

УДК 630.26

Изучение эрозионных процессов на водосборах по топографическим картам (к 90-летию со дня рождения Н. П. Калиниченко)

С. А. Румянцева – Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, научный сотрудник, Пушкино, Московская обл., Российская Федерация

Статья посвящена одному из последних научных исследований доктора сельскохозяйственных наук, профессора Н. П. Калиниченко – изучению процессов водной эрозии почв по топографическим картам (на примере 5 гидрогеоморфологических бассейнов малых рек Ростовской обл.). В настоящее время этот метод является уже историей науки, но он лег в основу разработки современных имитационных моделей эрозионных процессов в различных ландшафтах на базе новых информационных технологий.

Ключевые слова: водосбор, балка, овраг, эрозия почв, топографическая карта

Для ссылок:

Румянцева, С. А. Изучение эрозионных процессов на водосборах по топографическим картам (к 90-летию со дня рождения Н. П. Калиниченко) [Электронный ресурс] / С. А. Румянцева // Лесхоз. информ. : электрон. сетевой журн. – 2016. – № 2. – С. 49–57. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>

В начале 1990-х гг. доктор сельскохозяйственных наук, профессор Николай Петрович Калиниченко работал над такой важнейшей проблемой в общей системе природоохранного комплекса, как защита малых рек от загрязнения, засорения и истощения. Результаты его научных исследований вошли в книгу «Защита малых рек» [1]. В книге рассмотрен комплекс почвозащитных и водоохраных мероприятий, направленных на борьбу с эрозией природного и антропогенного происхождения на водосборах малых рек равнинных территорий европейской части России.

Изучение интенсивности эрозионных процессов на водосборах заключается в определении их морфометрической структуры с целью создания средозащитных комплексов, в том числе защитных лесных насаждений. Это позволяет обеспечивать рациональное использование, повышение продуктивности угодий и плодородия почв, их защиту от эрозии, регулирование и рациональное использование водного стока, охрану рек и водоемов от истощения, заиления и загрязнения, формирование благоприятной экологической среды.

Ученые ВНИИЛМ под руководством Н. П. Калиниченко [1, 2] изучали состояние водосборов и балочных земель, нарушенных оврагами, на 5-ти гидрогеоморфологических бассейнах малых рек, сходных по экологическим и гидрогеоморфологическим условиям (водосборная площадь до 5 тыс. га).

Один из методов исследования эрозионных процессов – проведение камеральных работ по топографическим картам (масштаб 1:25 000). Это метод позволяет получать более полную информацию и изучать не только крупные (>500 га), но и малые (до 500 га) балочные водосборы.

По топографическим картам обследовано 63 ключевых участка на 39 малых реках Ростовской обл. с общей водосборной площадью 3 769,37 км² в 5-ти гидрогеоморфологических бассейнах малых рек – Калитвинском, Среднечирском, Аксайском, Манычском и Сальском.

На карте выделяли границы балочных (от самых высоких отметок по водораздельным лини-

ям) и межбалочных водосборов, намечали контуры овражно-балочных систем (площади гидрографического фонда со склонами выше 9° – земли, непригодные для землепользования).

Далее по топографическим картам осуществляли необходимые замеры и вычисляли следующие показатели водосборов:

- ✓ площадь водосборов и отдельных звеньев гидрографического фонда (балки, лощины, ложбины, лощины-суходолы, долины);
- ✓ глубину местного базиса эрозии – превышение самой высокой отметки водораздельной линии над самой низкой (дно прилегающего звена гидрографической сети);
- ✓ среднюю длину склонов – сумма 3-х замеров склонов в привершинной, средней и приустьевой части водосбора;
- ✓ горизонтальное проложение расстояния от вершины до устьевой части водосбора;
- ✓ протяженность лоцинно-балочного звена;
- ✓ относительный уклон – отношение глубины местного базиса эрозии к горизонтальному проложению.

Овраги подразделяли на склоновые, береговые и донные; устанавливали их количество, ширину (по грациям до 5 м, от 5 до 25 м, от 25 до 35 м и свыше 35 м), протяженность, площадь (произведение протяженности на средневзвешенную ширину). Кроме того, определяли площадь лесов на водосборе и в овражно-балочной системе.

По методикам [3, 4] и в соответствии с нормативными документами [5] проводили следующие измерения:

- ✓ длины прямых линий (длина склонов и береговых оврагов, ширина оврагов, горизонтальное проложение) с точностью $\pm 0,2$ мм с использованием поперечного масштаба и циркуля-измерителя;
- ✓ длины кривых линий (длина склонов, склоновых и донных оврагов, протяженность лоцинно-балочного звена) с точностью $\pm 0,5$ % с применением курвиметра;
- ✓ высот точек (глубину местного базиса эрозии) с точностью $\pm 1/4h$ методом интерполяции по горизонталям на карте;

✓ площади – с использованием планиметра.

При разработке мер борьбы с заиливанием рек необходимо учитывать не только перечисленные выше размеры водосборов (площадь, длина склонов, горизонтальное проложение, относительный уклон и др.), но и их форму. От формы водосборов зависит концентрация водных потоков и контурная организация полей, а следовательно, и возможность научно обоснованной организации почво- и водозащитных комплексов в бассейне малой реки. Балочные водосборы чаще всего имеют грушевидную форму с вариациями: булавовидная, округлая, вытянутая, обратнотреугольная, трапециевидная, треугольная.

В бассейнах малых рек наряду с балочными водосборами на территориях с расчлененным рельефом широко представлены межбалочные водосборы. На их долю приходится в среднем 20 % всей водосборной площади.

Межбалочные водосборы сосредоточены между соседними близкорасположенными крупными ответвлениями балок или крупными соседними лощинами. Они представлены склонами со стоками через коренные берега непосредственно в поймы и русла рек. Интенсивно выраженные эрозионные процессы отмечаются только на крутых коренных берегах, на которые приходится 18–24 % общей протяженности речных долин. Здесь часто встречаются обнажения материнских пород: выход известняков, мелов, мергелей, опоков. На пологих склонах надпойменных террас количество оврагов в 3–5 раз меньше, чем в балочных системах. Однако из-за

близкого расположения к поймам межбалочные водосборы представляют даже большую опасность для рек, чем балочные.

Аналогично балочным водосборам по топографическим картам определяли площадь, длину и ширину склонов, площадь и количество оврагов на межбалочных водосборах.

По данным обработки замеров вычисляли показатели, по которым оценивается эрозионная пораженность балочных систем и их водосборов:

- ✓ расчлененность овражной сетью ($\text{км}/\text{км}^2$) – отношение протяженности всех оврагов к площади овражно-балочных систем;
- ✓ овражность ($\text{га}/\text{км}^2$) – отношение площади оврагов к площади овражно-балочных систем;
- ✓ плотность оврагов ($\text{шт.}/\text{км}^2$) – отношение количества оврагов к площади овражно-балочных систем;
- ✓ напряженность оврагообразования ($\text{км}/\text{км}$) – отношение протяженности всех оврагов к протяженности лоцинно-балочного звена.

По соотношениям этих величин составляют шкалу степени пораженности балок оврагами.

Для Среднерусской возвышенности предлагается шкала оценки степени пораженности оврагами балочных систем, представленная в табл. 1 [1].

По шкале оценивают степень пораженности оврагами каждой балки и разрабатывают меры по предотвращению развития эрозии – от простейшего поверхностного залужения до сложных гидротехнических сооружений или применения всего противоэрозионного комплекса. В зависимости от гидрогеоморфологических районов эти показатели могут различаться.

Таблица 1. Шкала оценки степени пораженности балочных систем оврагами

Пораженность балок оврагами	Показатель			
	Расчлененность оврагами, $\text{км}/\text{км}^2$	Пораженность оврагами, $\text{га}/\text{км}^2$	Плотность оврагов, $\text{шт.}/\text{км}^2$	Напряженность оврагообразования, $\text{км}/\text{км}$
Очень слабая	$<0,15$	$<0,2$	<1	$<0,005$
Слабая	0,15-0,6	0,2-0,9	1-4	0,005-0,15
Средняя	0,6-2,2	0,9-3,5	4-17	0,15-0,55
Сильная	2,2-9,0	3,5-14,0	17-67	0,55-1,25
Очень сильная	$>9,0$	$>14,0$	>67	$>1,25$

На примере Ростовской обл., где насчитывается около 5 тыс. малых рек, можно наглядно проследить контрастность физико-географических условий, их влияние на гидрологический режим и общее состояние малых рек. Контрастность прослеживается по всем характеристикам: уклону и расчлененности местности, ширине местных базисов эрозии, количеству выпадающих осадков, испарению, распаханности и лесистости. Так, северные бассейны области (Калитвинский, Среднечирский) больше подвержены водной эрозии, а южные (Аксайский, Манычский, Сальский) – ветровой эрозии (дефляции) и засухе.

В процессе исследований составлена перечетная ведомость, в которой методом точкования обозначены абсолютные значения 4-х показателей эрозионной пораженности. После этого установлены средневзвешенные величины показателей, которые соответствуют средней степени пораженности балок оврагами.

Высшие и низшие значения от средней степени пораженности балок подразделяли на 2

группы с примерно одинаковым количеством балочных систем: очень слабая степень (незначительная величина эрозионной пораженности) и очень сильная (балочное звено почти полностью поражено овражной сетью).

Точность показателей можно повысить путем использования картографического материала, охватывающего значительную часть исследуемого района. На основе проведенных замеров по топографическим картам рассчитаны показатели пораженности (табл. 2).

На основании полученных показателей используем приведенную выше шкалу (см. табл. 1) и относим земли Калитвинского и Среднечирского бассейнов Ростовской обл. к землям с сильной степенью пораженности оврагами, Аксайского – средней, Сальского – слабой, Манычского – очень слабой.

Показатели среднего горизонтального проложения, длины, относительного уклона склонов и их связь с интенсивностью оврагообразования в рассмотренных гидрогеоморфологических бассейнах представлены в табл. 3.

Таблица 2. Показатели интенсивности поражения оврагами водосборов и балочных систем в 5-ти гидрогеоморфологических бассейнах Ростовской обл.

Гидрогеоморфологический бассейн	Водосборные площади				Овражно-балочные системы		
	Расчлененность лоцинно-балочным звеном, км/км ²	Расчлененность оврагами, км/км ²	Пораженность оврагами, га/км ²	Плотность оврагов, шт./км ²	Расчлененность оврагами, км/км ²	Пораженность оврагами, га/км ²	Плотность оврагов, шт./км ²
Калитвинский	0,58	0,30	0,45	1,57	2,98	4,53	15,88
Среднечирский	0,56	0,26	0,31	1,56	3,09	3,77	18,85
Аксайский	0,52	0,16	0,20	0,78	2,06	2,53	9,82
Манычский	0,37	0,006	0,004	0,05	0,11	0,08	0,05
Сальский	0,39	0,02	0,021	0,15	0,35	0,36	0,15

Таблица 3. Среднее горизонтальное проложение, длина и уклон склонов и их связь с интенсивностью оврагообразования

Гидрогеоморфологический бассейн	Среднее горизонтальное проложение, м	Средняя характеристика склонов			Показатель	
		Длина, м	Глубина местного базиса эрозии, м	Относительный уклон	Пораженности оврагами, га/км ²	Плотности оврагов, шт./км ²
Калитвинский	4553,5	681,8	90,8	0,020	4,53	15,88
Среднечирский	4507,7	696,3	75,7	0,017	3,77	18,85
Аксайский	3761,2	626,9	90,7	0,024	2,53	9,82
Манычский	5754,7	721,1	55,5	0,010	0,076	0,048
Сальский	6389,5	908,9	44,1	0,009	0,36	0,15

По мере продвижения от Калитвинского к Сальскому бассейну (относительно с севера на юг) рельеф становится более ровным – удлиняется водосбор, увеличивается длина склонов, уменьшается базис эрозии, стихает процесс оврагообразования (снижается коэффициент овражности и плотность оврагов). Так, например, такой характерный показатель рельефа местности, как глубина местного базиса эрозии, изменяется с 90,8 м в Калитвинском бассейне до 44,1 м в Сальском. Высокое значение этого показателя в Аксайском бассейне (90,7 м) обусловлено влиянием Донецкого кряжа и Таганрогского залива.

Остановимся на характеристике межбалочных водосборов в изучаемых бассейнах и их соотношении с балочными водосборами. обследо-

вано 1 335 балочных и 952 межбалочных водосборов (табл. 4). Средняя площадь межбалочных водосборов примерно в 2 раза меньше, чем балочных. Их доленое участие в общей водосборной площади в среднем составляет 23 %.

Параметры межбалочных водосборов в бассейнах обследованных рек Ростовской обл. представлены в табл. 5.

По форме межбалочные водосборы распределяются следующим образом: равномерно треугольные – 61,7 %, вытянутые вдоль коренного берега – 18,7 %; треугольные со смещенной вершиной – 12,3 %, трапециевидные – 7,3 %.

По площади межбалочные водосборы различных форм распределяются в обратном порядке: наибольшая площадь у межбалочных водосборов вытянутой формы и трапециевидной, на-

Таблица 4. Соотношения площадей межбалочных и балочных водосборов

Гидрогеоморфологический бассейн	Площадь водосборов, км ²				Доля межбалочных водосборов в общей площади, %
	Балочных		Межбалочных		
	Общая	Средняя	Общая	Средняя	
Калитвинский	7 330,39	8,83	1 957,49	3,34	21,1
Среднечирский	2 369,89	9,05	814,94	4,45	25,6
Аксайский	540,64	6,36	231,25	3,61	30,0
Маньчский	1 066,79	12,40	307,80	4,81	22,4
Сальский	1134,07	15,75	457,89	8,33	28,8

Таблица 5. Параметры межбалочных водосборов в обследованных бассейнах (числитель – общее, знаменатель – среднее)

Гидрогео-морфологический бассейн	Межбалочные водосборы				Овраги		
	Общее количество, шт.	Площадь, м ²	Длина, м	Средняя ширина, м	Количество, шт.	Площадь, га	Доленое участие в площади, %
Калитвинский	586	$\frac{1\,957,49}{3,34}$	$\frac{1\,150\,040}{1962,5}$	1 702	$\frac{3\,798}{6,48}$	$\frac{938,59}{0,25}$	0,50
Среднечирский	183	$\frac{814,94}{4,45}$	$\frac{366\,470}{2002,6}$	2 231	$\frac{1\,185}{6,48}$	$\frac{180,55}{0,15}$	0,22
Аксайский	64	$\frac{231,25}{3,61}$	$\frac{130\,650}{2041}$	1 770	$\frac{318}{4,97}$	$\frac{53,01}{0,17}$	0,23
Маньчский	64	$\frac{307,8}{4,81}$	$\frac{181\,050}{2828,9}$	1 700	$\frac{73}{1,14}$	$\frac{3,83}{0,11}$	0,012
Сальский	55	$\frac{457,89}{8,33}$	$\frac{157\,125}{1856,8}$	4 486	$\frac{42}{0,76}$	$\frac{8,94}{0,21}$	0,02

Примечание. Обследованы водосборы рек: Камышная, Лозовая, Калитва, Яблонная, Ольховая, Большая, Нагольная, Березовая, Вербовка, Гнилая, Быстрая, Кагальник, Кумшак, Аюта, Кадамовка, Тузлов, Б. Несветай, Джурак-Сал, Маньч, Мокрая, Кугульта, Юла, Средняя Юла, Мечетка, Куберле, Большая Куберле, Большой Гашун, Малый Гашун, Малая Савдя, левобережье Дона.

именная – у равномерно треугольной и со смещенной вершиной.

Наименьшее количество межбалочных водосборов (55 шт.) и наиболее крупные из них (8,33 км²) отмечаются в засушливом Сальском бассейне.

Доля оврагов в площади водосборов в среднем составляет 0,32 %. В Калитвинском, Средне-чирском, Аксайском бассейнах наибольшее количество оврагов в сильной степени подвержены водной и водно-ветровой эрозии – от 6 до 4 оврагов на один межбалочный водосбор.

Согласно классификации А. С. Козменко [6], межбалочные водосборы можно отнести ко второй группе водосборов по степени опасности заиливания рек, которая определяется близостью подхода русла реки к коренному берегу, площадью водосбора и интенсивностью проявления на них эрозионных процессов.

С учетом интенсивности развития эрозионных процессов, крутизны склонов и состояния почвенного покрова на определенных участках проектируют мероприятия по лугомелиорации и лесомелиорации. Под защитные лесные насаждения отводят сильноосмытые и размываемые берега крутизной свыше 20°, овраги, короткие межовражные выступы. На участках крутизной 12–20° со средними почвами по согласованию с землепользователями проектируется выращивание плодово-ягодных кустарников улучшенной селекции. В среднем под защитные лесные насаждения отводят 35–40 % земель.

В соответствии с состоянием балочных земель устанавливают параметры системы защитных лесных насаждений:

- ✓ ширину;
- ✓ тип посадки – древесно-кустарниковый, древесно-теневой, в зависимости от профиля;
- ✓ схему посадки;
- ✓ состав древесных и кустарниковых пород – главные, сопутствующие, кустарники;
- ✓ тип вспашки – в зависимости от засушливости почвы района и крутизны склонов;
- ✓ долевое участие защитных лесных насаждений различных видов (стокорегулирующие, приовражные, прибалочные, приречные, ложбинные, лощинные, овражные, балочные, ис-

токовые и насаждения на коренных берегах речных долин);

- ✓ долевое участие наиболее целесообразных угодий (луговых, лесных, пахотных).

Разработанная в конце XX в. учеными ВНИИЛМ (под руководством Н. П. Калиниченко) методика оценки эрозионной пораженности земель по топографическим картам легла в основу развития имитационных моделей эрозионных процессов в различных ландшафтах на основе современных информационных технологий.

Установленные на базе экспериментальных данных особенности развития эрозионных процессов в зависимости от типов грунтов, гидрологических особенностей территорий, рельефа местности, климата и по настоящее время актуальны для верификации моделей эрозии, разработка которых переместилась в спектр геоинформационных методов. Использование современных технологий позволило повысить точность прогнозов и существенно ускорить процесс получения конечных результатов. Несмотря на большое разнообразие этих технологий, заложенные на протяжении XX в. принципы обработки и анализа информации, как и ранее, базируются на особенностях природно-территориальных комплексов, специфика которых содержится в современных математических моделях взаимодействия природных факторов.

Основное значение в построении оценочных прогнозов по развитию эрозионных процессов почвы имеют современные цифровые модели рельефа, зонирование исследуемой территории по видам почв, четвертичных отложений, межсезонные особенности гидрологического режима территории, специфика выпадения осадков. Точность учета взаимодействия этих факторов в математических моделях позволяет осуществить их реализацию для решения конкретных задач. При этом точность прогнозов природных процессов, к которым относятся и различные виды эрозии почв, зависит от используемых источников информации, степени верификации динамики эрозионных процессов по данным спутниковой съемки Земли и результатам мониторинга за определенный промежуток времени.

Результаты научных исследований XX в., накопленные на протяжении длительного времени, стали базой современных методов анализа информации о взаимосвязях в лесных экосистемах.

Именно на этих знаниях основывается настоящее и будущее понимание научным сообществом взаимосвязей природы и роли человека в этой единой системе.

Список использованной литературы

1. Калиниченко, Н. П. Лесомелиорация овражно-балочных систем / Н. П. Калиниченко, В. В. Ильинский – М. : Лесн. пром-сть, 1976. – 200 с.
2. Калиниченко, Н. П. Защита малых рек / Н. П. Калиниченко. – Пушкино : ВНИИЛМ, 1992. – 354 с.
3. Сысоев, К. А. Основы геодезии и картографии / К. А. Сысоев. – М. : Недра, 1974. – 144 с.
4. Загребев, В. В. Основы геодезии, типографического черчения и лесной таксации / В. В. Загребев, А. В. Вагин, Б. Л. Брук. – М. : Высшая школа, 1982. – 285 с.
5. ОСТ 56-109-99 Работы геодезические. Таксация и лесоустройство. Лесохозяйственное производство. Нормы точности. Методы выполнения измерений. Приказ Рослесхоза от 22.09.1999 № 186.
6. Козменко, А. С. Основы противозерозивной лесомелиорации / А. С. Козменко. – М : Агропромиздат, 1986. – 280 с.

References

1. Kalinichenko, N. P. Lesomeliioracziya ovrazhno-balochnyx sistem / N. P. Kalinichenko, V. V. Il'inskij – М. : Lesn. prom-st', 1976. – 200 s.
2. Kalinichenko, N. P. Zashhita malyx rek / N. P. Kalinichenko. – Pushkino : VNIILM, 1992. – 354 s.
3. Sysoev, K. A. Osnovy geodezii i kartografii / K. A. Sysoev. – М. : Nedra, 1974. – 144 s.
4. Zagreev, V. V. Osnovy geodezii, tipograficheskogo chercheniya i lesnoj taksaczii / V. V. Zagreev, A. V. Vagin, B. L. Bruk. – М. : Vysshaya shkola, 1982. – 285 s.
5. OST 56-109-99 Raboty geodezicheskie. Taksacziya i lesoustrojstvo. Lesoxozyajstvennoe proizvodstvo. Normy tochnosti. Metody vypolneniya izmerenij. Prikaz Roslesxozha ot 22.09.1999 № 186.
6. Kozmenko, A. S. Osnovy protiverozionnoj lesomeliioraczii / A. S. Kozmenko. – М : Agropromizdat, 1986. – 280 s.

Study of erosion processes in watersheds by topographical maps (For 90 Years Anniversary of N. Kalinichenko)

S. Rumjantseva – Russian research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Researcher, Pushkino, Moscow region, Russian Federation

Key words: watersheds, gullies, ravines, soil erosion, topographical maps.

Erosion control and protections of rivers is a crucial task of environment recovery.

Especially bad situation shaped in gully systems and river valley sides within river water protection zones. Erosion results in river contamination, drain and silting.

Erosion process intensity studies ongoing in watersheds focus on identification of its morphometric structure for further building of environmental facilities including protective forest stands that will enable rational use and growth of cropland productivity, soil fertility and its protection against erosion, regulation and rational use local runoff water, protection of rivers and water bodies against drain, silting and contamination and development of favourable environment.

One of erosion process study procedures – office study by topographical maps. It is based on identification of erosion impacts on gully systems and its watersheds by the following 4 parameters: gully network roughness, gully rate, gully density, gully intensity. These parameters ratio sets a scale of ravine gully damage rate.

Erosion process development intensity, slope steepness and soil cover condition determines ratio of areas for grassland amelioration and forest amelioration. Forest amelioration operation design defines parameters of protective forest plantations, width and type of planting – tree-shrub, tree-shady depending on profile, planting pattern, tree and shrub species composition – main, associated, shrubs, ploughing type depending on the area soil dryness slope steepness, share of various protective forest plantations (runoff regulating, gully side, ravine side, river-side, gully, ravine, river source and river valley side stands), share of the most favourable land (grasslands, forest lands, croplands) spacing.