

## МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.435.162

© 2012 г. **Е.Ф.ЗОРИНА**, **И.И. НИКОЛЬСКАЯ**, **С.Д. ПРОХОРОВА**, **Т.С. ДАЙКОВСКАЯ****ВЕРОЯТНОСТЬ И РИСК ОБРАЗОВАНИЯ ОВРАГОВ<sup>1</sup>**

Среди комплекса природно-антропогенно-техногенных факторов природные выделяются как основа для анализа сущности процесса овражной эрозии. Основные из них (площади склоновых водосборов, уклоны, скорости потоков ливневых и талых вод, осадки теплового и холодного времени года, тип подстилающей поверхности и др.) обеспечивают процесс оврагообразования. От них во многом зависят потенциально возможные длина, объем, ширина, глубина и площадь оврагов. Для оценки развития овражной эрозии на склоновых водосборах крупных эрозионных форм (малые реки и балки) необходимо проанализировать оврагоопасность каждого водосбора путем применения расчетной методики определения предельных параметров.

Вероятность начала и последующего развития оврага на склоне обусловлена комплексом природных и антропогенных факторов, воздействие последних можно оценить как во времени, так и в пространстве только вероятно. При составлении в 1990-х годах в НИ лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева карт потенциала овражной эрозии исходили из предположения, что на всех водосборах, где могут по природным предпосылкам образоваться овраги, они образуются со 100% вероятностью (по количеству, длине, площади, объему). Это был прогноз опасности развития овражного процесса. Вместе с тем, картографический анализ распространения склоновых водосборов речной и балочной сети показал, что лишь 15% протяженности склонов поражены оврагами в настоящее время. Из оставшихся 85% не менее половины (до 50%) имеют оврагоопасные водосборы, на которых оврагов до настоящего времени нет, и вероятность их образования за годы, прошедшие фактически со времени начала сельскохозяйственного освоения юга Нечерноземья (территория, где анализировалось распространение оврагов), составляет 30%. Она включает площади разной степени эрозионной опасности. Рассмотрение вероятности образования оврагов на всех склоновых водосборах может создать представление как о малой современной реализации процесса, так и значительном потенциале территории по оврагообразованию.

Для более детального изучения вероятности оврагообразования рассматривались склоновые водосборы долин рек и балок юга Нечерноземья – наиболее заовраженной части Русской равнины, имеющей особо благоприятные для развития эрозии природные характеристики (глубина базиса эрозии, крутые склоны, большие площади водосборов). В бассейнах рек Оки и Дона по картам м-ба 1:25000 было рассмотрено около 100 произвольно выбранных долинно-балочных систем. По их берегам выделено около 1000 склоновых водосборов. Для каждого из них измерены длина, глубина базиса

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-05-00385).

эрозии, ширина и площадь. Такие же показатели получены для развивающихся на них оврагов. Используя полученные данные и природные характеристики территории, рассчитан потенциал оврагообразования, представляющий собой предельно возможную по природным предпосылкам длину оврага, образованного на водосборе склона балки или реки. При этом условия антропогенного вмешательства приняты одинаковыми – нарушен почвенный, естественный дерновый и растительный покров. Потенциал оврагообразования может определяться как для отдельного склонового водосбора, так и для бассейна балки, реки или целого региона. Для расчета потенциальной длины оврага использованы плановые характеристики склонового водосбора, глубина базиса эрозии, размывающие скорости, фильтрационные характеристики почвогрунтов, тип обработки и состояние полевых угодий. Длина оврага на заключительной стадии развития  $l_{ном}$  определялась по зависимости [1]:

$$l_{ном} = 0.3 \frac{H_0 Q^{0.67}}{V_p^{2.7} n^2 A^{0.67}}, \quad (1)$$

где  $H_0$  – глубина базиса эрозии, м;  $Q$  – расход жидкого стока, м<sup>3</sup>/с;  $V_p$  – размывающая скорость, м/с; величина  $A$  – соотношение между шириной и глубиной потока, приближающееся на завершающей стадии развития к 10;  $n$  – коэффициент шероховатости, равный 0.25.

Расход воды с водосборного бассейна расчетного процента вероятности превышения вычисляется в соответствии с Инструкцией ГГИ [2]. Для определения расхода в качестве исходных параметров взяты площадь водосбора и модуль стока. Последний является функцией гидроморфометрической характеристики склонов, определяющей условия добегания поверхностного стока. Для определения гидроморфометрических характеристик предложены следующие расчетные зависимости: слой стока – 100 мм; коэффициент стока при площади водосбора менее 0.1 км<sup>2</sup> – 0.67, при большей площади водосбора – 0.62, размывающая скорость – 1.7 м/с.

Анализ полученных значений потенциальных длин оврагов позволяет разделить выделенные водосборы на два типа, различающихся между собой современным развитием овражной эрозии и ее потенциальными характеристиками.

1. Склоновые водосборы безопасные с точки зрения возможности образования на них оврагов. В тех случаях, когда расчетная длина оврага не достигает 70–80 м, водосбор может считаться неоврагообразующим ( $N_1$ ). В условиях малых глубин базисов эрозии, коротких, прямых и вогнутых склонов оврагообразующих водосборов может быть крайне мало или они вовсе отсутствуют.

2. Склоновые водосборы оврагообразующие ( $N_2$ ). К ним относятся водосборы, на которых расчетная предельная длина оврагов превосходит 70–80 м. Среди них можно выделить три подтипа: а) водосборы ( $N_3$ ), на которых развивающиеся современные овраги, достигли прогнозной длины; б) водосборы ( $N_4$ ), на которых современные овраги в настоящее время не достигли своей предельной длины и находятся на разных стадиях развития; в) водосборы ( $N_5$ ) в настоящее время не имеющие овражных форм ( $N_2 = N_3 + N_4 + N_5$ ). Водосборы, не представляющие эрозионной опасности (неоврагообразующие), в дальнейшем не рассматриваются. Они могут использоваться под пашню, постройки, дорожное строительство. На остальных склоновых водосборах при определенных условиях землепользования могут развиваться овраги, в процессе своего роста достигая предельных по природным условиям размеров.

Полученные расчетные данные о количестве водосборов разных типов позволяют определить вероятность оврагообразования, т. е. появления оврага на склоне, как частное от деления количества оврагов на склоновых водосборах на количество оврагообразующих водосборов:

$$P_N = \frac{N_3 + N_4}{N_2} 100, \%. \quad (2)$$

## Вероятность образования оврагов на склоновых водосборах

Наименование балки (юг Нечерноземной зоны)	Количество водосборов (бассейн р. Дон), ед			Протяженность, м		Вероятность (P)	
	общее	оврагообр.	с соврем. оврагами	потенц. длина оврагов	соврем. длина	оврагообразования	достижения предельной длины
Миронов Верх	8	7	4	1100	350	0.6	0.3
Старый лог	11	10	8	1625	925	0.8	0.6
Мармыжи	10	10	7	1720	900	0.7	0.5
Б. Крутая	15	15	10	3735	2355	0.7	0.6
Б. Верх (Новосиль)	22	22	9	6570	1445	0.4	0.2
Замарашин Верх	11	8	8	1310	1075	1.0	0.8
Вязоватая	21	21	15	6383	3150	0.7	0.5
Любовша	12	12	11	4155	2490	0.9	0.6
Суходол	9	9	9	2920	2700	1	0.9
Крутой Верх	11	11	7	3020	975	0.64	0.3

Сравнение расчетной потенциальной длины овражной сети и ее современных размеров дает возможность определить вероятность развития оврагов до размеров предельной длины, а также риск ежегодного увеличения длины овражных форм и соответственно потерь площади. Вероятность достижения оврагом предельной длины ( $P_l$ ) определяется как частное от деления суммарной длины современных оврагов ( $l_{ов}$ ) на водосборах ( $N_3+N_4$ ) на суммарную предельную длину ( $l_{ном}$ ) всех оврагов на водосборах ( $N_3+N_4+N_5$ ):

$$P_l = \frac{l_{ов3} + l_{ов4}}{l_{ном3} + l_{ном4} + l_{ном5}} \cdot 100, \% \quad (3)$$

Для каждого отдельно взятого водосборного бассейна также была определена доля реализации по количеству оврагов (частное от деления количества современных оврагов на количество расчетных) и доля реализации по длине (соотношение суммарной длины современных оврагов к суммарной длине потенциальных). Разность между потенциальными и современными длинами оврагов определяет возможный прирост длины овражной сети.

Как правило, вероятность начала оврагообразования (по количеству появившихся оврагов) превосходит вероятность достижения овражными формами предельных размеров. В таблице 1 приводятся примеры расчетов вероятности оврагообразования на склоновых водосборах и вероятности достижения к настоящему времени овражными формами предельной длины по ряду балок юга Нечерноземья. Полученные значения “вероятности” процесса целесообразно учитывать при анализе разработанных карт потенциала овражной эрозии, корректируя по ним получаемые с карт значения.

Вероятность образования оврага в единицу времени может быть названа “риском”, для определения которого нами был принят отрезок времени равный году. Особенность расчета “риска” разрушения земельных угодий овражной эрозией заключается в закономерном изменении во времени интенсивности процесса как для каждой конкретной эрозионной формы, так и в целом для региона. При этом надо учитывать “вероятностный” характер начала образования оврага, обусловленный антропогенным вмешательством в процесс формирования стока на водосборе и последующим развитием возникшей эрозионной формы по естественным законам. В простейшем виде зависимость для определения риска потерь

протяженности склонового водосбора в результате развития эрозионного процесса может быть представлена как:

$$R = \frac{l_{\text{ов}}}{l_{\text{ном}} T} l_{\text{ск}}. \quad (4)$$

где  $l_{\text{ов}}$  – современная длина оврага на склоне;  $l_{\text{ном}}$  – предельная длина, до которой может развиваться овраг в конкретных природных условиях. Она получается расчетным путем (1), исходя из комплекса природных характеристик;  $T$  – время роста оврага до современной длины (годы);  $l_{\text{ск}}$  – длина отрезка склона, на котором по прогнозу может развиваться овраг, достигая предельной длины ( $l_{\text{ном}}$ ), т. е. возможный прирост длины  $l_{\text{ск}} = l_{\text{ном}} - l_{\text{ов}}$ . Зависимость была бы справедлива, если бы условия развития оврага на протяжении его роста были одинаковы и можно было говорить о ежегодной доле потерь протяженности склона. Однако, картина естественного процесса роста склонового оврага намного сложнее. Доля потерь ( $l_{\text{ов}}/l_{\text{ном}}$ ), отнесенная к общему периоду развития ( $T$ ), не дает представления ни о фактических скоростях развития оврага в прошлом, ни о том как он будет развиваться в последующем. Известна крайняя неравномерность скорости продвижения вершины оврага, что обусловлено не столько природными условиями, сколько саморазвитием, позволяющем проследить закономерное снижение скорости линейного роста оврага на всем протяжении его активной “жизни” [3]. Переменным является и второй множитель ( $l_{\text{ск}}$ ), стремящийся к нулю по мере приближения длины оврага к потенциально возможной.

Для определения возможных ежегодных потерь земельных ресурсов был выработан расчетный алгоритм динамики роста оврагов, применяемый как для расчетов по конкретному оврагу, так и для анализа состояния овражности на водосборе более крупной эрозионной формы. Алгоритм может быть трансформирован как “репрезентативный” для территории. Полученные на основании картографических и расчетных оценок данные о предполагаемом состоянии оврагов могут, в свою очередь, быть весьма противоречивы. Значительное количество овражных водосборов поражено эрозионным процессом, при котором современные овраги не достигают предельной длины. Поэтому нет достаточных оснований утверждать, что рост оврагов даже с малыми линейными скоростями продолжается в настоящее время. Развитие могло прекратиться из-за действующих противоэрозионных сооружений, уменьшения стока в результате экстремальных маловодных лет, прекращения ежегодной распашки и концентрации и сброса воды по бороздам, залужения водосбора и т. п. Следовательно, не всегда логично считать такие водосборы оврагоопасными, особенно с точки зрения перспективы линейного роста. Признаки развития могут быть выявлены только при натурных исследованиях. С другой стороны, сам факт возможности незначительного линейного роста может свидетельствовать о перспективе (при благоприятных условиях) начала нового цикла развития.

Все расчеты потенциальных габаритов овражных форм на балочных и речных водосборах выполняются в определенной последовательности, начиная с анализа возможности развития оврагов на склоновых водосборах и кончая прогнозом скоростей их роста и общего времени оврагообразования. Для определения “риска” потерь земельных ресурсов от овражной эрозии целесообразно исходить из факта неравномерности динамики оврага на всем протяжении существования его. При этом должны учитываться особенности процесса саморазвития. Риск потерь земельных ресурсов соответствует показателю скорости роста длины, площади, объема. Величина риска зависит от изменения природных параметров и интенсивности антропогенной нагрузки, влияющих на активность процесса. Для расчета показателей риска поражения овражными формами оврагоопасных территорий использованы крупномасштабные картографические материалы. Расчет риска выполнялся на склоновых водосборах  $N_3$ , где длина современных оврагов достигла своей предельной длины, и на склоновых водосборах  $N_4$ , где современные овраги не достигли своих предельных величин.

## Риск оврагообразования: скорость м/год

Наименование балки	Предельная длина оврагов, м	Продолжительность формирования, годы	Время формирования, годы														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	60–100
Татны	455	233	27	24	22	19	16	13	10	7	4	2	1.3	1	0.5	0.3	<0.1
Талый Верх	100	100	15	14	12	10	9	7	5.5	4	2	1	0.7	0.6	0.3	0.15	<0.1
Черемховая	200	600	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.25	0.2	0.1	0.05	<0.1
Черемховая	300	200	23	20	18	15.5	13	11	8.5	6.0	3.5	2	1.1	0.8	0.5	0.2	<0.1
Черемховая	250	235	16.1	14.4	12.7	11	9.3	7.6	6	4.2	2.5	1.3	0.8	0.6	0.36	0.16	<0.1
Безымянная	500	255	30.5	27.2	24	21	17.5	14.5	11.2	8	5	3	1.5	1.1	0.7	0.3	<0.1
Старый Лог	300	360	12.7	11.3	10	8.6	7.3	6	4.6	3.3	2	1	0.6	0.46	0.3	0.12	<0.1
Зарецкая	275	500	7.5	6.8	6	5	4.4	3.6	2.8	2	1.2	0.6	0.37	0.28	0.17	0.05	<0.1

По крупномасштабным топографическим картам определяются морфометрические характеристики склоновых водосборных бассейнов, отнесенных к типу “оврагообразующих”. Исходя из расчетной предельной длины оврагов, глубины базиса водосборных бассейнов, длины водосборов и типичной формы продольного профиля водосборов определяется объем потенциально возможной овражной формы ( $W_{\text{макс}}$ ) на склоне по зависимости:

$$W_{\text{макс}} = 0.18h_{\text{ср}}^2 l_{\text{ном}} \quad (5)$$

Время полного формирования оврага – это период, в течение которого овраг из растущей формы с крутым откосом, отвесными стенками и размываемым днищем трансформируется в устойчивую во времени и по длине эрозионную форму с “выработанным” продольным профилем и бортами, расположенными к днищу под углом “естественного откоса”, определяется по формуле:

$$T = \frac{W_{\text{макс}}}{kW_0 S}, \text{ годы}, \quad (6)$$

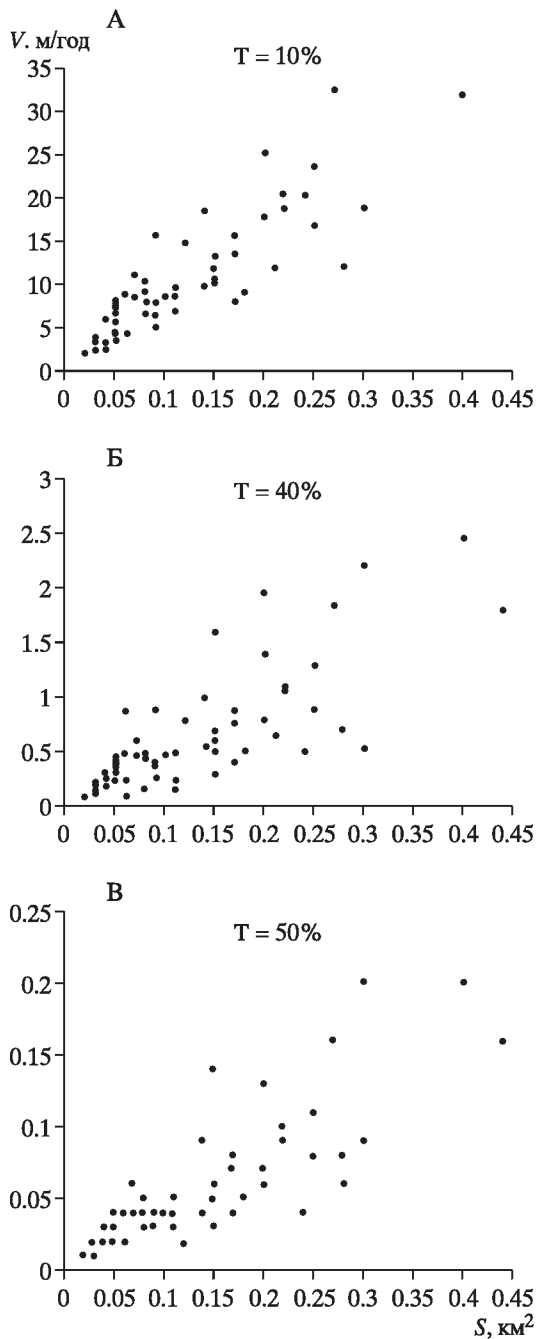
где  $W_0$  – объем стока, м<sup>3</sup>, определяемый в соответствии с инструкцией, разработанной в ГГИ;  $S$  – мутность (доля в общем объеме стока в наиболее активный период развития),  $k$  – коэффициент, равный 0.25. Полученные значения времени развития оврагов колебались в диапазоне от 20 до 800 лет с преобладанием времени развития оврагов в пределах 400 лет.

Риск развития является функцией изменения во времени интенсивности количественных характеристик процесса овражной эрозии. На основании экспериментальных данных, натуральных наблюдений и расчетного анализа получена аналитическая зависимость между временем развития оврага и его длиной, т. е. изменение длины во времени, позволяющая проследить особенности динамики оврага на разных временных стадиях развития. Стадия до 10% общего времени – овраг вырастает на 80% предельной длины; на стадии от 10 до 50% общего времени (40% общего времени) овраг вырастает на 18%, т.е. достигает 98% общей длины; последние 50% времени овраг практически не удлиняется (2% длины за 50% времени) [3]. В таблице 2 приведены данные анализа риска оврагообразования некоторых овражно-балочных систем.

Для оврагов, достигших возможных предельных размеров длины, были рассчитаны

скорости их роста на период 10, 40 и 50% общего времени развития. На графиках (рис. 1А–В) представлены изменения скоростей роста длины оврагов при разных площадях водосбора на три временных периода развития. Коэффициент корреляции равен 0.77. Четко прослеживается тенденция повышения скоростей линейного роста с увеличением площадей водосборов, а также их уменьшение по мере развития оврага. Наибольшие скорости отмечаются в первые 10% общего времени развития, достигая 50 м/год, а к 50% времени в основном не превышают 0.05 м/год. Прослеживается основная закономерность развития оврага – наличие восходящей и нисходящей кривой его роста во времени. Активизация роста соответствует периоду формирования вреза на склоне, образованию русла, концентрирующего сток с водосборной площади. Экстремум функции изменения скорости развития во времени соответствует времени, когда вершина оврага прорезает бровку склона и выходит на плакорную часть водосбора. По мере продвижения вершины отмечается уменьшение скорости и размывающей способности потока, а, следовательно, снижение темпов роста оврага.

В пределах балочного водосбора или водосбора малой реки, находящихся в определенных природно-климатических условиях, может развиваться лишь определенное количество оврагов, достигающих максимально возможной длины, ширины, площади, объема. Это количество рассчитывается со 100% вероятностью того, что образование оврагов может состояться только на оврагоопасных склоновых водосборах, на которых расчетные размеры оврагов варьируют от минимальных до максимальных величин, с различными скоростями роста. Водосборы с развитыми на них линейными формами могут рассматриваться или как реализованный в прошлом потенциал оврагообразования или как водосбор специфической формы, на котором в зависимости от особенностей морфометрии разовьется или нет следующий цикл линейной эрозии. Сопоставление потенциальной овражности с современным распространением оврагов в регионах может показать



Изменение скоростей роста оврага при разных площадях водосбора на 10% (А), 40% (Б) и 50% (В) общего времени его развития

степень развития современной сети по отношению к потенциально возможной, выявить территории с практическим затуханием процесса или обозначить территории, где усиление антропогенной нагрузки может активизировать появление новых и развитие существующих оврагов в настоящее время не представляющих опасность. Представляется возможным выявление зоны не проявляющейся эрозии, на которой наиболее целесообразно возведение инженерных сооружений, прокладка дорог и коммуникаций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зорина Е.Ф. Овражная эрозия: закономерности и потенциал развития. М.: ГЕОС, 2003. 169 с.
2. Инструкция по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противозерозионных мероприятий на Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 62 с.
3. География овражной эрозии М.: Изд-во МГУ, 2006. 324 с.

Московский государственный университет  
Географический факультет

Поступила в редакцию  
01.02.2011

#### PROBABILITY AND "RISK" OF GULLIES FORMATION

**E.F. ZORINA**, I.I. NIKOL'SKAYA, S.D. PROKHOROVA, T.S. DAIKOVSKAYA

#### Summary

An assessment of gully erosion hazard on slope catch basins of small rivers and balkas was fulfilled using the method of extreme parameters calculation. Potential gullies length was calculated what helped to divide slope catch basins into "gully-generating" and "gully-non-generating". The degree of number- and length-realizations was evaluated for each gully-generating catch basins as well as the possible increment of gully network length. An approach to assessment of "risk" was suggested. The probability of gully rise was calculated using morphometric characteristics of slope catch basins obtained from topographical maps.

УДК 551.4.012 → 556.535.6

© 2012 г. **О.П. ЕРМОЛАЕВ, К.А. МАЛЬЦЕВ, В.В. МОЗЖЕРИН, В.И. МОЗЖЕРИН**

#### ГЛОБАЛЬНАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА "СТОК ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ В РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ ЗЕМЛИ"<sup>1</sup>

Развитие геоморфологии в последние десятилетия идет по пути все более усиливающихся разработок динамической направленности [1–3]. Морфологическая парадигма постепенно сменяется динамической, что объективно отражает более глубокое проникновение в физическую и химическую сущность и механизмы рельефообразования, в факторы и законы, управляющие перемещением вещества. Только создание единой динамической концепции морфогенеза способно объединить многочисленные достаточно разнородные и во многом изолированные теоретические обобщения современной геоморфологии, содействовать разработке общей модели рельефообразования, сопоставимой с аналогичными теориями классической геоморфологии, и расширить области практического приложения геоморфологических исследований.

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 11-05-00489 и 11-05-00605) и ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы" (проект № 8470; П347).