СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ. АГРОНОМИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-03

**THE ROLE OF SNOW RESERVES IN THE FORMATION
OF SURFACE RUNOFF MELTWATER
ON AGRICULTURAL LANDFOREST-STEPPE ZONE OF THE RUSSIAN PLAIN****A.T. Barabanov***Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation
«Russian Academy of Sciences», 400062, Volgograd, Russia*

Received 30.07.2020

Submitted 02.09.2020.

Summary

The article considers the role of snow reserves in the meltwater surface runoff formation in interaction with other natural factors (depth of freezing and soil moisture). With a small depth of soil freezing (up to 50 cm) or moisture reserves less than 120 mm (in a layer of 0-50 cm), the runoff is not formed independently of snow reserves. At the factors levels over the mentioned, the runoff depends on snow reserves, but in interaction with soil moisture. Humidity plays an active role, while snow reserves play a passive role. The more moisture reserves in the soil, the more snow water goes to the runoff formation.

Abstract

Introduction. Protecting soils from erosion is a complex issue. Its solution is very important. It should be solved by developing a system of measures to manage the erosion-hydrological process based on knowledge of the regularities of the formation of surface melt water runoff in the drainage basin. To solve it, an integrated approach to flow regulation is required by identifying the influence of natural and anthropogenic factors on it. Very important in understanding the patterns of formation of melt water runoff is its connection with natural factors and especially with snow reserves. When predicting runoff, snow reserves are unreasonably assigned a very large role. The volume of surface runoff is often associated with the amount of water in the snow in the catchment. The more snow, the more runoff is expected. As a result, erroneous forecasts appear, which lead to catastrophic consequences in the regulation of spring floods. For example, when planning the spring release regime on the Volga-Kama cascade of reservoirs, often with very large snow reserves in the Volga drainage basin, a large inflow of water into the reservoirs is expected, but it turns out to be insignificant, but it happens on the contrary - with relatively small water reserves in the snow, the runoff from the drainage basin is large. In fact, the role of snow storage in the formation of runoff is very complex. **Materials and methods.** The object of the research was to study the regularities of the formation of surface melt water runoff under the influence of natural factors: snow reserves, soil moisture and the depth of its freezing in interaction. The aim of the study was to identify the role of snow storage in the formation of runoff. As a result of our research and generalization of the materials of other researchers, a large long-term material was obtained, which made it possible to draw important conclusions. The methodological basis of our experiments was the methods used in various related sciences, adapted to the set goals and objectives. Experimental studies were carried out at the Novosilskaya Zonal Agroforestry Experimental Station named after A.S. Kozmenko (now a branch of the Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences) in the Oryol region in stationary experiments using the method of runoff sites. It allows you to identify patterns of flow formation differentially on different types of soils, types of land and arable land. For this, drainage plots with a width of 20 m and a length of 100 m were laid. At the same time, snow surveying, observations and determination of meteorological indicators (temperature, air humidity, precipitation, wind, cloudiness, etc.), freezing, thawing, soil moisture, bulk soil mass were carried out, melt water runoff, soil washout, etc. The height of the snow was measured with a snow gauge along the profiles every 4 m in 3-5 repetitions, snow density - with a weight snow gauge in 20 m in 3 repetitions. The depth of soil freezing was determined by drilling wells, digging pits and using Danilin's permafrost meters, soil moisture - by the thermostat-weight method. The melt water runoff was taken into account on triangular weirs with a 45° cut angle. Measurements of the runoff at the weirs were made after an hour, and at the time of the peak of the discharge, after half an hour. All other indicators were determined according to generally accepted proven methods. **Results and conclusion.** Our task was to determine the influence of natural factors on runoff. We have experimentally established and theoretically substantiated the relationship between the surface runoff of

melt water and snow reserves in interaction with other natural factors. Water reserves in snow (snow reserves) play an important role in the formation of runoff in interaction with other factors. It is assessed ambiguously. Under some combination of some conditions (the soil is thawed or frozen less than 50 cm), snow reserves do not at all affect the formation of runoff, and with others (the depth of freezing is more than 50 cm), they are the most important factor in its formation in interaction with soil moisture. When the moisture reserves in it are less than 120 mm (in the 0–50 cm layer), runoff is not formed regardless of the snow reserves. At levels of factors above these, runoff depends on snow reserves, but in interaction with soil moisture. Humidity plays an active role, snow reserves are passive, that is, snow reserves do not directly affect the runoff. It depends on the moisture reserves in the soil. The more the soil is moistened, the less snow water is used for absorption and the more for the formation of runoff. Thus, the amount of runoff depends to a large extent on snow reserves, but it depends on the depth of freezing and soil moisture. It was also carried out the construction of regression models of the formation of runoff at a depth of soil freezing deeper than 50 cm. This will allow a new approach to the assessment of the hydrological process on agricultural land and carry out important applied developments.

Key words: *surface runoff, erosion of soils, snow cover, soil moisture, depth of freezing.*

Citation. Barabanov A.T. The role of snow reserves in the formation of surface runoff meltwater on agricultural landforest-steppe zone of the Russian plain. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2020. 3(59). 34–45 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-03.

Author's contribution. Author of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.6.02

РОЛЬ СНЕГОЗАПАСОВ В ФОРМИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ТАЛЫХ ВОД НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЛЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ РУССКОЙ РАВНИНЫ

А. Т. Барабанов, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

*«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград*

Дата поступления в редакцию 30.07.2020

Дата принятия к печати 02.09.2020

Актуальность. Защита почв от эрозии – сложная проблема. Решение ее очень актуально. Решаться она должна путем разработки системы мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом на основе знания закономерностей формирования поверхностного стока талых вод на водосборном бассейне. Для ее решения необходим комплексный подход к регулированию стока путем выявления влияния на него природных и антропогенных факторов. Важное значение в познании закономерностей формирования стока талых вод имеет связь его с природными факторами, и особенно со снегозапасами. При прогнозировании стока снегозапасам необоснованно отводится очень большая роль. Часто объем поверхностного стока связывают с запасами воды в снеге на водосборе. Чем больше снега, тем больший ожидают сток. В результате появляются ошибочные прогнозы, которые приводят к катастрофическим последствиям при регулировании весенних паводков. Например, при планировании режима весеннего пуска на Волжско-Камском каскаде водохранилищ часто при очень больших снегозапасах 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 с водосбора бывает большой. На самом деле роль снегозапасов в формировании стока очень сложная. **Материалы и методы.** Объектом исследований было изучение закономерностей формирования поверхностного стока талых вод под влиянием природных факторов: снегозапасов, влажности почвы и глубины ее промерзания во взаимодействии. Целью исследования было выявление роли снегозапасов в формировании стока. В результате наших исследований и обобщения материалов других исследователей получен большой многолетний материал, позволивший сделать важные выводы. Методической основой наших экспериментов были методы, используемые в разных смежных науках и адаптированные к поставленным целям и задачам. Экспериментальные исследования проводи-

лись на Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции им. А. С. Козменко (ныне филиал ФНИЦ агроэкологии РАН) в Орловской области в стационарных опытах с применением метода стоковых площадок. Он позволяет выявить закономерности формирования стока дифференцированно на различных разновидностях почв, видах угодий и пашни. Для этого закладывались стоковые площадки шириной 20 м и длиной 100 м. При этом проводили снегомерные съемки, наблюдения и определения метеорологических показателей (температура, влажность воздуха, осадки, ветер, облачность и др.), промерзания, оттаивания, влажности почвы, объемной массы почвы, стока талых вод, смыва почвы и др. Высоту снега измеряли снегомерной рейкой по профилям через 4 м в 3-5-ти кратной повторности, плотность снега – весовым снегомером через 20 м в 3-х кратной повторности. Глубину промерзания почвы определяли путем бурения скважин, выкопки шурфов и по мерзлотомерам Данилина, влажность почвы – термостатно-весовым методом. 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. Все другие показатели определялись по общепринятым апробированным методикам. **Результаты и выводы.** Нашей задачей было определение влияния природных факторов на сток. Нами экспериментально установлена и теоретически обоснована связь поверхностного стока талых вод со снегозапасами во взаимодействии с другими природными факторами. Важную роль в формировании стока играют запасы воды в снеге (снегозапасы) во взаимодействии с другими факторами. Она оценивается неоднозначно. При некотором сочетании одних условий (почва талая или промерзла меньше 50 см) снегозапасы совсем не влияют на формирование стока, а при других (глубина промерзания больше 50 см) – они являются важнейшим фактором его формирования во взаимодействии с влажностью почвы. При запасах влаги в ней меньше 120 мм (в слое 0–50 см) сток не формируется независимо от снегозапасов. При уровнях вышеуказанных факторов сток зависит от снегозапасов, но во взаимодействии с увлажнением почвы. Влажность играет активную роль, снегозапасы – пассивную, то есть снегозапасы непосредственно на сток не влияют. Он зависит от запасов влаги в почве. Чем больше увлажнена почва, тем меньше снеговой воды идет на впитывание и тем больше – на формирование стока. Таким образом, от снегозапасов величина стока зависит в значительной степени, но в зависимости от глубины промерзания и влажности почвы. Было также осуществлено построение регрессионных моделей формирования стока при глубине промерзания почвы глубже 50 см. Это позволит по-новому подойти к оценке гидрологического процесса на сельскохозяйственных угодьях и осуществить важные прикладные разработки.

Ключевые слова: *поверхностные стоки, эрозия почв, снегозапасы, влажность почв, глубина промерзания почв.*

Цитирование. Барабанов А. Т. Роль снегозапасов в формировании поверхностного стока талых вод на сельскохозяйственных землях лесостепной зоны Русской равнины. *Известия НВ АУК.* 2020. 3(59). 34-45. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-03.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Фундаментальная проблема – защита почв от эрозии должна решаться путем регулирования поверхностного стока на основе знания закономерностей его формирования на водосборном бассейне. Она является очень актуальной и до сих пор не решенной. Это очень сложная задача, и решаться она должна комплексно. Для ее решения необходимо выявить влияние на сток природных и антропогенных факторов и определить пути использования этих фундаментальных разработок в прикладной науке и на практике. Нашей задачей было определение влияния природных факторов на сток с разных видов пашни и селхозугодий на основе анализа и обобщения своих экспериментальных данных, литературных и фондовых материалов. Важную роль в формировании стока играют запасы воды в снеге (снегозапасы) во взаимодействии с другими факторами. Чаще всего снегозапасам отводят необоснованно большую роль. В результате даются прогнозы низкой точности, а иногда и ошибочные, которые приводят к отрицательным

последствиям при регулировании весенних паводков на реках. На самом деле роль снегозапасов в формировании стока оценивается неоднозначно. При некотором сочетании природных факторов снегозапасы совсем не влияют на формирование стока, а при других – они играют важнейшую роль в его формировании, но во взаимодействии с влажностью почвы [1]. Это нами экспериментально доказано и теоретически обосновано. Было также осуществлено построение регрессионных моделей формирования стока при глубине промерзания почвы глубже 50 см. **Объект.** Объектом исследований было изучение закономерностей формирования весеннего склонового стока под влиянием природных факторов на серых лесных почвах в лесостепи европейской части Российской Федерации. **Материалы и методы.** Исследования проводились на Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции им. А. С. Козменко (ныне филиал ФНИЦ агроэкологии РАН) в Орловской области. Методологической и методической основой наших экспериментов были разные методы, применяемые в смежных науках (гидрология, почвоведение, агролесомелиорация, география, математика), адаптированные к целям и задачам агролесомелиорации и адаптивно-ландшафтного земледелия.

Теоретические исследования основывались на анализе многолетних (свыше 50 лет) материалов экспериментальных исследований и обобщении литературных данных по оценке влияния природных и антропогенных факторов на формирование стока. При этом анализировались данные, полученные при применении водно-балансовых методов: стоковых площадок и репрезентативных водосборов. Экспериментальные исследования осуществлялись в стационарных опытах с применением метода стоковых площадок. Этот метод позволяет исследовать процесс формирования стока дифференцированно на различных почвах, видах угодий и пашни. Это очень важно учитывать при прогнозировании стока и принятии управленческих решений по его регулированию [9]. Для выявления роли природных факторов в формировании стока закладывались стоковые площадки шириной 20 м и длиной 100 м. При этом проводили снегомерные съемки, наблюдения и определения метеорологических показателей (температура, влажность воздуха, осадки, ветер, облачность и др.), промерзания, оттаивания, влажности почвы, стока талых вод, смыва почвы и др. Высоту снега измеряли снегомерной рейкой по профилям через 4 м в 3-5-ти кратной повторности, плотность снега – весовым снегомером через 20 м в 3-х кратной повторности. Глубину промерзания почвы определяли путем бурения скважин, выкопки шурфов и по мерзлотомерам Данилина, влажность почвы – термостатно-весовым методом на глубину до 50 см, 100 см, 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. Все другие показатели определялись по общепринятым апробированным методикам. В исследованиях использовались статистический и генетический подходы. В своих исследованиях мы выявляем генезис явлений и процессов, находим причины их проявления, определяем факторы, на которые необходимо воздействовать, чтобы управлять этими процессами.

Результаты и обсуждение. На Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции им. А. С. Козменко (ныне филиал ФНИЦ агроэкологии РАН) в 1958 году были развернуты большие работы по изучению гидрологических процессов на серых лесных почвах лесостепи с целью разработки противоэрозионных мероприятий. Эти исследования проводятся до настоящего времени. В результате получен очень большой экспериментальный материал [2]. Анализ и обобщение его позволили сформулировать важные теоретические положения и практические выводы, уточняющие представления об эрозионно-гидрологическом процессе, которые позволили по-новому трактовать процесс инфильтрации талых вод в мерзлую почву. Они дают представле-

ние о закономерностях и особенностях формирования поверхностного стока и методах воздействия на него. Это позволит по-новому подойти к оценке гидрологического процесса на сельскохозяйственных угодьях и осуществить важные прикладные разработки.

В познании закономерностей формирования стока талых вод важное значение имеет выявление связи его с природными факторами и особенно со снегозапасами, так как очень часто объем поверхностного стока связывают с запасами воды в снеге на водосборе [7, 8, 10]. Чем больше снега, тем больший ожидают сток. Анализ существующих методов расчета стока показал, что большинство исследователей формирование весеннего стока справедливо рассматривают как многофакторный процесс [4, 6-9, 12]. Однако часто очень большая роль в формировании стока в этих уравнениях отводится снегозапасам [7], хотя учитываются и другие факторы, но им отводится небольшая роль. Некоторые связывают формирование стока только со снегозапасами [8, 11]. По данным других исследователей [3, 4, 7, 9, 13], поверхностный сток зависит от снегозапасов, глубины промерзания и влажности почвы, интенсивности таяния снега, температурного режима во время стока, рельефа и др. Таким образом, анализ материалов, характеризующих роль природных факторов в формировании поверхностного стока, не позволяет однозначно оценить ее.

Обобщение результатов наших исследований и многих поколений ученых Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции им. А. С. Козменко – филиала ФНЦ агроэкологии РАН (Орловская обл.) за период с 1959 по 2015 гг. позволило дать аргументированную оценку роли природных факторов в формировании поверхностного стока талых вод с сельскохозяйственных земель. При этом использовались материалы Е. А. Гаршинёва (1959, 1960, 1964 и 1966 гг.); А. Т. Барабанова, М. М. Ломакина, Е. Я. Тубольцева (1967-1975 гг.); Н. Е. Петелько (1976-1979 гг.); В. П. Борца (1980 г.); А. И. Петелько (1981-2016 гг.); В. П. Борца (1981-1984 гг.); А. Т. Барабанова, Ю. Н. Коблева, А. И. Петелько, В. А. Ивановой (1985-2016 гг.). Было выявлено, что сток талых вод формируется под влиянием только трех природных факторов: глубины промерзания, влажности почвы и снегозапасов. Анализ роли этих факторов осуществлен в работе [1]. Здесь мы проанализируем влияние снегозапасов на формирование стока во взаимодействии с другими факторами, так как в литературе часто можно встретить ошибочный тезис об их решающей роли (таблица). Анализ данных, приведенных в таблице, показал, что прямой зависимости поверхностного стока талых вод от снегозапасов, т. е. больше снега – больше сток, нет. В многоснежные зимы (снегозапасы свыше 100 мм) сток на рыхлой пашне в отдельные годы (1959, 1967) формировался очень большой – 108 и 146 мм при снегозапасах 146 и 186 мм, а в другие годы (1968, 1981) при снегозапасах 162 и 169 мм стока совсем не было. Так, из 25 многоснежных зим 11 лет сток не сформировался, а в остальные годы он был средний и очень большой. В малоснежные зимы при снегозапасах меньше 100 мм сток не сформировался 13 лет из 32, три года он был незначительный, а в остальные годы величина его была на среднем уровне при снегозапасах, варьирующих от 22 до 97 мм. Так, при запасах воды в снеге 86 и 91 мм сток не сформировался, а при снегозапасах 70 и 96 мм он был соответственно 51 и 96 мм. На уплотненной пашне величина стока также по годам колебалась независимо от снегозапасов. В многоснежные зимы, например, в 1959 г. при запасах воды в снеге 135 мм сток был 106 мм, в 1979 г. при таких же снегозапасах он был лишь 45 мм, в 1960 г. при снегозапасах в 150 мм величина стока составила 117 мм, а при снегозапасах 102-115 мм (2005, 2006, 2009 гг.) сток вообще не сформировался. В малоснежные зимы при запасах воды в снеге 91 и 97 мм стока не было, а при снегозапасах 49 мм сформировался сток 44 мм. В многоснежные

годы сток отсутствовал 3 года из 24, а в малоснежные – 7 лет из 21. Парный корреляционный анализ связи стока со снегозапасами показал отсутствие прямой зависимости его от запасов воды в снеге. Коэффициент корреляции на рыхлой пашне составил 0,13, стандартная ошибка 38,4. На уплотненной пашне эти показатели были соответственно 0,43 и 35,4. Однако это не значит, что от снегозапасов величина стока не зависит. Средняя величина стока в многоснежные и малоснежные годы сильно различается. На рыхлой пашне в многоснежные годы она была 30 мм, а в малоснежные – 11 мм. На уплотненной пашне эти показатели были соответственно 45 и 20 мм, т. е. снегозапасы влияют на сток в значительной степени, но во взаимодействии с другими факторами – влажностью почвы и глубиной ее промерзания. Снегозапасы, особенно характер снегоотложения влияют на промерзание почвы.

Таблица – Влияние снегозапасов на формирование поверхностного стока талых вод на серых лесных почвах лесостепи, Орловская обл.

Table – Influence of snow reserves on the formation of surface runoff of meltwater on gray forest soils of forest-steppe, Oryol region

On gray forest soils of forest steppe, Chuvash region					
Год / Year	Снегозапасы перед снеготаянием + осадки за период снеготаяния, мм /Snow cover before snowmelt + precipita- tion for the period of snowmelt, mm	Сток, мм / Runoff, mm	Год / Year	Снегозапасы перед снеготаянием + осадки за период снеготаяния, мм / Snow cover before snowmelt + precipi- tation for the period of snowmelt, mm	Сток, мм / Runoff, mm
1	2	3	4	5	6
Рыхлая пашня (зябь) / loose arable land (winter)			Уплотненная пашня (многолетние травы, озимые) / compacted arable land (perennial grasses, winter crops)		
Многоснежные зимы / Snowy winters					
1959	146	108	1959	135	106
1960	136	81	1960	150	117
1963	116	61	1963	115	71
1964	121	58	1964	113	91
1967	186	146	1966	105	3
1968	169	0	1967	186	186
1970	192	83	1968	145	26

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
1971	154	52	1970	221	94
1976	137	0	1977	149	20
1977	138	12	1978	177	20
1979	128	37	1979	135	45
1980	135	29	1980	153	42
1981	162	0	1981	132	15
1982	100	2	1982	100	5
1985	128	0	1985	119	2
1987	149	27	1986	175	36
1988	118	21	1987	160	40
1994	139	40	1988	123	42
1995	114	0	1994	142	50
1999	144	0	1995	118	4

2005	115	0	2003	152	71
2006	137	0	2005	115	0
2010	106	0	2006	111	0
2011	122	0	2009	102	0
2013	122	0			
Среднее / Average value	137	30	Среднее / Average value	139	45
<i>Малоснежные зимы / Snowless winters</i>					
1961	32	7	1961	22	12
1962	22	13	1962	23	21
1965	70	51	1965	60	46
1966	77	4	1969	80	51
1969	66	24	1971	81	39
1972	56	15	1972	56	15
1973	62	29	1973	53	31
1974	50	29	1974	49	44
1975	86	0	1975	89	0
1978	91	0	1976	89	0
1983	97	2	1983	91	27
1984	41	12	1984	67	18
1986	77	33	1989	52	0
1989	55	0	1990	49	25
1990	44	23	1991	89	52
1991	84	34	1992	85	0
1992	88	0	1993	45	14
1993	42	17	1996	89	26
1996	81	29	2004	97	0
1997	56	1	2007	62	0
1998	48	0	2008	83	0
2000	57	0	-	-	-
2001	81	0	-	-	-
2002	58	0	-	-	-
2003	96	46	-	-	-
2004	86	0	-	-	-

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
2007	79	0	-	-	-
2008	76	0	-	-	-
2009	97	0	-	-	-
2012	86	0	-	-	-
2014	35	0	-	-	-
2015	58	0	-	-	-
Среднее / Average value	67	11	Среднее / Average value	67	20

Промерзание и увлажнение почвы также взаимосвязаны. Мерзлая почва способна удерживать больше влаги, чем талая.

Анализ связи стока с влажностью почвы и глубиной ее промерзания показал, что на серых лесных почвах лесостепи она сложная и неоднозначная. Наибольшее влияние

на сток оказывает глубина промерзания почвы. В годы, когда почва была талая или она промерзла не глубже 50 см, сток не формировался при широком диапазоне изменения уровней других факторов – запасов воды в почве и снеге. Запасы воды в почве (в слое 0-50 см) в эти годы колебались от 123 до 248 мм, в снеге – от 35 до 177 мм. При промерзании почвы свыше 50 см формируется сток разной величины, он зависит не от дальнейшего увеличения глубины промерзания почвы, а от уровня ее увлажнения и запасов воды в снеге. В годы с промерзанием почвы на глубину 52-182 см всегда формировался сток и величина его колебалась от 17 до 150 мм вне зависимости от глубины промерзания почвы. При глубине ее промерзания 182 см сток был 22 мм, при промерзании на 76 см сформировался сток 150 мм, при промерзании на глубину 165 см сток составил 46 мм, при глубине 80 см – 55 мм и т. д. Парный коэффициент корреляции связи стока с глубиной промерзания составил всего 0,04, а стандартная ошибка – 32,2. В условиях глубокого промерзания почвы сток формируется в зависимости от запасов воды в почве и снеге. В почве запасы воды в эти годы колебались от 151 до 248, а в снеге – от 42 до 211 мм. Влагозапасы в почве как фактор стока следующим образом воздействуют на него при глубине ее промерзания свыше 50 см. В годы, когда запасы воды в слое почвы 0-50 см менее 123-129 мм, стока не было независимо от снегозапасов и глубины промерзания почвы. Запасы воды в снеге изменялись в широком диапазоне (51-113 мм), а глубина промерзания была большая (120-130 см). То есть, если в почве перед снеготаянием запасы влаги низкие, то даже при очень глубоком промерзании и больших снегозапасах она сохраняет высокую впитывающую способность и сток не формируется. Таким образом, лимитирующим фактором формирования стока в эти годы был уровень увлажнения почвы. Влажность почвы в этом случае играет активную роль в формировании стока, а снегозапасы – пассивную, то есть снегозапасы непосредственно на сток не влияют. Он зависит от запасов влаги в почве. Чем больше увлажнена почва, тем меньше снеговой воды идет на впитывание и тем больше – на формирование стока. От влажности зависит объем свободного порового пространства, которое обуславливает водопоглощение. Нами ранее было установлено, что усвоение мерзлой почвой влаги определяется дефицитом влажности оттаявшего до окончания снеготаяния слоя почвы, то есть почва способна усвоить количество снеговой воды, равное объему пор, не занятых почвенной влагой, а остальная талая вода стекает. Таким образом, снегозапасы непосредственно не влияют на инфильтрацию почвы, но от них зависит объем стекающей талой воды. Я здесь не рассматриваю влияние снежного покрова (характера снегоотложения) на глубину промерзания почвы как фактор формирования поверхностного стока талых вод.

Многолетние исследования за период с 1959 по 2015 год показали, что на рыхлой пашне сток 38 лет из 49-ти отсутствовал. Решающую роль в его отсутствии играли глубина промерзания и увлажнение почвы перед снеготаянием [1]. Из 52-х лет 34 года он отсутствовал в годы, когда глубина промерзания была меньше 50 см, 3 года – с низкими запасами влаги в почве при глубоком ее промерзании (свыше 50 см). В некоторые годы сток отсутствовал под влиянием двух факторов одновременно: глубины промерзания и запасов влаги в верхнем (0-50 см) слое почвы. В годы, когда формировался сток, глубина промерзания была всегда большая – 60-165 см. На уплотненной пашне сток отсутствовал 10 лет из 30-ти в годы, когда почва была талая или промерзала на небольшую глубину, – до 30 см. В годы, когда формировался сток, глубина промерзания почвы была большой, она колебалась от 55 до 150 см.

Все это подтверждается открытым мной законом лимитирующих факторов стока талых вод, суть которого состоит в том, что *при некотором минимальном значении одного из трех лимитирующих факторов (снегозапасы, глубина промерзания и влажность почвы) поверхностный сток не формируется независимо от уровня*

двух других [1].

Для условий с глубоким промерзанием почвы (свыше 50 см) множественный корреляционно-регрессионный анализ связи стока Y_3 , Y_n с запасами влаги в почве W_n и снеге перед снеготаянием W_c позволил получить следующие уравнения регрессии:

$$\text{на рыхлой пашне } (R = 0,93, M_{yx} = 12,4) Y_3 = -141 + 0,80W_n + 0,38W_c, \quad (1)$$

$$\text{на уплотненной пашне } (R = 0,81, M_{yx} = 13,3) Y_n = -16,3 + 0,15W_n + 0,34W_c. \quad (2)$$

На рыхлой пашне коэффициенты уравнений и график на рисунке показывают, что сток в большей степени зависит от увлажнения мерзлой почвы, чем от запасов воды в снеге, а на уплотненной пашне – наоборот.

Рисунок – Трехмерная модель связи стока талых вод с запасами воды в почве и снеге

Figure – Three-dimensional model of the relationship between the melt water runoff and water reserves in soil and snow

Связь стока с глубиной промерзания почвы в эти годы также отсутствует. Парный коэффициент корреляции составляет всего 0,13, а стандартная ошибка 42,5.

Расчет стока по уравнениям (1), (2) дает довольно близкую сходимость с экспериментальными данными.

Таким образом, на формирование стока талых вод на серых лесных почвах в лесостепи Русской равнины оказывают существенное влияние только три природных фактора: глубина промерзания почвы, ее увлажнение и снегозапасы перед снеготаянием.

Выводы. На основе многолетних исследований и обобщения материалов по влиянию на сток талых вод природных факторов на серых лесных почвах в лесостепи Русской равнины установлена роль снегозапасов во взаимодействии с другими природными факторами в его формировании. Важнейшими факторами формирования стока являются глубина промерзания почвы, ее увлажнение и снегозапасы перед снеготаянием. Влияние этих факторов на сток происходит в сложном взаимодействии. Снегозапасы напрямую не влияют на сток, но от их количества зависит его величина и связано это с глубиной промерзания и увлажнением почвы. Глубина промерзания специфически влияет на формирование

стока. Если почва талая или она промерзла на глубину не более 50 см, то сток не формируется, так как она обладает высокой впитывающей способностью, обеспечивающей поглощение всей снеговой воды. При промерзании почвы свыше 50 см сток совсем не зависит от ее глубины, он формируется в зависимости от запасов влаги в верхнем (0-50 см) слое почвы и запасов воды в снеге. При этом роль снегозапасов зависит от степени увлажнения почвы. Разработанные регрессионные уравнения зависимости стока от этих факторов на разных видах пашни (зябь, озимые, многолетние травы и др.) позволяют по-новому подойти к оценке гидрологического процесса и осуществить важные прикладные разработки.

Библиографический список

1. 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.
2. 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
3. Долгов С. В., Коронкевич Н. И., Барабанова Е. А. Современные изменения поверхностного стока и инфильтрации талых вод на сельскохозяйственных угодьях в лесостепной и степной зонах Русской равнины и их последствия // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2018. № 4. С. 78-91.
4. Комиссаров М. А., Габбасова И. М. Эрозия почв при снеготаянии на пологих склонах в южном Предуралье // Почвоведение. 2014. № 6. С. 734-743.
5. Коронкевич Н. И., Георгиади А. Г., Ясинский С. В. О гидрологических изменениях // Вопросы географии. 2018. № 145. С. 739-744.
6. Моделирование процессов противозерозионного земледелия и агролесомелиорации / А. В. Панфилов [и др.] // Аграрный науч. журн. 2017. № 9. С. 19-23.
7. Мухин В. М. Методы прогнозирования притока воды в водохранилища за период весеннего половодья // Труды Гидрометцентра России. Гидрометеорологические прогнозы. 2014. Вып. 351. С. 108-140.
8. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги / Н. И. Алексеевский [и др.] // Вода: химия и экология. 2013. № 4. С. 3-12.
9. Панов В. И. Потери атмосферных осадков с незащищенных полей в степном засушливом субрегионе, их существенное снижение и стабилизация гидроресурсного потенциала земледелия созданием лесомелиорированных (лесоаграрных) бассейновых агроэколандшафтов // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. Т.18. № 2(2). С. 472-478.
10. Шабаев А. И. Эрозия почв и адаптивно-ландшафтное земледелие: избранные труды. Саратов: НИИСХЮВ, 2017. 648 с.
11. Шеппель П. А. Специальный весенний попуск паводковых вод Волги. Волгоград: Нижне-Волжское кн. изд-во, 1990. 191 с.
12. Pimentel D., Burgess M. Soil erosion threatens food production // Agriculture. 2013. №3(3). P. 443-463.
13. Surface runoff and snowmelt infiltration into the soil on plowlands in the forest-steppe and steppe zones of the east European plain / A. T. Barabanov, S. V. Dolgov, N. I. Koronkevich, V. I. Panov, A. I. Petelko // Eurasian Soil Science. 2018. V. 51. № 1. P. 66-72.

Conclusion. Based on years of research and synthesis of materials to influence the flow of melt water of natural factors on gray forest soils in forest-steppe of the Central-Chernozem zone the role of snow cover in interaction with other natural factors in his Fort formation.

The most important factors in the formation of runoff are snow reserves, moisture and the depth of freezing of the soil before snowmelt. The influence of these factors on the flow

occurs in a complex interaction. Snow reserves do not directly affect runoff, but their amount depends on its value and this is due to the depth of freezing and soil moisture. The depth of freezing specifically affects the formation of runoff. If the soil is thawed or frozen to a depth of no more than 50 cm, the runoff is not formed, since it has a high absorption capacity that ensures the absorption of all snow water. When the soil freezes over 50 cm, the runoff does not depend on its depth at all, it is formed depending on the moisture reserves in the upper (0-50 cm) layer of the soil and the water reserves in the snow. The role of snow reserves depends on the degree of soil moisture.

The developed regression equations of the flow dependence on these factors on different types of arable land (winter, winter, perennial grasses, etc.) allow us to take a new approach to the assessment of the hydrological process and implement important applied developments.

References

1. Barabanov A. T. Erosive-hydrological assessment of the interaction of natural and anthropogenic factors in the formation of surface runoff of meltwater and adaptive landscape agriculture. Volgograd: Federal research CENTER of Agroecology RAS, 2017. 188 p.
2. Barabanov A. T., Petelko A. I. Forecasting of surface runoff of TA-ly waters from agricultural lands in the forest-steppe part of the Volga basin // Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: science and higher professional education. 2018. No. 4 (52). P. 1-7. DOI 10.32786/2071-9485-2018-04-5
3. Dolgov S. V., Koronkevich N. I., Barabanova E. A. Modern changes in surface runoff and infiltration of meltwater on agricultural land in the forest-steppe and steppe zones of the Russian plain and their consequences // Water management in Russia: problems, technologies, management. 2018. No. 4. P. 78-91.
4. Komissarov M. A., Gabbasova I. M. Soil erosion during snowmelt on the polar slopes in the southern Urals // Pedology. 2014. No. 6. P. 734-743.
5. Koronkevich N. I., Georgiadi A. G., Yasinsky S. V. About hydrological changes // Questions of geography. 2018. No. 145. P. 739-744.
6. Modeling of processes of anti-erosion agriculture and agroforestry / A. V. Panfilov, P. N. Proezdov, A. V. Rozanov, A. V. Karpushkin // Agrarian scientific journal 2017. No. 9. P. 19-23.
7. Mukhin V. M. Methods of forecasting water inflow to reservoirs during the spring flood // Proceedings Of The Hydrometeorological Center Of Russia. Hydrometeorological forecasts. 2014. Issue 351. P. 108-140.
8. Assessment of the impact of climate change on the water regime and flow of rivers in the Volga basin / N. I. Alekseevsky, N. P. Frolova, M. M. Antonova, M. I. Igonina // Water: chemistry and ecology. 2013. No. 4. Pp. 3-12.
9. Panov V. I. Losses of atmospheric precipitation from unprotected fields in the steppe arid sub-region, their significant reduction and stabilization of the hydro-resource potential of agriculture by the creation of forest-reclaimed (forest-agrarian) basin agroecolandscapes// Proceedings of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences. 2016. Vol. 18. No. 2 (2). P. 472-478.
10. Shabaev A. I. Selected works. Soil erosion and the adaptive-landscape agriculture. Saratov: YISHUV, 2017. 648 p.
11. Sheppel P. A. Special spring release of flood waters of the Volga. Volgograd: Nizhne-Volzhskoe publishing house, 1990. 191 p.
12. Pimentel D., Burgess M. Soil erosion threatens food production // Agriculture. 2013. №3(3). P. 443-463.
13. Surface runoff and snowmelt infiltration into the soil on plowlands in the forest-steppe and steppe zones of the east European plain / A. T. Barabanov, S. V. Dolgov, N. I. Koronkevich, V. I. Panov, A. I. Petelko // Eurasian Soil Science. 2018. V. 51. № 1. P. 66-72.

Authors Information

Barabanov Anatoly Timofeyevich, chief scientific officer-head of the laboratory for soil protection from erosion Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation, Russian

******* ИЗВЕСТИЯ *******

**НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:
НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

№ 3 (59), 2020

Academy of Sciences (Russia, 400062, Volgograd, pr. Universitetsky, 97), doctor of agricultural sciences, barabanov-a@vfanc.ru

Информация об авторе

Барабанов Анатолий Тимофеевич, главный научный сотрудник - заведующий лабораторией защиты почв от эрозии ФНЦ агроэкологии РАН (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), доктор сельскохозяйственных наук, barabanov-a@vfanc.ru