляцию наносов на склонах удалось обнаружить только почвенно-морфологическим методом в нижней части одной из двух исследованных трансект, ее среднегодовая интенсивность за весь период сельскохозяйственного освоения не превышает 2,5 т/га в год;

— по данным 13 аккумулятивных разрезов, в каждом из которых послыйный отбор проб выполнен

с интервалом 10 см, показано, что допущение о положении чернобыльского пика концентрации ^{137}Cs в середине или у нижней границы соответствующего образца не существенно влияет на оценку баланса наносов в масштабе всего водосбора. Это определяется в целом незначительной долей перераспределения материала в пределах водосбора “Святой источник” (21–23%), который служит активным поставщиком наносов и связанных с ними загрязняющих веществ в р. Плава (доля выносимых наносов составляет 77–79%);

— основная тенденция развития исследованного водосбора в последние десятилетия заключается в постепенном уменьшении выноса наносов в главную реку за счет увеличения доли внутрисклонового перераспределения и аккумуляции в верховьях балочной системы. Она определяется постепенным снижением интенсивности эрозионных процессов в овражно-балочной системе в результате достижения стадии выработанного продольного профиля, с одной стороны, и сокращением площади пашни с выведением из обработки наиболее сильноэродируемых крутых прибрежных участков водосборных склонов — с другой.

В будущем предполагается оценить баланс наносов и связанное с ним перераспределение радиоцезиевого загрязнения чернобыльского происхождения для всего бассейна р. Плава (площадь около 2000 км²) за 25–30-летний период, а также определить долю радиоактивного загрязнения, экспортируемую за его пределы в р. Упа, а также степень его влияния на загрязненность пойменных осадков ниже устья Плавы.

Авторы выражают искреннюю благодарность принимавшим участие в полевых работах, лабораторной подготовке и анализах образцов А.К. Алябьевой, В.Н. Голосову, Т.С. Дайковской, М.М. Иванову, Н.Н. Луговому, М.В. Маркелову, Т.А. Парамоновой, М.М. Петрику, А.М. Феоктистову, Е.Н. Шамшуриной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобровицкая Н.Н. Эмпирический метод расчета смыва со склонов // Сток наносов, его изучение и географическое распределение. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. С. 202–211.
2. Голосов В.Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС, 2006. 296 с.
3. Голосов В.Н., Маркелов М.В., Беляев В.Р., Жукова О.М. Проблемы определения пространственной неоднородности выпадений ^{137}Cs для оценки темпов эрозионно-аккумулятивных процессов // Метеорология и гидрология. 2008. № 4. С. 30–45.
4. Зорина Е.Ф. Овражная эрозия: закономерности и потенциал развития. М.: ГЕОС, 2003. 170 с.
5. Иванова Н.Н., Голосов В.Н., Маркелов М.В. Сопоставление методов оценки интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов на обрабатываемых склонах // Почвоведение. 2000. № 7. С. 898–906.
6. Ларионов Г.А. Эрозия и дефляция почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 200 с.
7. Ларионов Г.А., Литвин Л.Ф., Ажигиров А.А. Аккумулятивные (наносные) почвы как индикатор водной эрозии // География и природные ресурсы. 1990. № 3. С. 142–146.
8. Маркелов М.В. Современные эрозионно-аккумулятивные процессы в верхних звеньях гидрографической сети лесной и лесостепной зон. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. 198 с.
9. Belyaev V.R., Golosov V.N., Kuznetsova J.S., Markelov M.V. Quantitative assessment of effectiveness of soil conservation measures using a combination of ^{137}Cs radioactive tracer and conventional techniques // Catena. 2009. Vol. 79. P. 214–227.
10. Belyaev V., Shamshurina E., Markelov M. et al. Quantification of river basin sediment budget based on reconstruction of the post-Chernobyl particle-bound ^{137}Cs redistribution // Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment. IAHS Publ. Vol. 356. Wallingford, 2012. P. 394–403.
11. Evrard, O., Belyaev V., Chartin C. et al. Tracing the dispersion of sediment contaminated with radionuclides in catchments exposed to Chernobyl and Fukushima fallout // Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment. IAHS Publ. Vol. 356. Wallingford, 2012. P. 412–417.
12. Golosov V., Panin A., Markelov M. Chernobyl ^{137}Cs redistribution in the small basin of the Lokna river, Central Russia // Physics and Chemistry of the Earth. 1999. Vol. 24, N 10. P. 881–885.

13. *Panin A.V., Walling D.E., Golosov V.N.* The role of soil erosion and fluvial processes in the post-fallout redistribution of Chernobyl-derived caesium-137: a case study of the Lapki catchment, Central Russia // *Geomorphology*. 2001. Vol. 40. P. 185–204.

14. *Pimentel D., Harvey C., Resoduramo P.* et al. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits // *Science*. 1995. Vol. 267. P. 1117–1123.

15. *Pimentel D.* Soil erosion: a food and environmental threat // *Environment, Development and Sustainability*. 2006. Vol. 8. P. 119–137.

16. *Renard K., Foster G., Weesies G.* et al. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised

Universal Soil Loss Equation (RUSLE) // *USDA Agriculture Handbook*. 1997. Vol. 703. 384 p.

17. *Walling D.E., He Q.* Improved models for estimating soil erosion rates from cesium-137 measurements // *Environment. Quality*. 1999. N 28. P. 611–622.

18. *Wishmeier W.H., Smith D.D.* Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the rocky mountains // *ARS—USDA in Cooperation with Purdue University, Purdue Agric. Exp. Sta. Handbook*. 1965. Vol. 282. 15 p.

Поступила в редакцию
02.06.2014

D.A. Bezukhov, V.R. Belyayev, N.N. Ivanova

**QUANTITATIVE ASSESSMENT OF INTENSITY AND TRENDS OF EROSION
AND ACCUMULATION PROCESSES ON CULTIVATED SLOPES
WITHIN THE PLAVA RIVER BASIN (THE TULA OBLAST)**

The intensity of fluvial erosion and accumulation processes was evaluated for a small, mainly cultivated, catchment area within the Plava River basin (the Tula oblast, the Srednerusskaya Upland). Three independent approaches were applied to evaluate the material movement within the area: soil-morphological profiles, modified combination of USLE and GGI equation, radiocaesium method. Comparison of the results provided sufficient information for the calculation of sediment budget. The catchment under study has largely negative balance of sediments, i.e. about 80% of matter from the cultivated slopes is exported to the main river through the catchment outlet.

The analysis of topographic maps and space images for different dates allowed reconstructing the history of land use of the catchment under study, i.e. identifying the arable lands for five time periods. A tentative scheme of the catchment area functioning during the period of the most intensive agricultural development (after the 1861 land tenure reform) is suggested. It takes into account the trends of self-evolution of the balkas system and the dynamics of land use types boundaries.

Key words: erosion and accumulation processes, sediment redistribution, gully and balka system, radiocaesium method, sediment budget, land use changes, Srednerusskaya Upland.