

УДК 631.6.02

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННОГО ВЕСЕННЕГО СКЛОНОВОГО СТОКА НА ПАХОТНЫХ ЗЕМЛЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

А.Т. Барабанов

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, лаборатория защиты почв от эрозии, заведующий, докт. с.-х. н.; e-mail: a.barabanov2011@yandex.ru

Рассматривается проблема регулирования весеннего стока на основе знания закономерностей его формирования. Решение этой актуальной задачи возможно при выявлении роли природных факторов, влияющих на сток. Целью работы было определение роли снеготалых вод в взаимодействии с другими природными факторами (глубиной промерзания почвы и ее влажностью) в формировании поверхностного стока талых вод на сельскохозяйственных угодьях. Исследования проводились на светло-каштановой почве в сухостепной зоне Волгоградской области. Их методической основой была система методов, используемых в противозерозионной мелиорации, гидрологии и других смежных науках, адаптированных к поставленным целям и задачам. Выявлено сложное взаимодействие снеготалых вод с другими природными факторами, влияющими на формирование поверхностного стока талых вод в сухостепной зоне Волгоградской области. Установлено, что при промерзании почвы на глубину менее 50 см формирование стока не зависит от снеготалых вод. При более глубоком промерзании величина стока зависит от взаимодействия снеготалых вод и влажности почвы. При некотором уровне увлажнения верхнего (0–50 см) слоя почвы ниже лимитирующего (70 мм) сток не формируется и при ее глубоком промерзании. Разработаны регрессионные уравнения связи стока с запасами воды в снеге и почве при глубине ее промерзания более 50 см на различных видах угодий (пашня, луг, залежь) и пашни (осенняя обработка почвы, озимые культуры, многолетние травы и др.). Эти фундаментальные разработки позволяют новому подходу к оценке гидрологического процесса и реализовать важные прикладные разработки.

Ключевые слова: природные факторы стока, снеготалые воды, глубина промерзания почвы, влажность почвы, агрофон

ВВЕДЕНИЕ

Разработка системы противозерозионных мероприятий путем регулирования весеннего стока должна осуществляться на основе знания закономерностей его формирования. Эта проблема является фундаментальной, очень актуальной и до сих пор нерешенной. Для обоснования противозерозионного комплекса необходимо изучение вопроса о влиянии его на гидрологический режим территории и, в первую очередь, на сток с водосбора. Для этого требуется выявить влияние на сток природных и антропогенных факторов и определить пути использования этих фундаментальных разработок в прикладной науке и практике.

Очень большое значение в познании закономерностей формирования стока талых вод имеет связь его с природными факторами и особенно со снеготалыми запасами. При прогнозировании снеготалых запасов неотъемлемо отводится очень большая роль. С ними, в основном, связывают объем поверхностного стока [Шеппель, 1990; Гагаринова, 2012; Алексеевский и др., 2013; Мухин, 2014; Панфилов и др., 2017]. Чем больше снега, тем больший ожидается сток. В результате появляются ошибочные прогнозы, которые

приводят к катастрофическим последствиям при регулировании весенних паводков на малых и крупных реках. Создаются противопаводковые комиссии, они осуществляют большие необязательные подготовительные работы и расходуют очень много материальных и финансовых средств. Например, при планировании режима весеннего пропуска на Волжско-Камском каскаде водохранилищ часто при очень больших снеготалых запасах на водосборном бассейне Волги ожидают большой приток воды в водохранилища, но он оказывается незначительным, а бывает наоборот – при относительно небольших запасах воды в снеге сток на водосборе формируется большой.

Гидрологическим исследованиям посвящено много научных работ. Они имеют довольно длительную историю и в основном посвящены гидрологии рек [Львович, 1963; Водогрецкий и др., 1973; Кучмент, 1980]. Исследованию склонового стока на сельскохозяйственных угодьях с учетом влияния определяющих факторов стали уделять серьезное внимание только в 1950–1960 гг. [Грин, 1965; Сурмач и др., 1989; Гаршинев, 1999; Урбанова, Семанов, 2010; Сухановский, 2013; Комиссаров, Габба-

сова, 2014; Коронкевич, Мельник, 2015; Барабанов, 2018]. Мы проанализировали существующие методы расчета стока, изучили принципы, параметры и критерии, заложенные в их основу, и оценили влияние природных факторов на весенний склоновый сток.

Наши теоретические исследования базировались на анализе и обобщении многолетних собственных материалов экспериментальных исследований во ВНИИ агролесомелиорации (сейчас ФНЦ агроэкологии РАН) и данных различных научно-исследовательских учреждений (ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии, НИИ сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы им. В.В. Докучаева, Института географии РАН, Государственного гидрологического института и др.) по оценке влияния природных и антропогенных факторов на формирование стока [Грин, 1965; Кучмент, 1980; Калюжный и др., 1984; Evahs, 1990; Коронкевич, Мельник, 2015; Varabanov et al., 2018].

Анализ показал, что большинство исследователей формирование стока в период снеготаяния рассматривают как сложный многофакторный процесс [Водогрецкий и др., 1973; Калюжный и др., 1984; Chanasyk, 1989; Dorfel et al., 1989; Гельфан, 2007; Двинских и др., 2010; Гагаринова, 2012; Алексеевский и др., 2013; Мухин, 2014; Коронкевич, Мельник, 2015; Панфилов и др., 2017]. При расчете стока ими используется до десятка факторов, воздействующих на его формирование. Однако оценка роли природных факторов в воздействии на сток у них сильно отличается.

По данным В.М. Мухина [2014], на формирование речного стока влияют как постоянные (снегозапасы, глубина промерзания и влажность почвы, интенсивность таяния снега, температурный режим во время стока), так и переменные (рельеф, почва, конфигурация водосбора, крутизна склона и др.) факторы. Одни он определяет в полевых условиях, другие рассчитывает по косвенным метеорологическим показателям, но главным считает запасы воды в снеге и характер его отложения на водосборе.

Некоторые связывают формирование стока только с одним фактором, как правило, со снегозапасами. В исследовании [Алексеевский и др., 2013] сток Волги в лесной и лесостепной частях бассейна связан с годовой суммой осадков, а в степной части он зависит от зимних осадков.

По данным П.А. Шеппеля [1990], весенний сток в бассейне Волги формируется только в зависимости от запасов воды в снеге, т. е. чем больше снега, тем больше сток.

По данным других исследователей [Гаршинев, 1999; Комиссаров, 2014; Барабанов, 2017], поверхностный сток зависит от трех факторов: снегозапасов, глубины промерзания и влажности почвы.

И.Л. Калюжный с соавторами [1984; 2012] разработали концепцию формирования в мерзлой почве водонепроницаемого (запирающего) слоя, который формируется при некотором соотношении влажности и температуры почвы. Эта концепция сыграла важную роль в понимании процесса впитывания талой воды в мерзлую почву, что способствовало выявлению роли снегозапасов в этом процессе.

Е.А. Гаршинев [1999] изучил процесс взаимодействия талой воды с мерзлой почвой и сформулировал концепцию «ледяного экрана», который формируется на границе оттаявшего сверху и мерзлого снизу слоев почвы. При оттаивании почвы сверху на границе с мерзлым слоем образуется водонепроницаемая ледяная прослойка, и впитывание влаги превращается в процесс «термоинfiltrации» – протаивания почвы за счет тепла талой воды.

Имеющиеся в литературе материалы, характеризующие роль природных факторов в формировании стока, не позволяют однозначно оценить ее и разработать надежную методику его прогноза. Они показывают, что сток зависит от многих факторов, но часто важнейшую роль в его формировании играют запасы воды в снеге, хотя при этом учитываются и другие аспекты (промерзание почвы, ее увлажнение, характер снеготаяния, рельеф и др.), но роль этих показателей, как правило, небольшая, а бывает и сильно преувеличена.

Цель наших исследований – дать оценку роли снегозапасов в формировании весеннего склонового стока на светло-каштановых почвах Волгоградской области для разных видов пашни и сельхозугодий во взаимодействии с другими природными факторами – глубиной промерзания и влажностью почвы. На самом деле роль снегозапасов в формировании стока очень сложна. При некотором сочетании одних условий (почва талая или промерзла менее 50 см) снегозапасы совсем не влияют на формирование стока, а при других (глубина промерзания более 50 см) – они являются важнейшим фактором его формирования во взаимодействии с влажностью почвы. Нами экспериментально установлена и теоретически обоснована связь поверхностного стока талых вод со снегозапасами во взаимодействии с другими природными факторами, а также осуществлено построение регрессионных моделей формирования стока при глубине промерзания почвы более 50 см.

МАТЕРИАЛЫ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При обобщении и анализе использованы материалы исследований автора, М.М. Кочкаря, Р.Д. Балычева, А.В. Кулик, Р.Е. Смирнова, полученные под руководством автора, В.Е. Величкина, Е.И. Куниц-

кого, В.П. Борца, полученные под руководством и с участием Г.П. Сурмача (1976; 1989) и обобщенные им, а также данные Ю.В. Бондаренко и И.Г. Зыкова (1978).

Объектом исследований было изучение закономерностей формирования весеннего склонового стока под влиянием снеготалых запасов во взаимодействии с влажностью почвы и глубиной ее промерзания. Исследования проводились в сухостепной зоне на стоково-эрозионном стационаре «Амфитеатр», расположенном под Волгоградом на склоне восточной экспозиции крутизной до 3° и направленном в сторону Волги (рис. 1). Почва светло-каштановая разной степени смывости. Основой наших экспериментов был метод стоковых площадок, широко используемый в гидрологии, географии и противоэрозионной мелиорации, адаптированный к поставленным целям и задачам [Львович, 1963; Грин 1965; Протодяконов, Тедер, 1970; Сурмач, 1976; Литтл, Хиллз, 1981; Dorfel et al., 1989; Комиссаров, Габбасова, 2014]. Он позволяет выявить закономерности формирования стока дифференцировано на различных разновидностях почв (тяжелые, средние, легкие, солонцеватые и др.), видах угодий (пашня, луг, залежь) и пашни (зябрь, озимые, многолетние травы и др.), что очень важно вследствие больших различий в величине стока, которые надо учитывать при его прогнозировании и принятии управленческих решений. Для этого закладывались элементарные (с одним агрофоном) стоковые площадки. При этом проводились снегомерные съемки, наблюдения и определения метеорологических показателей (температуры, влажности воздуха, осадков, ветра, облачности и др.), промерзания, оттаивания, влажности почвы, стока талых вод и др. Для выявления роли природных факторов в формировании стока закладывались стоковые площадки шириной 20 м и длиной 100 м. На них измеряли высоту снега снегомерной рейкой по профилям через 4 м в 3–5-кратной повторности, плотность снега – весовым снегомером через 20 м в 3-кратной повторности. Глубину промерзания почвы определяли путем бурения скважин, выкопки шурфов и по мерзлотомерам Данилина, влажность почвы – термостатно-весовым методом на глубину до 50, 100 и 150 см через каждые 10 см. Сток талых вод учитывали на треугольных водосливах с углом выреза 45°. Замеры стока на водосливах производили через час, а во время пика расхода через полчаса [Методические рекомендации..., 1976].

В исследованиях нами использовались статистический и генетический подходы. Статистические методы основываются на законе больших чисел и допущении случайности проявления гидрологических процессов. Эти методы позволяют вести приближенные гидрологические расчеты. Однако для решения фундаментальных проблем



Рис. 1. Стоково-эрозионный стационар «Амфитеатр» ФНЦ агроэкологии РАН

Fig. 1. Flow-erosion station “Amphitheater” of the Federal Research Centre of Agroecology of the Russian Academy of Sciences

требовалось развитие теоретических исследований. В 1930-е гг. В.Г. Глушков выдвинул идею географо-гидрологического метода [Львович, 1963], базирующегося на генетической основе с учетом влияния всех факторов. Этот метод в дальнейшем получил широкое развитие. Статистические методы мы применяли для оценки поверхностного стока с сельскохозяйственных угодий разной вероятности превышения, выявления стокорегулирующей и противоэрозионной эффективности различных приемов и др. Генетический подход мы использовали при изучении закономерности формирования стока. Известно, что он обусловлен многими природными факторами (снеготалым запасом, характером увлажнения и промерзания почвы, погодными условиями и др.) и хозяйственной деятельностью людей. В своих исследованиях мы выявляем генезис явлений и процессов, находим причины их проявления, определяем факторы, на которые необходимо воздействовать, чтобы управлять этими процессами. Нам важно знать, через какие факторы происходит антропогенное воздействие на эрозионно-гидрологические процессы, а это позволяет научиться управлять ими.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показатели стока и уровней природных факторов (снеготалых запасов, глубины промерзания и влажности почвы) перед снеготаянием, обуславливающих его формирование, приведены в таблицах 1 и 2. Акцент на стокообразующей роли снеготалых запасов, сформировавшихся к концу зимы, т. к. им часто необоснованно придается большое значение.

Анализ и обобщение результатов наблюдений показал, что величина склонового стока напрямую не связана с запасами воды в снеге: часто при боль-

ших снегозапасах стока нет, а при малых он формируется, и наоборот. Например, в многоснежные зимы на уплотненной пашне (см. табл. 1) в 1967 г. при снегозапасах 189 мм стока не было, а в 1968 г. при снегозапасах 151 мм величина стока составила 35 мм, в 2011 г. при снегозапасах 70 мм сформировался сток 23 мм, а в 2012 г., когда снегозапасы были 108 мм, стока совсем не было. Подобные данные получены и по другим годам. В малоснежные зимы 1999, 2000 гг. при снегозапасах 25 мм сформировался сток 10 мм, а при снегозапасах 23 мм его совсем не было. Также было и по другим годам. В годы, когда сток был, его прямой связи со снегозапасами также не было. Величина стока колебалась от 3 до 58 мм, а снегозапасы изменялись от 14 до 189 мм. Подобные закономерности связи склонового стока со снегозапасами получены и на рыхлой пашне (см. табл. 2). Парный корреляционный анализ подтвердил этот вывод. Коэффициент корреляции на уплотненной пашне составил 0,50, а на рыхлой пашне 0,36.

Однако это не значит, что от снегозапасов величина стока не зависит. Средние показатели стока в многоснежные и малоснежные годы сильно различаются. На уплотненной пашне в многоснежные годы сток был 12 мм, а в малоснежные 3 мм (см. табл. 1), т. е. снегозапасы влияют на сток в значительной степени, но в зависимости от того, на каком уровне формируются другие факторы стока (глубина промерзания и влажность почвы), которые влияют на сток во взаимодействии. Снегозапасы, особенно характер снегоотложения, влияют на промерзание почвы. Промерзание и увлажнение почвы также взаимосвязаны. В мерзлом состоянии почва способна удержать больше влаги, чем талая. В талой почве влага удерживается в мелких порах и капиллярах, остальная вода стекает вниз. Поэтому в таком состоянии почва может быть максимально увлажнена до наименьшей влагоемкости. В мерзлом состоянии почва удерживает замерзшую влагу и в крупных порах, и в полостях, поэтому она может быть увлажнена максимально до полной влагоемкости.

Наибольшее влияние на сток оказывает глубина промерзания и влажность почвы (см. табл. 1 и 2). Подробный анализ связи стока с этими факторами на светло-каштановых почвах Волгоградской области был осуществлен в работе [Барабанов, 2017]. Эта связь сложная и неоднозначная. Если почва талая или если она промерзла не более 50 см, то сток не формируется независимо от величины снегозапасов и степени ее увлажнения. Если уровень увлажнения низкий (примерно менее 70 мм в слое 0–50 см), сток также не формируется независимо от других факторов. При про-

мерзании почвы более 50 см и запасах воды более 70 мм сток формируется всегда, и величина его зависит только от снегозапасов и влажности почвы. Причем дальнейшее увеличение промерзания почвы свыше 50 см до любой глубины (бывает и до 2 м) никак не влияет на формирование стока. Влажность почвы в этом случае играет активную роль в формировании стока, а снегозапасы – пассивную. От влажности зависит объем свободного порового пространства, которое обуславливает водопоглощение. Ранее нами было установлено, что усвоение мерзлой почвой влаги определяется дефицитом влажности оттаявшего до окончания снеготаяния слоя почвы, т. е. почва способна усвоить количество талой воды, равное объему пор, не занятых почвенной влагой, а остальная талая вода стекает [Барабанов, 2017]. Таким образом, снегозапасы непосредственно не влияют на инфильтрацию почвы, но от них зависит объем стекающей талой воды.

Все это подтверждается открытым автором законом лимитирующих факторов стока талых вод, суть которого состоит в том, что *при некотором минимальном значении одного из трех лимитирующих факторов (снегозапасов, глубины промерзания и влажности почвы) поверхностный сток не формируется независимо от уровня двух других* [Барабанов, 2017]. Многолетние исследования (1966–2014) показали, что на рыхлой пашне (зябь) 38 лет из 49 сток отсутствовал. Решающую роль в этом играла глубина промерзания и увлажнение почвы перед снеготаянием [Барабанов, Петелько, 2018]. 30 лет из 38 он отсутствовал в годы, когда глубина промерзания была меньше 50 см, 8 лет – с низкими запасами воды в почве при глубоком ее промерзании (55–189 см). В некоторые годы сток отсутствовал под влиянием одновременно двух факторов: глубины промерзания и запасов влаги в верхнем (0–50 см) слое почвы. В годы, когда формировался сток, глубина промерзания была всегда большая – 52–112 см.

На уплотненной пашне (многолетние травы, озимые культуры) сток отсутствовал 17 лет из 51 года. Причем 15 лет из 17 он отсутствовал в годы, когда почва была талая или промерзала на небольшую глубину (до 30 см), и только два года сток отсутствовал при большой глубине промерзания – 80 и 160 см. В эти годы лимитирующим фактором его формирования был низкий уровень увлажнения верхнего (0–50 см) слоя почвы – он составлял соответственно 83 и 73 мм. В эти же годы были также и небольшие снегозапасы – 23 и 14 мм. В годы, когда сток формировался, глубина промерзания почвы была большой и колебалась от 55 до 150 см.

Таблица 1
Показатели стока талых вод и факторы, обусловившие его формирование на уплотненной пашне светло-каштановых почв в степи Волгоградской области

Год	Сток, мм	Факторы стока			Год	Сток, мм	Факторы стока		
		Снегозапасы к концу зимы + осадки во время снеготаяния, мм	Глубина промерзания почвы, см	Запасы воды в слое почвы 0–50 см, мм			Снегозапасы к концу зимы + осадки во время снеготаяния, мм	Глубина промерзания почвы, см	Запасы воды в слое почвы 0–50 см, мм
<i>Малоснежные зимы</i>									
1969	3	19	150	72	1967	0	189	15	98
1972	0	23	160	83	1968	35	151	100	124
1985	0	39	17	–	1971	33	85	115	120
1986	0	32	30	–	1973	0	90	0	74
1991	4	17	61	89	1987	0	96	20	87
1992	0	41	20	104	1994	58	64	70	159
1993	0	14	80	73	1995	0	75	10	91
1999	10	25	55	115	1996	0	59	20	86
2000	0	24	0	75	2010	0	72	20	245
2003	11	35	95	148	2011	23	70	75	77
2004	12	32	60	131	2012	0	108	5	105
2005	0	19	12	85	2013	0	69	10	112
2009	0	31	15	104	2014	0	101	20	127
Средние	3	26	–	–	Средние	12	94	–	–
<i>Многоснежные зимы</i>									

Примечание. В таблице приведены многолетние данные нескольких поколений ученых, и в наблюдениях в отдельные периоды были перерывы.

Таблица 2

Показатели стока талых вод и факторы, обусловившие его формирование на рыхлой пашне светло-каштановых почв в степи Волгоградской области

Год	Сток, мм	Факторы стока			Год	Сток, мм	Факторы стока		
		Снегозапасы к концу зимы + осадки во время снеготаяния, мм	Глубина промерзания почвы, см	Запасы воды в слое почвы 0–50 см, мм			Снегозапасы к концу зимы + осадки во время снеготаяния, мм	Глубина промерзания почвы, см	Запасы воды в слое почвы 0–50 см, мм
<i>Малоснежные зимы</i>									
1966	0	7	0	57	1967	0	155	0	119
1964	1	32	0	52	1968	16	60	100	122
1969	0	15	189	99	1971	0	76	100	71
1972	0	28	160	94	1973	0	45	0	66
1981	0	0	20	–	1974	0	48	0	70
1982	0	17	0	90	1985	0	39	20	205
1983	0	0	30	87	1987	0	99	10	73
1984	0	0	40	64	1988	0	44	40	115
1986	0	31	30	223	1992	0	39	10	73
1989	0	25	40	213	1994	13	55	60	159
1990	0	31	35	64	1995	0	70	10	120
1991	0	22	42	105	1996	0	54	20	131
1993	0	17	80	120	1997	0	90	0	111
1998	0	10	55	140	2003	3	50	90	145
2000	0	21	0	78	2006	0	78	100	78
2001	0	14	0	86	2009	0	44	10	124
2002	0	0	0	59	2010	0	89	20	150
2005	0	18	12	81	2011	15	42	112	112
2007	0	5	35	98	2012	0	70	12	91
2008	0	31	15	127	2013	0	41	20	114
1965	4	31	52	46	2014	0	88	25	168
2004	1	26	60	160	–	–	–	–	–
Средние	0,3	17	–	–	Средние	2,2	65	–	–

Примечание. В таблице приведены многолетние данные нескольких поколений ученых, и в наблюдениях в отдельные периоды были перерывы.

Регрессионный анализ связи стока (Y) с запасами воды в почве (W_p) и снеге (W_c) [Барабанов, 2017] на рыхлой пашне (зябрь) в годы с глубиной ее промерзания более 50 см и запасами воды в слое почвы свыше 70 мм показал (рис. 2), что она выражается уравнением (ошибка $M_{yx} = 6,3$; коэффициенты корреляции: парные 0,32 и 0,42; множественный 0,57):

$$Y = -5,2 + 0,04W_p + 0,44W_c. \quad (1)$$

На уплотненной пашне (многолетние травы, озимые культуры) она выражается уравнением (ошибка $M_{yx} = 13,1$; коэффициенты корреляции: парные 0,61 и 0,48, множественный 0,78):

$$Y = -22,1 + 0,26W_p + 0,23W_c. \quad (2)$$

ВЫВОДЫ

Разработку системы мероприятий по защите почв от эрозии путем регулирования весеннего стока необходимо осуществлять на основе знания закономерностей его формирования. Нами установле-

на роль снеготпасов во взаимодействии с другими природными факторами (глубиной промерзания и влажностью почвы) в формировании стока талых вод. Обоснованы и сформулированы закономерности его формирования. Закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод объясняет отсутствие его при определенном сочетании их уровней. Установлено, если почва талая или промерзла на глубину менее 50 см, то сток не формируется при любых снеготпасах, т. е. в этом случае связь весеннего склонового стока со снеготпасами отсутствует. При более глубоком промерзании почвы сток формируется, и величина его зависит от снеготпасов и влажности во взаимодействии. При этом роль снеготпасов зависит от степени увлажнения почвы: если в слое 0–50 см запасы влаги менее 70 мм, то сток не формируется. Разработанные регрессионные уравнения зависимости стока от этих факторов на разных видах пашни (зябрь, озимые, многолетние травы и др.) позволяют по-новому подойти к оценке гидрологического процесса и осуществить важные прикладные разработки.

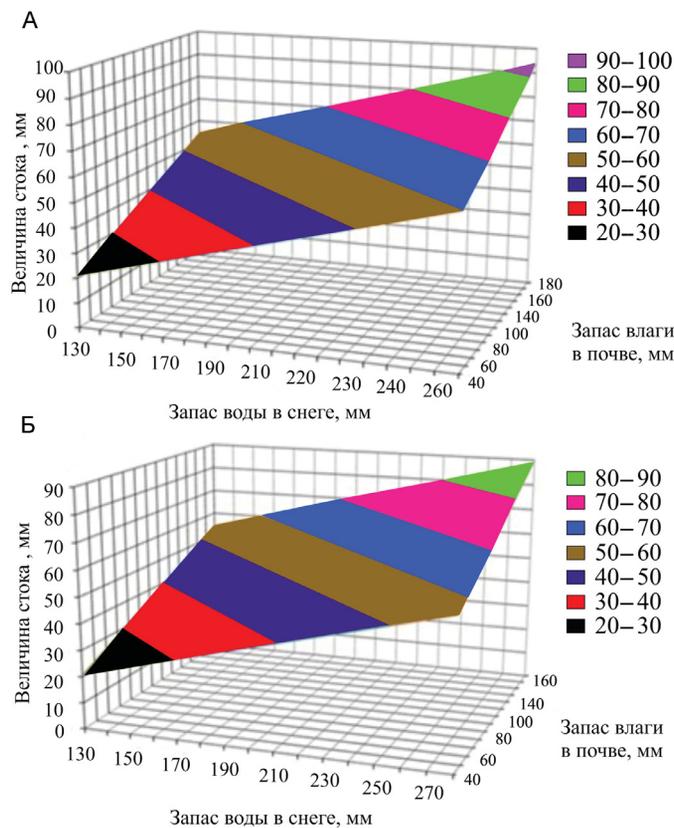


Рис. 2. Трехмерная модель связи слоя стока талых вод с запасами воды в почве и снеге для светло-каштановых почв Волгоградской области при глубине их промерзания более 50 см: А – рыхлая (зяблевая) вспашка; Б – уплотненная пашня (многолетние травы, озимые). На цветной шкале показана величина стока, мм

Fig. 2. Three-dimensional model of relation between the melt water runoff layer and water reserves in soil and snow for light chestnut soils of the Volgograd region at a freezing depth of more than 50 cm: А – loose (winter plowing); Б – compacted (perennial grasses, winter crops) arable land. The color scale shows the runoff, mm

Благодарность. Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 0713-2019-0003 «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».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л., Антонова М.М., Игоница М.И. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги // *Вода: химия и экология*. 2013. № 4. С. 3–12.
- Барабанов 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.
- Барабанов А.Т., Петелько А.И. Прогнозирование поверхностного стока талых вод с сельскохозяйственных угодий в лесостепной части бассейна Волги // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2018. № 4(52). С. 1–7. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-5.
- Бондаренко Ю.В., Зыков И.Г. Водорегулирующая эффективность полосных лесных насаждений различных параметров в гидрографической сети // *Вопросы защиты почв от эрозии: бюл. ВНИАЛМИ*. 1978. Вып. 2(27). С. 21–22.
- Водогрецкий В.Е., Зайцева Э.А., Елфимова Л.В. Склоновый сток и его изменение под влиянием агротехнических и лесомелиоративных мероприятий // *Вопросы влияния хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный режим. Труды ГГИ*. 1973. Вып. 206. С. 53–60.
- Гагаринова О.В. Ландшафтно-гидрологические закономерности формирования стока в бассейне озера Байкал // *География и природные ресурсы*. 2012. № 3. С. 55–60.
- Гаршинев Е.А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: Теория и модели. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1999. 196 с.
- Гельфан А.Н. Динамико-статистическое моделирование формирования талого стока. М.: Наука, 2007. 280 с.
- Грин А.М. Динамика водного баланса Центрально-Черноземного района. М.: Наука, 1965. 146 с.
- Двинских С.А., Китаев А.Б., Михайлов А.В. Наводнения на реках бассейна Камы и организация защиты от них // *География и природные ресурсы*. 2010. № 4. С. 74–79.
- Калюжный И.Л., Павлова К.К., Лавров С.А. Физическое моделирование процессов миграции влаги при промерзании почв // *Метеорология и гидрология*. 1984. № 1. С. 71–85.
- Калюжный И.Л., Лавров С.А. Гидрофизические процессы на водосборе: Экспериментальные исследования и моделирование. СПб.: Нестор-История, 2012. 616 с.
- Комиссаров М.А., Габбасова И.М. Эрозия почв при снеготаянии на пологих склонах в южном Предуралье // *Почвоведение*. 2014. № 6. С. 734–743.
- Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Гидрологические последствия изменения землепользования в бассейне реки Москвы // *Известия РАН. Серия Географическая*. 2015. № 5. С. 38–45.
- Кучмент Л.С. Модели процессов формирования речного стока. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 143 с.
- Литтл Т., Хиллз Ф. Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ / пер. с англ. М.: Колос, 1981. 319 с.
- Львович М.И. Человек и воды. М.: Географиздат, 1963. 567 с.
- Методические рекомендации по учету стока и смыва почв при изучении водной эрозии. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 171 с.
- Мухин В.М. Методы прогнозирования притока воды в водохранилища за период весеннего половодья // *Труды Гидрометцентра России. Гидрометеорологические прогнозы*. 2014. Вып. 351. С. 108–140.
- Панфилов А.В., Проездов П.Н., Розанов А.В., Карпушкин А.В. Моделирование процессов противэрозионного земледелия и агролесомелиорации // *Аграрный науч. журнал*. 2017. № 9. С. 19–23.
- Протодьяконов М.И., Тедер Р.И. Методика рационального планирования эксперимента. М.: Наука, 1970. 75 с.
- Сурмач Г.П. Водная эрозия и борьба с ней. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 254 с.
- Сурмач Г.П., Ломакин М.М., Шестакова А.П. Прогнозирование стока талых вод // *Земледелие*. 1989. № 4. С. 29–31.
- Сухановский Ю.П. Вероятностный подход к расчету эрозионных потерь почвы // *Почвоведение*. 2013. № 4. С. 474–479.
- Урбанова О.Н., Семанов Д.А. Методика расчета наполнения прудов для прогнозирования безопасного пропуска весеннего половодья // *География и природные ресурсы*. 2010. № 4. С. 144–148.
- Шепель П.А. Специальный весенний попуск паводковых вод Волги. Волгоград: Нижне-Волжское кн. изд-во, 1990. 191 с.
- Barabanov A.T., Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Panov V.I., Petelko A.I. Surface runoff and snowmelt infiltration into the soil on plowlands in the foreststeppe and steppe zones of the east European plain, *Eurasian Soil Science*, 2018, vol. 51, no. 1, p. 66–72.
- Chanasyk D.S. Effects of fall cultivation on runoff and erosion, *Erosion knows no boundaries*, 1989, p. 141–144.
- Dorfel H., Bätz G., Meyer U. Heuristisches Herangehen bei der Wahl des Auswertungsverfahrens für Feldversuche, *Feldversuchswesen*, 1989, no. 6, p. 90–100.
- Evans R. Water erosion in British farmers fields: Some causes, impacts, predictions, *Progr. in phys. Geography*, 1990, p. 199–219.

Поступила в редакцию 01.10.2020
После доработки 20.05.2021
Принята к публикации 02.06.2021

SPECIFIC FEATURES OF SPRING SLOPE RUNOFF FORMATION ON ARABLE LANDS OF THE LOWER VOLGA RIVER REGION

A.T. Barabanov

Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Science", Laboratory of soil erosion control, Head, D.Sc. in Agriculture; e-mail: a.barabanov2011@yandex.ru

The problem of spring runoff regulation is considered basing on the knowledge of the regularities of its formation. The solution of this hot task is possible when identifying the role of natural factors affecting the flow. The aim of the work was to identify the role of snow reserves combined with other natural factors (the depth of soil freezing and its humidity) in the formation of meltwater surface runoff on agricultural land. The research was carried out on light chestnut soil in the dry-steppe zone of the Volgograd region. The methodological basis of our research was a system of methods used in erosion control, hydrology and other related sciences, adapted to the goals and objectives of the study. The complex interaction of snow reserves with other natural factors influencing the formation of meltwater surface runoff in the dry-steppe zone of the Volgograd region is revealed. It was found that when the soil freezes to a depth of less than 50 cm, the runoff forms independently of snow reserves. With deeper freezing, runoff depends on the interaction of snow reserves and soil moisture. If the level of moistening of the upper soil layer (0–30 cm) is below a certain limit (70 mm), the runoff is not formed even under its deep freezing. Regression equations for the relationship of runoff with water reserves in snow and soil under its freezing to more than 50 cm are suggested for various types of land (arable land, meadow, fallow) and arable land (autumn tillage, winter crops, perennial grasses, etc.). These fundamental studies allow taking a new approach to the assessment of the hydrological process and implementing the important applied research.

Keywords: natural factors of runoff, snow reserves, depth of soil freezing, soil moisture, agricultural land use structure

Acknowledgements. The study was realized under the state task No. 0713-2019-0003 "Theoretical foundations of erosion and hydrological process within catchment areas, conceptual directions, ways and principles of creating highly efficient environment-friendly management systems for the process in order to completely prevent soil erosion".

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 influence of climate changes on the water regime and flow of rivers in the Volga basin], *Voda: khimiya i ekologiya*, 2013, no. 4, p. 3–12. (In Russian)
- Barabanov A.T. *Eroziionno-gidrologicheskaya otsenka vzaimodeistviya prirodnykh i an-tropogennykh faktorov formirovaniya poverkhnostnogo stoka talykh vod i adaptivno-landshaftnoe zemledelie* [Erosion and hydrological assessment of the interaction of natural and anthropogenic factors in the formation of surface runoff of meltwater and adaptive landscape agricultur], Volgograd, FNT agroekologii RAN, 2017, 188 p. (In Russian)
- Barabanov A.T., Petel'ko A.I. Prognozirovanie poverkhnostnogo stoka talykh vod s sel'skokhozyaistvennykh ugodii v lesostepnoi chasti basseina Volgi [Forecasting of surface runoff of meltwater from agricultural land in the forest-steppe part of the Volga basin], *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2018, no. 4 (52), p. 1–7, DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-5. (In Russian)
- Bondarenko Yu.V., Zikov I.G. Vodoreguliruyushchaya effektivnost' polosnykh lesnykh na-sazhdenii razlichnykh parametrov v gidrograficheskoi seti [Water-regulating efficiency of strip forest stands of various parameters in the hydrographic network], *Voprosy zashchity pochv ot erozii: byul.*, Volgograd, VNIALMI Publ., 1978, vol. 2(27), p. 21–22. (In Russian)
- Vodogretskii V.E., Zaitseva E.A., Elfimova L.V. Sklonovyi stok i ego izmenenie pod vliyaniem agrotekhnicheskikh i lesomeliorativnykh meropriyatii [Slope runoff and its change under the influence of agrotechnical and forest reclamation measures], *Voprosy vliyaniya khozyaistvennoi deyatel'nosti na vodnye resursy i vodnyi rezhim, Trudy GGI*, Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1973, iss. 206, p. 53–60. (In Russian)
- Gagarinova O.V. Landshaftno-gidrologicheskie zakonomernosti formirovaniya stoka v basseine ozera Baikal [Landscape and hydrological patterns of flow formation in the lake Baikal basin], *Geografiya i prirodnye resursy*, 2012, no. 3, p. 55–60. (In Russian)
- Garshinev E.A. *Ehroziionno-gidrologicheskij process i lesomelioraciya: Teoriya i modeli* [Erosive-hydrological process and forest reclamation: Theory and model], Volgograd, VNIALMI Publ., 1999, 196 p. (In Russian)
- Gel'fan A.N. *Dinamiko-statisticheskoe modelirovanie formirovaniya talogo stoka* [Dynamic and statistical modeling of melt runoff formation], Moscow, Nauka Publ., 2007, 280 p. (In Russian)
- Grin A.M. *Dinamika vodnogo balansa Tsentral'no-Cher-*

- nozemnogo rayona* [Dynamics of water balance in the Central Black Earth region], Moscow, Nauka Publ., 1965, 146 p. (In Russian)
- Dvinskikh S.A., Kitaev A.B., Mikhailov A.V. Navodneniya na rekakh basseina Kamy i organizatsiya zashchity ot nikh [Floods on the rivers of the Kama basin and organization of protection against them], *Geografiya i prirodnye resursy*, 2010, no. 4, p. 74–79. (In Russian)
- Kalyuzhnyi I.L., Pavlova K.K., Lavrov S.A. Fizicheskoe modelirovanie protsessov migratsii vlagi pri promerzaniy pochy [Physical modeling of moisture migration processes during soil freezing], *Meteorologiya i gidrologiya*, 1984, no. 1, p. 71–85. (In Russian)
- Kalyuzhnyi I.L., Lavrov S.A. *Gidrofizicheskie processy na vodobore: Ehksperimentalnyye issledovaniya i modelirovaniye* [Hydrophysical processes in the catchment area: Experimental studies and modeling], St. Petersburg, Nestor-Istoriya Publ., 2012, 616 p. (In Russian)
- Komissarov M.A., Gabbasova I.M. Eroziya pochy pri snegotayanii na pologikh sklonakh v yuzhnom Predural'e [Soil Erosion during snowmelt on gentle slopes in the southern Urals], *Pochvovedenie*, 2014, no. 6, p. 734–743. (In Russian)
- Koronkevich N.I., Mel'nik K.S. Gidrologicheskie posledstviya izmeneniya zemle-pol'zovaniya v basseine reki Moskvy [Hydrological consequences of land use change in the Moscow river basin], *Izvestia RAN, Ser. Geograficheskaya*, 2015, no. 5, p. 38–45. (In Russian)
- Kuchment L.S. *Modeli protsessov formirovaniya rechnogo stoka* [Models of river flow formation processes], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1980, 143 p. (In Russian)
- Littl T., Khillz F. Sel'skokhozyaistvennoe opytное delo. Planirovanie i analiz [Agricultural experimental business. Planning and analysis], Moscow, Kolos Publ., 1981, 319 p. (In Russian)
- L'vovich M.I. *Chelovek i vody* [Man and water], Moscow, Geografizdat Publ., 1963, 567 p. (In Russian)
- Metodicheskie rekomendatsii po uchyotu stoka i smyva pochy pri izuchenii vodnoj erozii* [Guidelines for accounting for runoff and soil washout in the study of water erosion], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1976, 171 p. (In Russian)
- Mukhin V.M. Metody prognozirovaniya pritoka vody v vodokhranilishcha za period ve-sennego polovod'ya [Methods of forecasting water inflow to reservoirs during the spring flood], *Trudy Gidromettsentra Rossii, Gidrometeorologicheskie prognozy*, 2014, iss. 351, p. 108–140. (In Russian)
- Panfilov A.V., Proezdov P.N., Rozanov A.V., Karpushkin A.V. Modeling of processes of anti-erosion agriculture and agroforestry, *Agrarian scientific Journal*, 2017, no. 9, p. 19–23.
- Protod'yakonov M.I., Teder R.I. *Metodika ratsional'nogo planirovaniya eksperimenta* [The methodology of rational planning of the experiment], Moscow, Nauka Publ., 1970, 75 p. (In Russian)
- Surmach G.P. *Vodnaya eroziya i bor'ba s nei* [Water erosion and control], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1976, 254 p. (In Russian)
- Surmach G.P., Lomakin M.M., Shestakova A.P. Prognozirovaniye stoka talykh vod [Prediction of meltwater runoff], *Zemledelie*, 1989, no. 4, p. 29–31. (In Russian)
- Sukhanovskii Yu.P. Veroyatnostnyi podkhod k raschetu erozionnykh poter' pochvy [Probabilistic approach to calculating soil erosion losses], *Pochvovedenie*, 2013, no. 4, p. 474–479. (In Russian)
- Urbanova O.N., Semanov D.A. Metodika rascheta napolneniya prudov dlya prognozirovaniya bezopasnogo propuska vesennego polovod'ya [Method for calculating pond filling for predicting safe passage of spring floods], *Geografiya i prirodnye resursy*, 2010, no. 4, p. 144–148. (In Russian)
- Sheppel' P.A. *Spetsial'nyi vesennii popusk pavodkovykh vod Volgi* [Special spring release of flood waters of the Volga], Volgograd, Nizhne-Volzhskoe Publ., 1990, 191 p. (In Russian)
- Barabanov A.T., Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Panov V.I., Petelko A.I. Surface runoff and snowmelt infiltration into the soil on plowlands in the forest-steppe and steppe zones of the east European plain, *Eurasian Soil Science*, 2018, vol. 51, no. 1, p. 66–72.
- Chanasyk D.S. Effects of fall cultivation on runoff and erosion, *Erosion knows no boundaries*, 1989, no. 3, p. 141–144.
- Dorfel H., Bätz G., Meyer U. Heuristisches Herangehen bei der Wahl des Auswertungsverfahrens für Feldversuche, *Feldversuchswesen*, 1989, no. 6, p. 90–100.
- Evahs R. Water erosion in British farmers fields: some sources, impacts, predictions, *Progr. in phys. Geography*, 1990, no. 5, p. 199–219.

Received 01.10.2020

Revised 20.05.2021

Accepted 02.06.2021