

ДИНАМИКА ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 631.6.02

ФАКТОРЫ СКЛОНОВОГО ВЕСЕННЕГО СТОКА НА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛЕСОСТЕПИ

А.Т. Барабанов¹, А.И. Петелько²

¹ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, лаборатория защиты почв от эрозии, заведующий, д-р с.-х. наук; e-mail: a.baranov2011@yandex.ru

² Новосильская зональная агролесомелиоративная опытная станция имени А.С. Козменко, филиал ФНЦ агроэкологии РАН, гл. науч. сотр., д-р с.-х. наук; e-mail: zaglos@mail.ru

Обобщены и проанализированы результаты многолетних исследований нескольких поколений ученых на Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции имени А.С. Козменко, филиале ФНЦ агроэкологии РАН, инициатором которых был профессор Г.П. Сурмач. Ставилась задача: дать оценку характера формирования весеннего склонового стока и показать роль природных факторов и сельскохозяйственной деятельности. Методической основой исследований был метод стоковых площадок. В результате длительного (64 года) изучения выявлен ряд важных зависимостей и особенностей формирования стока в разные по природно-климатическим условиям годы, оценено влияние на него природных факторов и сельскохозяйственной деятельности (структура посевных площадей, агрофоны, обработка почвы и др.). Научные материалы по элементам весеннего водного баланса дают представление об их закономерностях. Установлено, что из большого количества природных факторов существенное влияние на склоновый весенний сток оказывают только три: глубина промерзания почвы, снеготопысы и влажность верхнего (до 30 см) слоя почвы. Остальные факторы почти не влияют на величину стока и их можно не учитывать при его расчете. Установлены лимитирующие уровни этих трех факторов, при которых сток не образуется. За 64 исследуемых года сток отсутствовал 33 года, в другие годы он колебался от 1 до 146 мм. Из антропогенных факторов сильное влияние оказывает обработка почвы и состояние агрофонов. Показано стокорегулирующее значение зяблевой обработки почвы и стокообразующая роль многолетних трав и озимых культур. В среднем сток с уплотненной пашни по сравнению с рыхлой зябью был больше на 10 мм, в отдельные годы эта разница была значительно больше. Полученные результаты исследования необходимы для проектирования противозерозионной адаптивно-ландшафтной системы земледелия.

Ключевые слова: поверхностный сток, зябь, глубина промерзания почвы, запасы воды в снеге, влажность почвы, элементы водного баланса

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.2

ВВЕДЕНИЕ

Водная эрозия является мощным фактором деградации почв и опустынивания земель. Происходит смыв и размыв почвогрунтов, особенно на пахотных землях. В России водной и ветровой эрозии подвержено 63% сельскохозяйственных земель. В Центральном Нечерноземье распространена водная эрозия. Больше всего сельскохозяйственных земель подвержено ей в Тульской, Орловской и Калужской областях [Кочетов, 1999]. Для защиты почвы от эрозии необходимо знать закономерности формирования стока и эрозионных процессов в условиях антропогенной деятельности. Многолетние научные исследования позволили получить большой экспериментальный материал [Грин,

1969; Гаршинев, 2002; Барабанов, 2017; Барабанов и др., 2004, 2006, 2018; Кулик и др., 2014; Кузнецов и др., 2008; Sharratt et al., 2000; Pimentel, Burgess, 2013; Starkloff, 2017]. Цель нашей научной работы заключалась в оценке характера формирования весеннего склонового стока за многолетний период и влияния на него природных факторов (глубины промерзания, влажности почвы, запасов воды в снеге) и сельскохозяйственной деятельности (зяблевой обработки почвы, посева многолетних трав, озимых культур и др.). Они дополняют и углубляют полученный ранее материал.

Исследование склонового стока на Новосильской опытной станции дает возможность перевести проектирование противозерозионных мероприятий

на расчетную основу. С помощью исследования водного баланса на стоковых площадках нами за многолетний период наблюдений получены данные о формировании весеннего склонового стока. Следует отметить, что за последние десятилетия величина его резко сократилась в связи с тем, что почва в эти годы промерзала на небольшую глубину (до 50 см), а местами она была талая из-за формирования снежного покрова до наступления больших морозов. Многолетние исследования дают возможность правильно проанализировать водный баланс в весенний период на различных угодьях и разработать систему мероприятий. На Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции имени А.С. Козменко разработан противоэрозионный комплекс, включающий организацию территории, лесомелиоративные, агротехнические, лугомелиоративные мероприятия и гидротехнические сооружения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые опыты проводились на Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции (филиал ФНЦ агроэкологии РАН), расположенной в Орловской области. Характерной особенностью геологического строения местности является залегание рыхлых песчано-глинистых грунтов поверх твердых осадочных пород (девонские известняки, мергели). Четвертичные отложения представлены покровными лессовидными карбонатными желто-бурыми и палевыми суглинками и глинами различной мощности. В геоморфологическом отношении территория относится к Среднерусской возвышенности. Территория опытной станции расчленена густой сетью лощин и суходолов, приводораздельные части склонов пологие (0–3°), присетевые имеют крутизну 3–5°. Выраженная расчлененность и значительные уклоны в сочетании с рыхлыми покровными породами создают предпосылки для интенсивных эрозионных процессов [Кулик и др., 2018]. Почвенный покров представлен преимущественно серыми лесными почвами и оподзоленными черноземами средне- и тяжело-суглинистыми, имеющими непрочную пылеватую структуру. Они обладают низкой впитывающей способностью, особенно в мерзлом состоянии. Исследования проводились на серых лесных почвах, на пахотных склонах крутизной 1–3°. Размещались они в основном на одном склоне на разных полях с различными агрофонами – рыхлая и уплотненная пашня. Методической основой исследований был водно-балансовый метод. Ежегодно (1959–2022) закладывали стоковые площадки размером 20 × 100 м, на которых изучали характер снегоотложения, замерзания и оттаивания почвы, определяли

глубину ее промерзания, влажность, снегозапасы, сток талых вод. Высоту снега измеряли перед весенним снеготаянием на стоковых площадках по двум профилям через 4 м в 3–5-кратной повторности. Промерзание почвы определяли по кристалликам льда путем бурения почвы. При определении влажности почвы применяли термостатно-весовой метод. Замеры стока на водосливах с углом выреза 45° осуществляли через каждый час. Исследования проводились по методике, разработанной во ВНИАЛМИ (ныне ФНЦ агроэкологии РАН), с использованием методик ГГИ и Института географии РАН [Сурмач, 1967; Грин, 1969; Гаршинев, 2002].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поверхностный сток снеговых вод на Новосильской опытно-овражной станции (ныне Новосильская ЗАГЛОС) изучали с 1923 до 1941 г. С началом Великой Отечественной войны научные исследования на станции были прекращены. Они возобновились по инициативе Г.П. Сурмача в 1959 г. На станции были начаты исследования влияния сельскохозяйственной деятельности на сток талых вод. Были организованы исследования формирования стока на разных видах пашни (зябь, озимые, стерня) и угодий (лес, луг), которые продолжаются по настоящее время [Барабанов и др., 2004; Петелько, 2012; Барабанов, 2017].

Проведенные научные исследования на стоковых площадках позволили получить многолетний экспериментальный материал, позволяющий сделать важные теоретические и практические выводы. Полевые наблюдения в многофакторных опытах показали [Сурмач, 1976], что серые лесные почвы обладают большей впитывающей способностью, чем дерново-подзолистые, и меньшей, чем черноземы. Смытые почвы отличаются от несмытых большей объемной массой, повышенной плотностью и пониженной водопроницаемостью. В рыхлом состоянии почвы обладают лучшей инфильтрационной способностью по сравнению с уплотненным. На впитывание воды в почву оказывают сильное влияние только три природных фактора [Барабанов, 2017], которые обуславливают образование весеннего склонового стока. Впитывание талой воды в мерзлую почву зависит от порозности почвы, глубины ее промерзания и образования ледяного экрана. Дана оценка роли сельскохозяйственной деятельности в формировании стока. Насыщение влагой верхнего мерзлого слоя почв происходит менее интенсивно на уплотненной пашне, нередко с образованием поверхностной ледяной корки. На рыхлосложенном агрофоне (зяблевая вспашка) и нераспыленной почве, даже при высокой ее льдистости значительная

часть пространства остается открытой, что определяет довольно интенсивное впитывание талых вод и уменьшение стока.

Разработку эффективных мер борьбы с эрозией почв необходимо осуществлять на основе знания закономерности формирования стока талых вод. Эрозионно-гидрологический процесс очень сложный и многофакторный. Многие исследователи при оценке характера формирования стока применяют разное количество факторов – от одного [Шеппель, 1990; Алексеевский и др., 2013] до десятка [Мухин, 2014; Варенцова и др., 2020; Кумани и др., 2021]. По данным [Барабанов, 2017; Петелько, 2012; Комиссаров, Габбасова, 2014] формирование стока существенно зависит только от трех природных факторов: глубины промерзания почвы, запасов влаги в ее верхнем слое (0–30 см) и запасов воды в снеге перед снеготаянием. Природные и антропогенные факторы влияют на формирование стока во взаимодействии [Гаршинев, 2002; Барабанов, 2017; Петелько, 2012; Комиссаров, Габбасова, 2014; Танасиенко и др., 2018]. Наиболее близко к реальной оценке роли взаимодействия талой воды с мерзлой почвой подошли Е.А. Гаршинев [2002] и И.Л. Калужный, С.А. Лавров [2017]. Е.А. Гаршинев обстоятельно и глубоко изучил процесс взаимодействия талой воды и мерзлой почвы. Он сформулировал и обосновал концепцию «ледяного экрана», который формируется на границе оттаявшего сверху и мерзлого снизу слоев почвы. И.Л. Калужный и С.А. Лавров разработали концепцию формирования в мерзлой почве водонепроницаемого (запирающего) слоя. Эти концепции сыграли важную роль в понимании процесса впитывания талой воды в мерзлую почву.

Для прогнозирования стока необходимо уточнение его связи с природными факторами. На станции

регулярно осуществляются соответствующие исследования. Установлено, что если почва накануне весеннего снеготаяния промерзла не глубже 50 см, то сток не образуется независимо от уровня других факторов. При большей глубине промерзания сток формируется и не зависит от ее увеличения. В этом случае на него влияют снегозапасы и увлажнение почвы в слое 0–30 см [Барабанов, 2017].

За длительный период исследований (1959–2022) складывались различные метеорологические условия. Одна зима была совсем бесснежной (1969), но были зимы многоснежные (снегозапасы 80–140 мм) и очень многоснежные (146–186 мм). Глубина промерзания колебалась от 0 до 182 см, чаще она была меньше 50 см (38 лет), свыше 50 см почва промерзала 21 год и пять лет она была талая. Запасы влаги в верхнем слое почвы (0–50 см) колебались от 123 до 248 мм, чаще увлажнение почвы было на высоком уровне [Барабанов, 2017].

Обобщенные данные, характеризующие сток и снегозапасы на Новосильской ЗАГЛОС за 64 года, приведены в табл. 1. Исследования проводили несколько поколений ученых: Г.П. Сурмач, В.Н. Дьяков, В.Л. Сухов, Л.Я. Королева, Е.А. Гаршинев, А.Т. Барабанов, Н.Е. Петелько, А.И. Петелько, В.П. Борец, Е.Я. Тубольцев, А.В. Выпова и др. Эти данные показывают, что сток на зяби не формировался 34 года из 64 лет, а на уплотненной – 22 года из 58 лет. В остальные годы величина его колебалась на рыхлой пашне от 2 до 146 мм, на уплотненной – от 3 до 186 мм. При этом очень большой сток (свыше 100 мм) сформировался на рыхлой пашне только два года (1959 и 1967), а на уплотненной – 3 года (1959, 1960, 1967). Средние показатели стока составили на рыхлой пашне 20 мм, на уплотненной – 30 мм.

Таблица 1

Обобщенные показатели снегозапасов и весеннего склонового стока

Годы	Сток, мм	Запасы талой воды, мм	Коэффициент стока	Сток, мм	Запасы талой воды, мм	Коэффициент стока
	Рыхлая пашня (зябрь)			Уплотненная пашня (многолетние травы, озимые)		
1	2	3	4	5	6	7
1959	108	146	0,74	106	135	0,78
1960	81	136	0,60	117	150	0,78
1961	7	32	0,22	12	22	0,54
1962	13	22	0,59	21	23	0,91
1963	61	116	0,53	71	115	0,62
1964	58	121	0,48	91	113	0,80
1965	51	70	0,73	46	60	0,77
1966	4	77	0,05	3	105	0,03

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
1967	146	186	0,78	186	186	1,00
1968	0	169	0	26	145	0,18
1969	24	66	0,36	51	80	0,64
1970	83	192	0,43	94	221	0,42
1971	79	129	0,61	39	81	0,48
1972	15	56	0,27	15	56	0,27
1973	29	62	0,47	31	53	0,59
1974	29	50	0,58	44	49	0,89
1975	0	86	0	0	89	0
1976	0	137	0	3	160	0,02
1977	12	138	0,09	20	149	0,41
1978	0	91	0	20	177	0,11
1979	37	128	0,29	45	135	0,33
1980	29	135	0,21	42	153	0,27
1981	0	162	0	15	132	0,11
1982	2	100	0,02	5	100	0,05
1983	2	97	0,02	27	91	0,29
1984	12	41	0,29	18	67	0,27
1985	0	128	0	2	119	0,02
1986	33	77	0,43	36	175	0,48
1987	27	149	0,18	40	160	0,25
1988	21	118	0,18	42	123	0,34
1989	0	55	0	0	52	0
1990	23	44	0,51	25	49	0,51
1991	34	84	0,40	52	89	0,58
1992	0	88	0	0	85	0
1993	17	42	0,40	14	45	0,31
1994	40	139	0,29	50	142	0,35
1995	0	114	0	4	118	0,03
1996	29	81	0,36	26	89	0,29
1997	1	56	0,02	26	71	0,37
1998	0	48	0	—	—	—
1999	0	144	0	—	—	—
2000	0	57	0	—	—	—
2001	0	81	0	—	—	—
2002	0	58	0	—	—	—
2003	46	96	0,48	71	152	0,47
2004	0	86	0	0	97	0
2005	0	115	0	0	115	0
2006	0	137	0	0	111	0
2007	0	79	0	0	62	0
2008	0	76	0	0	83	0
2009	0	97	0	0	102	0
2010	0	106	0	0	100	0

1	2	3	4	5	6	7
2011	0	122	0	0	107	0
2012	0	86	0	0	78	0
2013	0	122	0	0	144	0
2014	0	26	0	0	25	0
2015	0	43	0	0	42	0
2016	0	53	0	0	65	0
2017	0	80	0	(0)	(80)	0
2018*	0 (8)	84 (22)	0 (0,36)	–	–	–
2019	0	107	0	(0)	(107)	0
2020	0	34	0	(0)	(34)	0
2021	(0)	(63)	0	0	63	0
2022	0	91	0	(0)	(0)	(0)
Средние	20	96	0,21	30	103	0,29

Примечания. *В 2018 г. снеготаяние закончилось, вся снеговая вода просочилась в почву и сток не сформировался, а затем прошли дожди, и сформировался дождевой сток 8 мм.

В скобках указаны восстановленные показатели на основе связи стока с рыхлой и уплотненной пашней по уравнению $y = a + bx$, где x – сток с рыхлой пашни, мм; y – сток с уплотненной пашни, мм.

Динамика весеннего стока на рыхлой и уплотненной пашне приведена на графике (рис. 1), из которого видно, что склоновый сток очень сильно колебался по годам (от 0 до 186 мм на уплотненной пашне и от 0 до 146 мм на рыхлой) и наблюдается тренд его снижения от 1959 к 2022 г., особенно в последние годы. За 16-летний период (с 1959 по 1974 г.) сток отсутствовал только один год, а максимальная величина его в другие годы достигала 146 мм на зяби и 186 мм на уплотненной пашне; за 23-летний период (с 1975 по 1997 г.) стока не было семь лет, а максимальная величина была соответственно 40 и 50 мм. И за 25-летний период (с 1998 по 2022 г.) он отсутствовал 24 года, а максимальная величина была 46 и 71 мм. Это нельзя идентифицировать с глобальным изменением климата и связывать с периодичностью складывающихся условий формирования стока. Каждый год он формируется при разном сочетании гидрометеорологических условий и сельскохозяйственной деятельности. Отсутствие стока связано со слабым промерзанием почвогрунта или его отсутствием, а также с небольшим увлажнением почвы. Это, в свою очередь, связано с соотношением сроков наступления морозов и установления снежного покрова. Если снежный покров формируется на талой или слабо промерзшей (до 50 см) почве, то сток не формируется. Если снег выпадает на глубоко промерзшую (более 50 см) и сильно увлажненную (более 120 мм) почву, то сток всегда формируется и зависит от снеготаяния и степени увлажнения почвы [Барабанов, 2017].

Значение снеготаяния в создании условий для формирования стока оценивается неоднозначно. Часто объем стока увязывают со снеготаянием, т. е. больше снега, больше сток. Однако прямой зависимости величины стока от снеготаяния нет (см. табл. 1). Например, на зяби (рыхлая пашня) в 1959 г. сток был 108 мм при снеготаянии 146 мм, в 1967 г. 146 мм при таянии 186 мм, а в 1968 и 1981 гг. при очень больших снеготаяниях (162 и 169 мм) стока совсем не было. Из 25 лет с таянием снега свыше 100 мм 11 лет сток не сформировался, а в остальные годы он был средний и очень большой. При снеготаянии меньше 100 мм, варьирующих от 22 до 97 мм, сток отсутствовал 13 лет из 32, три года он был незначительный, а в остальные годы величина его была на среднем уровне. Так, при таянии 70 и 96 мм сформировался сток соответственно 51 и 46 мм, а при таянии 86 и 91 мм его совсем не было. На многолетних травах (уплотненная пашня) в 1959 г. сформировался очень большой сток (106 мм) при таянии 135 мм, а в 1979 г. при таких же таяниях 150 мм величина стока составила 117 мм, а в 2005, 2006, 2009 гг. при таянии 102–115 мм, сток вообще не сформировался. При таянии 91 и 97 мм стока не было, а при таянии 49 мм сток был 44 мм. Корреляционный анализ всего массива данных показал, что зависимость весеннего склонового стока от таяния воды в снегу перед снеготаянием полностью

отсутствует (коэффициент корреляции на рыхлой и уплотненной пашне 0,13 и 0,43). Однако это не значит, что сток формируется вне зависимости от снегозапасов. В среднем величина стока в зимы с большими снегозапасами была в 2,5–3 раза больше, чем с малыми. На рыхлой пашне она была соответственно 30 и 11 мм, а на уплотненной – 45 и 20 мм, т. е. от снегозапасов сток зависит в значительной степени, но в зависимости от промерзания и влажности почвы. Роль снегозапасов надо рассматривать дифференцированно в зависимости от гидрометеорологических условий, которые формируют уровни факторов стока. Гидрометеорологические условия в разные годы складываются по-разному, и роль каждого фактора проявляется также по-разному. Если глубина промерзания небольшая, то от снегозапасов и влажности почвы сток не зависит, а если она большая, то активную роль играют влагозапасы в почве, а снегозапасы пассивную. При этом в почву

просочится столько снеговой воды, сколько свободных пор в верхнем слое, объем которых зависит от степени увлажнения почвы. Излишки талой воды пойдут на сток. При большой глубине промерзания почвы и высокой степени увлажнения, когда все поры заняты водой, в почве образуется ледяной экран, и вся снеговая вода идет на сток.

Многолетние ряды наблюдений позволили рассчитать теоретические и эмпирические кривые вероятности превышения склонового стока (рис. 2) и определить их показатели (табл. 2). На рыхлой пашне сток 10%-й обеспеченности составляет 58 мм, 70%-й обеспеченности – 0 мм, а на уплотненной пашне эти показатели были соответственно 77 и 4 мм. В результате многолетних исследований определены показатели весеннего поверхностного стока на рыхлой и уплотненной пашне, необходимые для разработки системы автоматизированного проектирования противозерозионных комплексов.

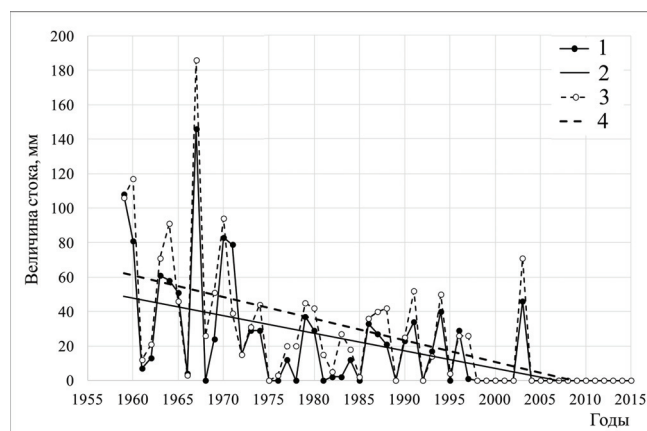


Рис. 1. Динамика весеннего поверхностного стока талых вод с рыхлой (1, 2) и уплотненной (3, 4) пашни

Fig. 1. Dynamics of spring surface runoff of snowmelt water from loose (1, 2) and compacted (3, 4) arable land

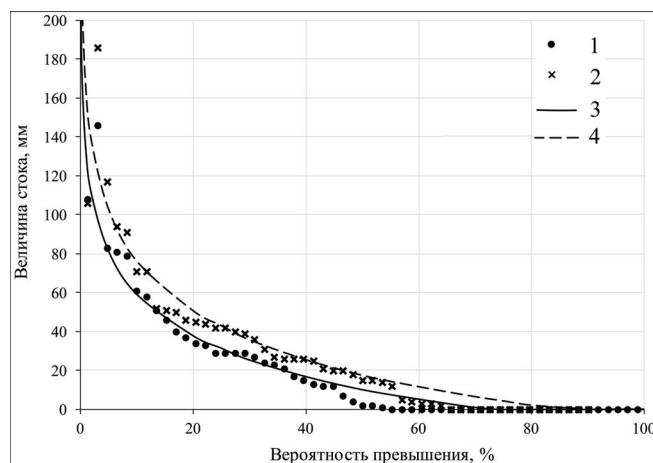


Рис. 2. Кривые вероятности превышения весеннего склонового стока: эмпирические (1 – рыхлая; 2 – уплотненная пашня); теоретические (3 – рыхлая; 4 – уплотненная пашня)

Fig. 2. Probability curves of the excess of slope spring runoff: empirical (1 – loose; 2 – compacted arable land); theoretical (3 – loose; 4 – compacted arable land)

Показатели стока талых вод разной вероятности превышения

Вид пашни	Средние	Вероятность превышения, %							C_v	C_s
		1	5	10	50	70	80	90		
Уплотненная (мн. травы, озимые)	30	151	103	77	19	4	0	0	1,27	1,68
Рыхлая (зябрь)	20	121	80	58	11	0	0	0	1,52	1,96

Примечание. C_v – коэффициент вариации, C_s – коэффициент асимметрии.

ВЫВОДЫ

1. Исследования показали, что поверхностный сток в значительной степени колеблется по годам и наблюдается тренд его устойчивого снижения от начала исследуемого периода по настоящее время, а в последние два десятилетия полное отсутствие, что связано в эти годы со слабым промерзанием почвы.

2. Выявлена неоднозначная роль снегозапасов в формировании весеннего склонового стока талых вод. Снегозапасы, сформированные перед весенним снеготаянием, прямого влияния на сток не оказывают, но при определенных условиях от них зависит его величина. Если глубина промерзания небольшая, то от снегозапасов и влажности почвы сток не зависит, а если она большая, то активную роль играют влагозапасы в почве, а снегозапасы пассивную. При этом в почву просочится столько

снеговой воды, сколько свободных пор в верхнем слое (0–30 см), объем которых зависит от степени увлажнения почвы. Излишки талой воды пойдут на сток. При большой глубине промерзания почвы и высокой степени увлажнения, когда все поры заняты водой, в почве образуется ледяной экран и вся снеговая вода идет на сток.

3. Анализ многолетних исследований закономерностей формирования поверхностного стока талых вод за 64-летний период, построение теоретических и эмпирических кривых вероятности превышения стока позволили оценить его уровень и получить показатели весеннего склонового стока на рыхлой и уплотненной пашне, необходимые для разработки и проектирования на расчетной основе систем противоэрозионных мероприятий.

Благодарность. Работа выполнена в рамках государственного задания № FNFE-2022-0012 «Теоретические основы эрозионно-гидрологического процесса на водосборных бассейнах, концептуальные направления, пути и принципы создания высокоэффективных экологических систем управления этим процессом с целью полного предотвращения эрозии почв» (№ госрегистрации 122020100428-8). Финансирование Министерством науки и высшего образования РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеевский Н.И., Фролова Н.П., Антонова М.М., Игнанин М.И. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги // Вода: химия и экология. 2013. № 4. С. 3–12.
- Барabanов А.Т., Петелько А.И., Кочкарь М.М., Богачева О.В. Оценка стока талых вод на серых лесных почвах юга Нечерноземья // Актуальные инновационные разработки по оптимизации агроландшафтов в условиях рыночных отношений: сб. науч. тр. НВ НИИСХ. 2004. С. 44–47.
- Барabanов А.Т., Петелько А.И., Левшин А.О., Богачева О.В. Влияние стокорегулирующих лесополос разной конструкции на снегоотложение и промерзание серых лесных почв Орловской области // Роль и место агролесомелиорации в современном обществе: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Всероссийского научно-исследовательского института агролесомелиорации. Волгоград, 2006. С. 41–46.
- Барabanов А.Т. Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. 188 с.
- Барabanов А.Т., Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Панов В.И., Петелько А.И. Поверхностный сток и инфильтрация в почву талых вод в лесостепной и степной зонах Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. 2018. № 1. С. 62–69.
- Варенцова Н.А., Киреева М.Б., Фролова Н.Л., Харламов М.А., Илич В.П., Сазонов А.А. Прогноз притока воды к Цимлянскому водохранилищу в период половодья в современных климатических условиях: проблемы и воспроизводимость // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 6. С. 694–709. DOI: 10.31857/50321059620060152.
- Гаршинев Е.А. Эрозионно-гидрологический процесс и мелиорация. Теория и модели. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2002. 220 с.

- Грин А.М. Динамика водного баланса на примере Центрально-черноземного района // Водный баланс СССР и его преобразование. М., 1969. С. 179–192.
- Калюжный И.Л., Лавров С.А. Механизм влияния глубины промерзания почв речных бассейнов на зимний сток // Водные ресурсы. 2017. № 4. С. 442–451.
- Комиссаров М.А., Габбасова И.М. Эрозия почв при снеготаянии на пологих склонах в южном Предуралье // Почвоведение. 2014. № 6. С. 734–743.
- Кочетов И.С. Агроландшафтное земледелие и эрозия почв в Центральном Нечерноземье. М.: Колос, 1999. 224 с.
- Кузнецов М.С., Демидов В.В., Окулик Е.В. Глобальные изменения климата и их влияние на процессы водной эрозии почв // Интенсификация, ресурсосбережение и охрана почв в адаптивно-ландшафтных системах земледелия: сб. докладов Всероссийской научно-практической конференции. Курск, 2008. С. 539–544.
- Кулик К.Н., Панов В.И., Барабанов А.Т. Лесомелиорация во влагоберегающем кластерно-синергетическом агроприродопользовании в степном субрегионе // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2014. № 2(19). С. 18–20.
- Кулик К.Н., Рулев А.С., Барабанов А.Т., Петелько А.И., Новиков Н.Е., Кулик А.В., Выпова А.В. Агроресомелиоративный эталон защиты почв от эрозии. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2018. 52 с.
- Кумани М.В., Шульгина Д.В., Киселев В.В. Многолетняя динамика основных элементов стока рек в пределах Центрального Черноземья // Региональные геосистемы. 2021. № 4. С. 617–631.
- Мухин В.М. Методы прогнозирования притока воды в водохранилища за период весеннего половодья // Труды Гидрометцентра России. Вып. 351: Гидрометеорологические прогнозы. 2014. С. 108–140.
- Петелько А.И. Агроресомелиорация в адаптивно-ландшафтном земледелии в лесостепи Центрального Нечерноземья: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Волгоград, 2012. 39 с.
- Сурмач Г.П. Методика изучения водорегулирующей и противозерозионной эффективности лесных полос и агротехнических приемов. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1967. 39 с.
- Сурмач Г.П. Водная эрозия и борьба с ней. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 254 с.
- Танасиенко А.А., Чумбаев А.С., Якутина О.П. Оценка глубины промерзания черноземов на юге Западной Сибири // Метеорология и гидрология. 2018. № 2. С. 90–96.
- Шеннель П.А. Специальный весенний попуск паводковых вод Волги. Волгоград: Нижневолжское кн. изд-во, 1990. 191 с.
- Pimentel D., Burgess M. Soil erosion threatens food production, *Agriculture*, 2013, no. 3(3), p. 443–463.
- Starkloff T. *Winter Hydrology and Soil Erosion Processes in an Agricultural Catchment in Norway*, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 2017, DOI: 10.18174/425126.
- Sharratt B.S., Lindstrom M.J., Benoit G.R., Young R.A., Wilts A. Runoff and soil erosion during spring thaw in the northern US Corn Belt, *J. Soil Water Conserv.*, 2000, no. 55, p. 487–494.

Поступила в редакцию 07.09.2022

После доработки 16.12.2022

Принята к публикации 22.02.2023

FACTORS OF SLOPE SPRING RUNOFF ON GRAY FOREST SOILS IN THE CENTRAL FOREST-STEPPE

A.T. Barabanov¹, A.I. Petelko²

¹ Federal State Budget Scientific Institution Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Science, Laboratory for Soil Erosion Control, Head of the Laboratory, D.Sc. in Agriculture; e-mail: a.barabanov2011@yandex.ru

² Novosilskaya zonal agroforestry and reclamation experimental station named after A.S. Kozmenko, a branch of the Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Science, Chief Scientific Researcher, D.Sc. in Agriculture; e-mail: zaglos@mail.ru

The results of long-term studies of several generations of scientists at the Novosilskaya zonal agroforestry and reclamation experimental station named after A.S. Kozmenko (a branch of the Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences), initiated by Professor G.P. Surmach, were summarized and analyzed. The task was to assess the nature of the spring slope runoff formation and show the role of natural factors and agricultural activities. The methodological basis of the research was the method of runoff sites. As a result of a long (64 year long) study, a number of important dependencies and features of the runoff formation under different natural and climatic conditions were identified, as well as the influence of natural factors and agricultural activities on it (structure of sown areas, cultivation history, tillage methods, etc.). Scientific materials on the elements of the spring water balance give an idea of their patterns. It has been established that only three natural factors out of a large number of them have a significant impact on the slope spring runoff, i. e. the depth of soil freezing, snow reserves and humidity of the upper soil layer (down to 30 cm). Other factors almost do not affect the amount of runoff and they could be ignored in the process of calculation. The limiting levels of these three factors have been established, under which no runoff is formed. During 64 years of study,

runoff was absent for 33 years, ranging from 1 to 146 mm in other years. Among anthropogenic factors, tillage methods and the state of agricultural backgrounds have a profound influence. The runoff regulatory importance of finching and the runoff forming role of perennial grasses and winter crops are discussed. On average, runoff from compacted arable land was 10 mm higher compared to loose chick; in some years the difference was significantly greater. The results of the study are necessary for the design of erosion-control adaptive landscape farming system.

Keywords: surface runoff, chick, soil freezing depth, water reserves in snow, soil moisture, water balance elements

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the state task no. FNFE-2022-0012 “Theoretical foundations of the erosion-hydrological process in catchment basins, conceptual directions, ways and principles of creating highly efficient eco-friendly management systems for the process in order to completely prevent soil erosion” (State Registration no. 122020100428-8) financed by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

REFERENCES

- Alekseevskii N.I., Frolova N.P., Antonova M.M., Igonina M.I. Otsenka vliyaniya izmenenii klimata na vodnyi rezhim i stok rek basseina Volgi [Assessment of the impact of climate change on the water regime and river flow in the Volga basin], *Voda: khimiya i ekhologiya*, 2013, no. 4, p. 3–12. (In Russian)
- Barabanov A.T. *Ehrozionno-gidrologicheskaya otsenka vzaimodeistviya prirodnykh i antropogen-nykh faktorov formirovaniya poverkhnostnogo stoka talykh vod i adaptivno-landshaftnoe zemledelie* [Erosion-hydrological assessment of the interaction of natural and anthropogenic factors of the formation of surface runoff of snowmelt water and adaptive landscape agriculture], Volgograd, Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences Publ., 2017, 188 p. (In Russian)
- Barabanov A.T., Petel'ko A.I., Kochkar' M.M., Bogacheva O.V. [Assessment of snowmelt water runoff on gray forest soils in the south of the Non-Chernozem region], *Aktualnye innovatsionnye razrabotki po optimizatsii agrolandshaftov v usloviyakh rynochnykh otnoshenij* [Actual innovations for the optimization of agrolandscapes under market relations], Volgograd, 2004, p. 44–47. (In Russian)
- Barabanov A.T., Petel'ko A.I., Levshin A.O., Bogacheva O.V. [Influence of runoff-regulating forest belts of different designs on snow deposition and freezing of gray forest soils in the Orel oblast], *Rol' i mesto agrolesomeliorsatsii v sovremennom obshchestve*, materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 75-letiyu Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta agrolesomeliorsatsii [The role and place of agroforestry in modern society, Materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of the All-Russian Research Institute of Agroforestry], Volgograd, 2006, p. 41–46. (In Russian)
- Barabanov A.T., Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Panov V.I., Petel'ko A.I. Poverkhnostnyi stok i infil'tratsiya v pochvu talykh vod v lesostepnoi i stepnoi zonakh Vostochno-Evropeiskoi ravniny [Surface runoff and infiltration of meltwater into the soil within the forest-steppe and steppe zones of the East European Plain], *Pochvovedenie*, 2018, no. 1, p. 62–69. (In Russian)
- Garshinev E.A. *Ehrozionno-gidrologicheskii protsess i melioratsiya. Teoriya i modeli* [Erosion-hydrological process and land reclamation. Theory and models], Volgograd, VNIALMI Volgograd, 2002, 220 p. (In Russian)
- Grin A.M. [Dynamics of water balance on the example of the Central Chernozem region], *Vodnyi balans SSSR i ego transformatsiya* [Water balance of the USSR and its transformation], Moscow, 1969, p. 179–192. (In Russian)
- Kalyuzhnyi I.L., Lavrov S.A. Mechanism of the influence of soil freezing depth on winter runoff, *Water Resources*, 2017, no. 4, p. 604–613.
- Kochetov I.S. *Agrolandshaftnoe zemledelie i ehroziya pochv v Tsentral'nom Nechernozem'e* [Agrolandscape agriculture and soil erosion in the Central Non-Chernozem region], Moscow, Kolos Publ., 1999, 224 p. (In Russian)
- Komissarov M.A., Gabbasova I.M. Eroziya pochv pri snegotayanii na pologikh sklonakh v yuzhnom Predural'e [Soil erosion during snow melting on gentle slopes in the southern Urals], *Pochvovedenie*, 2014, no. 6, p. 734–743. (In Russian)
- Kulik K.N., Panov V.I., Barabanov A.T. Lesomeliorsatsiya vo vlagosberegayushchem klasterno-sinergeticheskom agroprirodopol'zovanii v stepnom subregione [Forest reclamation in moisture-saving cluster-synergetic agrolandscape management within the steppe subregion], *Teoreticheskie i prikladnye problemy agropromyshlennogo kompleksa*, 2014, no. 2(19), p. 18–20. (In Russian)
- Kulik K.N., Rulev A.S., Barabanov A.T., Petel'ko A.I., Novikov N.E., Kulik A.V., Vypova A.V. *Agrolesomeliorsativnyi etalon zaschity pochv ot erozii* [Agroforestry standard of soil erosion control], Volgograd, Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences Publ., 2018, 52 p. (In Russian)
- Kumani M.V., Shul'gina D.V., Kiselev V.V. Mnogoletnyaya dinamika osnovnykh ehlementov stoka rek v predelakh Tsentral'nogo Chernozem'ya [Long-term dynamics of the main elements of river flow within the Central Chernozem region], *Regional'nye geosistemy*, 2021, no. 4, p. 617–631. (In Russian)
- Kuznetsov M.S., Demidov V.V., Okulik E.V. [Global climate change and its impact on the processes of water erosion of soils], *Intensifikatsiya, resursosberezhenie i ohrana pochv v adaptivno-landshaftnykh sistemakh zemledeliya*, sb. dokladov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Intensification, resource conservation and soil protection in adaptive-landscape cropping systems, Sat. reports of the All-Russian Scientific and Practical Conference], Kursk, 2008, p. 539–544. (In Russian)
- Mukhin V.M. *Metody prognozirovaniya pritoka vody v vodokhranilishcha za period vesennego polovod'ya* [Methods

- of the reservoir's river spring-flood inflow prediction], *Trudy Gidromettsentra Rossii*, vyp. 351, *Gidrometeorologicheskie prognozy*, 2014, p. 108–140. (In Russian)
- Petel'ko A.I. *Agrolesomeliatsiya v adaptivno-landshaftnom zemledelii v lesostepi Tsen-tral'nogo Nechernozem'ya, avtoref. dis. ... doktora s.-kh. nauk* [Agroforestry in adaptive landscape agriculture within the forest-steppe of the Central Non-Chernozem region], Volgograd, 2012, 39 p. (In Russian)
- Pimentel D., Burgess M. Soil erosion threatens food production, *Agriculture*, 2013, no. 3(3), p. 443–463.
- Sharratt B.S., Lindstrom M.J., Benoit G.R., Young R.A., Wilts A. Runoff and soil erosion during spring thaw in the northern US Corn Belt, *J. Soil Water Conserv.*, 2000, no. 5, p. 487–494.
- Sheppel P.A. *Spetsial'nyi vesennii popusk pavodkovykh vod Volgi* [Special spring release of flood waters of the Volga River], Volgograd, Nizhne-Volzhskoe publishing house, 1990, 191 p. (In Russian)
- Starkloff T. *Winter Hydrology and Soil Erosion Processes in an Agricultural Catchment in Norway*, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 2017, DOI: 10.18174/425126.
- Surmach G.P. *Metodika izucheniya vodoreguliruyuschei i protivooerozionnoi effektivnosti lesnykh polos i agrotekhnicheskikh priemov* [Methodology for studying the water-regulating and anti-erosion efficiency of forest belts and agrotechnical techniques], Volgograd, VNIALMI Publ., 1967, 39 p. (In Russian)
- Surmach G.P. *Vodnaya ehroziya i bor'ba s nei* [Water erosion and its control], Leningrad Gidrometeoizdat Publ., 1976, 254 p. (In Russian)
- Tanasienko A.A., Chumbaev A.S., Yakutina O.P. Otsenka glubiny promerzaniya chernozemov na yuge Zapadnoi Sibiri [Assessment of chernozem freezing depth in the south of Western Siberia], *Meteorologiya i gidrologiya*, 2018, no. 2, p. 90–96. (In Russian)
- Varentsova N.A., Kireeva M.B., Frolova N.L., Kharlamova M.A., Ilich V.P., Sazonov A.A. Forecasting water inflow into the Tsimlyansk reservoir during spring flood under current climate conditions: problems and reproducibility, *Water Resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 953–967.

Received 07.09.2022

Revised 16.12.2022

Accepted 22.02.2023