

ВЛИЯНИЕ БАЛАНСА НАНОСОВ НА СОСТОЯНИЕ МАЛЫХ РЕК В БАССЕЙНАХ ВОЛГИ, ДОНА, ДНЕПРА И ДНЕСТРА

Эрозионно-аккумулятивные процессы на речном водосборе являются реализацией баланса наносов в геоморфологическом комплексе склон - ложбина - овраг - балка - терраса - пойма - русла рек разных порядков (отдельные элементы этого комплекса в конкретных условиях могут выпадать). На современном этапе развития эрозионно-аккумулятивных процессов на южном мегасклоне Русской равнины в условиях смены естественных ландшафтов сельскохозяйственными угодьями и урбанизированными территориями произошла кардинальная перестройка структуры баланса наносов в геоморфологическом эрозионно-аккумулятивном комплексе. Ранее относительно стабильные междуречные пространства и склоны подвержены ускоренной плоскостной, бороздчатой и линейной эрозии. В долинах балок, самых малых рек (категории рек выделены по Доманицкому и др., [6]) происходит интенсивная аккумуляция смытых со склонов наносов, в естественных условиях это была зона слабой эрозии. Аккумулятивные процессы охватили также русла средних и крупных рек, ранее в них происходил транзит наносов. Эта качественная характеристика соотношения эрозии и аккумуляции в бассейнах Волги, Дона, Днепра и Днестра в настоящее время требует количественного обоснования.

Распространенным методом оценки баланса наносов на речных водосборах является гидрологический метод. Он заключается в измерении объемов стока воды и наносов в закрепленных гидрометрических створах, размещенных на водосборах и руслах водотоков и последующих расчетов баланса.

Не менее распространенным методом является почвенно-геоморфологический. На основе изучения изменений структуры эродированных и намывных почв, объема эрозионных форм и коррелятивных им аккумулятивных образований, при условии синхронности событий может быть рассчитан баланс наносов.

В последнее время важным методом расчета баланса наносов в геоморфологических эрозионно-аккумулятивных комплексах становятся математические модели эрозионно-аккумулятивных процессов.

Для расчета баланса наносов на водосборах и в долинах рек южного

мегасклона Русской равнины использовалось сочетание всех перечисленных методов. Расчеты проводились на основе следующего уравнения баланса наносов:

$$W_{эс} - W_{ас} + W_{эл} + W_{эо} - W_{аб} - W_{асмр} - W_{амр} - W_{аср} - W_{акр} = W_{вкр}$$

Здесь W - объем наносов, индексы "э", "а", и "в" определяют эрозию, аккумуляцию и вынос, "с", "л", "о", "б", "смр", "мр", "ср", "кр" - склон, ложбину, овраг, балку, самую малую, малую, среднюю и крупную реку. Можно записать частные уравнения баланса наносов для различных звеньев геоморфологического эрозионно-аккумулятивного комплекса. Например, для склона

$$W_{эс} - W_{ас} = W_{вс}$$

или балки

$$W_{эс} - W_{ас} + W_{эл} + W_{эо} - W_{аб} = W_{вб}$$

Уравнения баланса могут быть записаны также с помощью коэффициента выноса.

$$W_{вкр} = K_{вкр} * W_{эс}$$

$$W_{вс} = K_{вс} * W_{эс}$$

$$W_{эо} = K_{эо} * W_{эс}$$

Величина коэффициента выноса равна отношению объема выноса наносов из замыкающего створа водосбора к объему смыва наносов на склонах этого водосбора. Из этого следует, что $K_{в}$ для водосбора долины или оврага обычно будет более 1.0. Для определения компонентов в уравнении баланса применялись следующие методы

Объем эрозии со склонов $W_{эс}$ определялся двумя методами

1. Почвенно-морфологический метод. Заключается в сопоставлении мощности верхних горизонтов эродированных почв на распаханых склонах с мощностью горизонтов несмытых почв этих же типов на склонах с естественной растительностью или на водоразделах по почвенно-геоморфологическим профилям. По этим данным сопоставляется почвенно-эрозионная карта, на которой выделяются ареалы почв разной степени смытости (или намытости) в количественных показателях. Степень смытости корректируется на величину почвообразования для данного типа почв за период сельскохозяйственного освоения. С помощью почвенно-эрозионной карты можно рассчитать объем смыва (аккумуляции) почв для любого контура.

2. Расчет смыва почв со склонов, который базируется на уравнении Уишмейера и Смита (1978) для смыва почв в период дождевых осадков и на формулах "Инструкции ..." [8] для смыва в период снеготаяния. Результатом расчета является карта, представляющая

пасных земель, на которой показана интенсивность (по градациям) смыва почв в т/га в год при современных климатических условиях и характере землепользования. Особенности применения этих методов при картографировании эрозии почв в разном масштабе рассмотрены Г. А. Ларионовым [10].

По карте эрозионноопасных земель можно рассчитать объем смыва почв со склонов для любого выделенного контура за последний период (10 - 15 лет). Для расчета величины смыва за более длительное время необходимо введение коэффициента перехода K_n , в котором учитывается изменение во времени площади пашни, характера распределения угодий по элементам рельефа, типа землепользования, климатических характеристик.

Изложенные методы оценки W_{3c} имеют достаточно высокую степень точности. Так, И. В. Якимова [13] исследовала смыв почв по изменению содержания в почве изотопа цезия-137. Этот метод можно считать эталонным. Коэффициент корреляции величины смыва, полученный почвенно-морфологическим, расчетным и радиоизотопным методом составил 0,8, что вполне удовлетворительно для столь многофакторного явления. Хорошее совпадение темпов эрозии, полученных расчетным и почвенно-морфометрическим, с одной стороны, и по объему заиления водозадерживающих прудков у вершины оврагов, с другой, показано также А. А. Ажигировым и др. [1].

Объем аккумуляции на склонах W_{ac} . В рамках настоящего исследования аккумуляция на склонах определяется качественно. Н. Н. Иванова [7] предлагает наносить на карту расчетного смыва рубежи стока (объекты, перед которыми происходит аккумуляция наносов). Это перегибы склона от выпуклого к вогнутому, лесополосы, дороги, водозадерживающие валы, границы пашни, удаленные от бровок эрозионных форм более чем на 100 м. По данным В. Н. Голосова [5] на таких рубежах задерживается 50 - 90 % смываемого со склонов материала. Методика определения W_{ac} требует дальнейшей разработки и апробации по данным полевых гидрометрических наблюдений за балансом наносов на склонах разной морфологии.

Объем эрозии в ложбинах $W_{3д}$ определяется почвенно-морфологическим методом. М. Э. Козловской установлена связь сокращения мощности гумусового горизонта ложбины почв с длиной продольного профиля днища и его уклоном (соответственно коэффициенты корреляции 0,86 и 0,75).

Объем овражной эрозии W_{03} устанавливается на основании типизации овражных форм (береговые, склоновые, донные) и определе-

ния характерных морфометрических параметров оврагов разных типов при полевых или картометрических исследованиях отдельных речных водосборов, так и для обширных регионов [12]. При этом важное значение имеет возраст овражных систем. Для небольших водосборов применим разработанный Л. А. Моряковой [12] почвенно-геоботанический метод определения возраста овражно-балочных систем. Для обширных территорий принимается гипотеза Б. Ф. Косова и др. [9] о том, что подавляющее большинство оврагов Европейской части СССР сформировались в период интенсивного сельскохозяйственного освоения территории.

Объем аккумуляции наносов в балках (W_{a6}) и самых малых рек ($W_{асмр}$) определяется путем бурения скважин в днищах балок и долин самых малых рек и определения мощности отложений, относящихся к периоду интенсивного сельскохозяйственного освоения территории. Последнее возможно либо на основании споро-пыльцевого анализа отложений и выявления нижней границы появления пыльцы культурных растений [3], или на основании изучения текстуры и окраски отложений, положения погребенных почв [1]. В случае отсутствия данных бурения возможно восстановление мощности отложений агрикультурного периода на основе сопоставления продольного профиля балки, самой малой реки, с выработанным продольным профилем [3]. Однако в отличие от прямого измерения объема отложений по данным бурения, которое осуществляется с ошибкой 5 %, косвенный расчетный метод дает ошибку в определении W_{a6} 100 - 300 %

Объемы аккумуляции на поймах и в руслах малых и средних рек и крупных рек $W_{амр}$, $W_{аср}$ и $W_{акр}$ могут быть определены на основании баланса стока наносов, измеряемого на гидрометрических постах Гидрометеослужбы СССР и обобщенного в справочниках "Ресурсы поверхностных вод СССР". Однако сеть постов Гидрометслужбы недостаточно развита, чтобы рассчитать объемы аккумуляции во всех реках, особенно малых. Поэтому более целесообразно установить коэффициенты выноса наносов K_v для гидрографических систем разных размеров.

С использованием описанных методов были определены компоненты уравнения баланса наносов для 6 ключевых водосборов самых малых и малых рек: ручья Язвица (бассейн р. Протва) - лесная зона; ручья Ведуга (бассейн р. Ведуга) - лесостепная зона; ручья Марков (бассейн р. Дон), реки Мал. Колышлей (бассейн р. Медведица),

серия балок в бассейне р. Калаус, р. Бол. Погромка (бассейн р. Бузулук) – степная зона [4]. Эти ключевые участки расположены в разных природных условиях, однако преобладают лесостепные и степные, с ливневыми осадками в теплое время года, черноземными почвами, полной распаханностью водосборов.

Осреднение этих данных для балочных водосборов в лесостепи и степи позволяет принять среднее значение коэффициента выноса с водосбора площадью $< 100 \text{ км}^2$ $K_{в6} = 0,5$. Для балочных водосборов лесной зоны этот коэффициент существенно больше, приближается к 1,0.

Коэффициенты выноса с водосборов рек разных размеров в бассейнах Днестра, Днепра, Дона и Волги получены по формулам типа. Величина смыва со склонов определялась по карте "Эрозионноопасные земли Европейской территории СССР" [2]. Величина выноса наносов в замыкающих створах принималась по данным измерений Гидрометслужбы. Значения $K_{в}$ для каждого крупного водосбора осреднялись по градациям площадей водосборов, соответствующих рекам разных размеров (табл. 1). При этом выявляется единая для всех рек обратная зависимость $K_{в}$ от площади водосбора (для площадей более 100 км^2)

$$K_{в} = aF^{-0.2}.$$

Коэффициент a определяется ландшафтными условиями водосбора, для водосборов Днепра и Волги $a = 0,25$, для Днестра и Дона $a = 0,75$.

Транзитность водосборов, несомненно, изменялась во времени, однако в рамках настоящего исследования $K_{в}$ принимается неизменным за последние 300 лет. Для крупных бассейнов рек систем Волги, Дона, Днепра и Днестра по карте "Эрозионноопасные земли Европейской части СССР" были рассчитаны объемы годового смыва наносов со склонов, а с помощью коэффициента $K_{п}$ они были приведены к периоду интенсивного землепользования (300 лет). По значениям коэффициентов выноса $K_{в}$ на разных участках гидросети (табл. 1) были рассчитаны объемы наносов, которые аккумулируются в руслах рек разных размеров (табл. 2). По данным А. П. Доманицкого и др. [6] и Р. А. Нежиховского [11] была проведена оценка общей площади русел и пойм этих рек, это позволило вычислить среднюю мощность слоя наносов, которые отложились на поймах и в руслах рек разных размеров за период интенсивного землепользования.

Расчеты показывают, что наиболее интенсивная аккумуляция наносов за последние 300 лет сосредоточена на поймах и в руслах самых малых рек длиной 10 – 25 км. Мощность отложений уменьшает-

ся с запада на восток, а также на север и на юг от центральной зоны максимальной аккумуляции. Эта зона охватывает бассейны Днестра и Ю. Буга (мощности отложений $h = 5,2 - 6,6$ м), нижнего Днепра, Десны и Оки ($h = 2,7 - 3,1$ м), Вятки и верхней Камы ($h = 1,9 - 2,7$ м). К северо-западу от этой зоны мощности аккумуляции

Таблица 1

Изменение среднего значения коэффициента выноса K_B

в зависимости от площади водосбора рек разных размеров

(σ - среднеквадратичное отклонение значений K_B , n - число бассейнов в градации площадей водосборов).

| Речная система | Диапазон площадей водосбора, км ² | | | | |
|----------------------|--|--------------|---------------|----------------|------------------|
| | 100 - 1000 | 1000 - 10000 | 10000 - 50000 | 50000 - 100000 | 100000 - 1000000 |
| Днестр, Южный Буг | | | | | |
| K_B | 0,16 | 0,14 | 0,10 | 0,01 | - |
| σ | 0,15 | 0,20 | 0,02 | 0,01 | - |
| n | 3 | 7 | 7 | 3 | - |
| Днепр | | | | | |
| K_B | 0,09 | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| σ | 0,05 | 0,17 | 0,03 | 0,01 | 0,01 |
| n | 3 | 31 | 27 | 4 | 2 |
| Дон | | | | | |
| K_B | 0,19 | 0,16 | 0,09 | 0,05 | 0,07 |
| σ | 0,15 | 0,17 | 0,09 | 0,02 | 0,01 |
| n | 9 | 51 | 23 | 4 | 5 |
| Волга | | | | | |
| K_B | 0,08 | 0,05 | 0,04 | - | 0,02 |
| σ | 0,07 | 0,07 | 0,05 | - | 0,02 |
| n | 33 | 92 | 28 | - | 7 |

уменьшаются до 1,1 - 2,4 м (верхние Днепр и Волга), к юго-востоку - до 0,5 - 2,3 м (Дон, средняя и нижняя Волга) - рисунок 1.

Существенно меньшие объемы аккумуляции (0,04 - 1,6 м) получены расчетом для пойм и русел малых рек длиной 25 - 50 км. Зона максимума аккумуляции здесь несколько сместилась к югу: это бассейны Днестра и Ю. Буга ($h = 1,2 - 1,6$ м), нижнего Днепра и Северского Донца ($h = 0,8$ м), верхнего Дона ($h = 0,4$ м), бассейн Вятки ($h = 0,2$). К северу мощности аккумуляции уменьшаются до 0,6 м (верхний Днепр), 0,2 м (Ока и верхняя Волга), а к югу и востоку - до 0,1 - 0,2 м (нижние Дон и Волга) и до 0,04 м (Белая). Качественно близкая картина распределения мощностей аккумуляции получена для пойм...

Здесь максимум аккумуляции ($h = 0,3 - 0,5$ м) приходится на бассейны нижнего Днепра и Северского Донца. В бассейнах Днестра, Ю. Буга, верхнего Днепра, Десны и Дона $h = 0,2$ м, а в бассейне Волги не превышает $0,1$ м.

Таблица 2

Распределение наносов, смытых со склонов за период интенсивного землепользования по долинам рек разных размеров (в числителе - объем наносов на пойме и в руслах рек, км³, в знаменателе - мощность слоя отложений, м)

| Бассейн реки | F | r | K _п | W | Длина реки, км | | | |
|--------------------------------|--------|-----|----------------|------|----------------|--------|--------|---------|
| | | | | | 10-25 | 26-50 | 51-100 | 101-200 |
| Днестр | 72100 | 800 | 0,60 | 10,1 | 2,60 | 0,50 | 0,10 | 0,20 |
| | | | | | 5,20 | 1,20 | 0,15 | 0,30 |
| Южный Буг | 68290 | 740 | 0,60 | 8,9 | 2,30 | 0,50 | 0,10 | 0,20 |
| | | | | | 6,60 | 1,60 | 0,20 | 0,20 |
| Днепр выше Припяти | 106000 | 210 | 0,80 | 5,2 | 1,70 | 0,40 | 0,15 | 0,10 |
| | | | | | 2,40 | 0,60 | 0,20 | 0,10 |
| Припять | 114300 | 210 | 0,70 | 5,6 | 1,80 | 0,40 | 0,15 | 0,10 |
| | | | | | 2,40 | 0,60 | 0,20 | 0,10 |
| Десна | 88900 | 190 | 0,75 | 3,7 | 1,20 | 0,30 | 0,09 | 0,07 |
| | | | | | 2,70 | 0,60 | 0,20 | 0,15 |
| Днепр ниже Десны | 154700 | 360 | 0,55 | 9,0 | 1,80 | 0,50 | 0,50 | 0,40 |
| | | | | | 2,90 | 0,75 | 0,50 | 0,35 |
| Дон выше Сев. Донца | 257000 | 130 | 0,55 | 5,3 | 1,05 | 0,30 | 0,25 | 0,20 |
| | | | | | 1,25 | 0,35 | 0,15 | 0,09 |
| Северский Донец | 96250 | 220 | 0,65 | 4,0 | 0,80 | 0,25 | 0,20 | 0,15 |
| | | | | | 2,30 | 0,8 | 0,3 | 0,2 |
| Нижний Дон | 53025 | 130 | 0,30 | 0,6 | 0,10 | 0,04 | 0,03 | 0,026 |
| | | | | | 0,60 | 0,15 | 0,05 | 0,03 |
| Волга выше Оки | 265200 | 120 | 0,9 | 8,4 | 3,20 | 0,20 | 0,15 | 0,10 |
| | | | | | 2,30 | 0,15 | 0,06 | 0,03 |
| Ока | 245000 | 180 | 0,85 | 11,0 | 4,20 | 0,25 | 0,15 | 0,15 |
| | | | | | 3,10 | 0,2 | 0,1 | 0,05 |
| Сура | 67500 | 240 | 0,65 | 3,1 | 1,15 | 0,07 | 0,045 | 0,035 |
| | | | | | 2,15 | 0,15 | 0,08 | 0,07 |
| Ветлуга | 39400 | 90 | 0,85 | 0,9 | 0,35 | 0,02 | 0,015 | 0,01 |
| | | | | | 1,10 | 0,07 | 0,04 | 0,035 |
| Вишера | 31200 | 40 | 0,40 | 0,2 | 0,075 | 0,0045 | 0,003 | 0,0025 |
| | | | | | 0,35 | 0,025 | 0,015 | 0,009 |
| Белая | 142000 | 90 | 0,35 | 1,3 | 0,50 | 0,03 | 0,02 | 0,015 |
| | | | | | 0,50 | 0,035 | 0,02 | 0,015 |
| Вятка | 129000 | 250 | 0,65 | 6,1 | 2,30 | 0,15 | 0,09 | 0,075 |
| | | | | | 2,70 | 0,20 | 0,10 | 0,07 |
| Кама без Вишеры, Белой и Вятки | 204800 | 280 | 0,40 | 6,7 | 2,55 | 0,15 | 0,10 | 0,08 |
| | | | | | 1,85 | 0,10 | 0,07 | 0,045 |
| Волга ниже Н. Новгорода | 224000 | 130 | 0,55 | 4,7 | 1,80 | 0,10 | 0,07 | 0,055 |
| | | | | | 1,65 | 0,09 | 0,045 | 0,035 |

(F - площадь водосбора, км², r - модуль стока наносов со склонов, т/км² год, K_п - коэффициент перехода, W - объем стока наносов со склонов за 300 лет, млрд т)

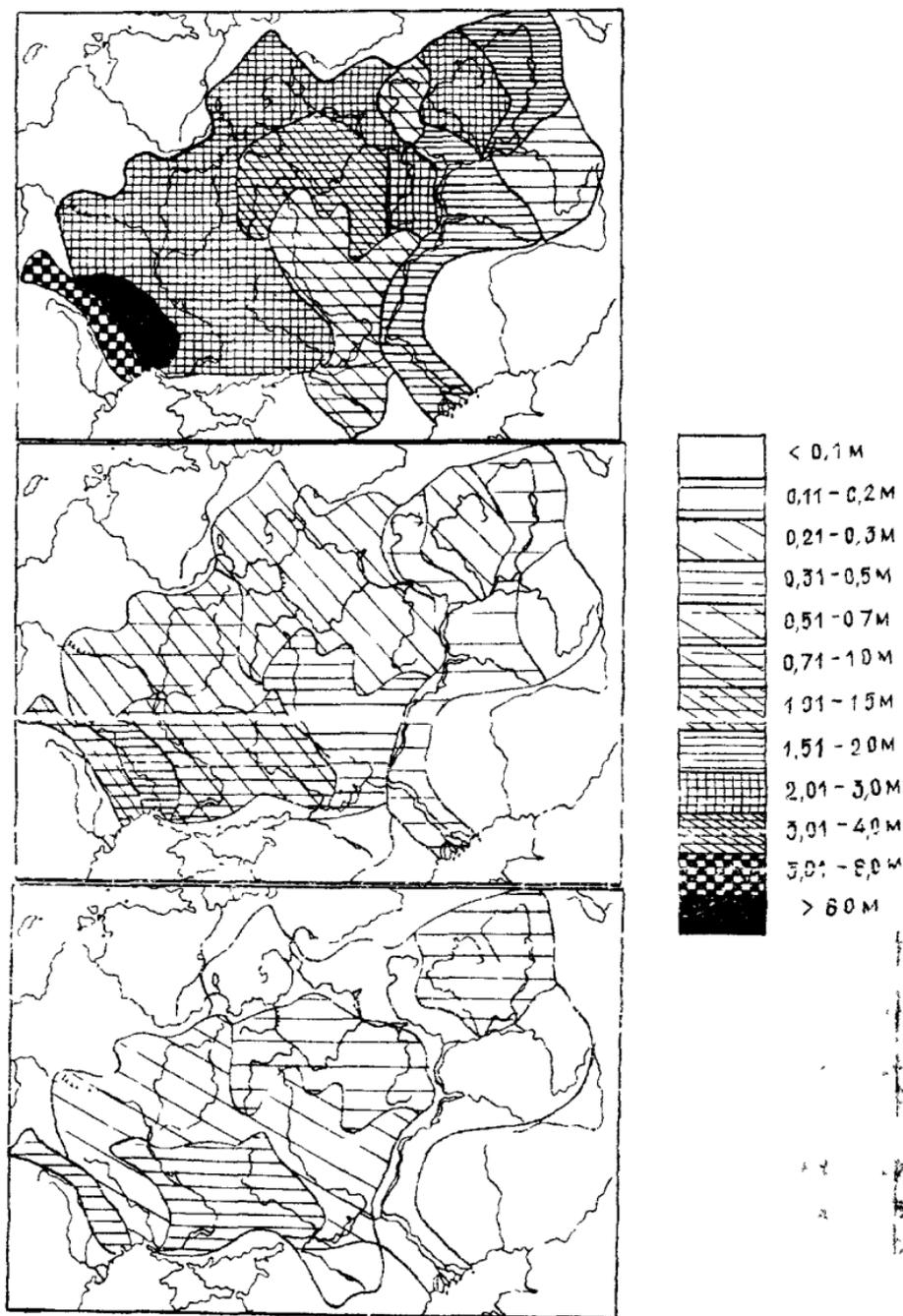


Рис. 1. Мощность отложений в руслах и на поймах малых рек в бассейнах Волги, Дона, Днепра, Южного Буга и Днестра за 300 лет интенсивного освоения территории (а - реки длиной 10 - 25 км; б - 25 - 50 км; в - 50 - 100 км)

Аккумуляция на поймах и в руслах средних и крупных рек обычно не превышает 0,1 м. Отдельные экстремальные значения (например, мощность аккумуляции 0,8 м в долинах рек длиной 300 - 500 км в бассейне Ю. Буга) требуют специального рассмотрения.

Приведенные значения мощностей аккумуляции наносов в долинах рек в период интенсивного землепользования представляют собой рассчитанные, осредненные по площади крупных речных бассейнов величины. Конкретные значения мощностей аккумуляции могут существенно варьировать. Однако, как показывают результаты бурения в долинах малых рек [3, 4], приведенные рассчитанные мощности близки по величине наблюдаемым в природе, и могут быть использованы при проектировании мероприятий, направленных на восстановление морфологии долин малых рек южного мегасклона Европейской территории СССР.

Литература

1. Ажигиров А. А., Голосов В. Н., Литвин Л. Ф. Эрозия на сельскохозяйственных землях и проблема защиты малых рек // Малые реки центра Русской равнины, их использование и охрана, М., 1988, С. 51 - 60.

2. Белоцерковский М. Ю., Ларионов Г. А. Карта "Эрозионная опасность сельскохозяйственных земель Европейской части СССР", Масштаб 1:2 000 000. М., 1987, 8 листов.

3. Веретенникова М. В., Зорина Е. Ф., Любимов Б. П., Полосухина А. М., Сидорчук А. Ю. Отмирание верхних частей гидросети на водосборе р. Ведуга (бассейн р. Дон) в период интенсивного сельскохозяйственного освоения // Малые реки центра Русской равнины, их использование и охрана. М., 1988, с. 32 - 40.

4. Веретенникова М. В., Добровольская Н. Г., Жук И. Е., Зорина Е. Д., Любимов Б. П., Сидорчук А. Ю., Чернов А. В. Баланс наносов в геоморфологическом эрозионном аккумулятивном комплексе на малом водосборе // Эрозионные процессы и окружающая среда. М., 1990, с. 54 - 65.

5. Голосов В. Н. Антропогенная эрозия почв в бассейне верхней Оки. Автореф. дисс... канд. геогр. наук. М., 1986, 24 с.

6. Доманицкий А. П., Дубровина Р. Г., Исаева А. И. Реки и озера Советского Союза. Л., Гидрометеиздат, 1971, 103 с.

7. Иванова Н. Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы на водос-

борах верхних звеньев гидрографической сети. Автореф дисс. канд геогр. наук, М., 1990, 20 с.

8 Инструкция по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противоэрозионных мероприятий на Европейской территории СССР Л., Гидрометеиздат, 1979, 61 с

9. Косов Б. Ф., Зорина Е. Д., Прохорова С. Д. История развития антропогенной овражной сети в центральной лесостепи Европейской части СССР в связи с ее хозяйственным освоением // Геоморфология, 1982, N 3, с 44 - 50.

10 Ларионов Г. А. Методика средне- и мелкомасштабного картографирования эрозионноопасных земель // Актуальные вопросы эрозиоведения М., Колос, 1984, 223 с

11 Нежиховский Р. А. Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды Л., Гидрометеиздат, 1971, 476 с

12 Свражная эрозия М., Изд-во МГУ, 1989, 167 с

13 Якимова И. В. Количественная оценка рельефа при картографировании эрозионных земель Автореф дисс. .. канд геогр наук М., 1988, 22 с