
**ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ
И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

УДК 631.6.02:556

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА
ТАЛЫХ ВОД С ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ РАЗНЫХ ТИПОВ В ЛЕСОСТЕПНОЙ
И СТЕПНОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНОВ ДОНА И ВОЛГИ**

© 2020 г. А. Т. Барабанов*

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения РАН, Волгоград, 400062 Россия*

**e-mail: barabanov-a@vfanc.ru*

Поступила в редакцию 13.03.2020 г.

После доработки 20.03.2020 г.

Принята к публикации 22.03.2020 г.

Проведен анализ многолетних экспериментальных материалов автора, характеризующих формирование весеннего склонового стока в разных природных зонах бассейнов Волги и Дона, с применением водно-балансового метода (стоковых площадок) его учета, и обобщены литературные данные исследований. Полученный уникальный материал позволил дать характеристику поверхностного стока дифференцированно с рыхлой и уплотненной пашни и оценку стокорегулирующей роли зяблевой обработки почвы. Анализ теоретических кривых вероятности превышения стока показал, что его средние величины и разная вероятности превышения уменьшаются с С на Ю и ЮВ, а разница стока для рыхлой и уплотненной пашни увеличивается. Однако в некоторые годы наблюдается инверсия стока, т.е. в лесостепной зоне он формируется меньше, чем в степной, где он бывает значительный. Это указывает на то, что на формирование стока более мощное воздействие по сравнению с антропогенными факторами оказывают природные факторы, формирующиеся при разных климатических условиях, изменяющихся по зонам и годам.

Ключевые слова: поверхностный сток, уплотненная пашня, рыхлая пашня, зябь, глубина промерзания почв, снеготпасасы.

DOI: 10.31857/S0321059620060024

Методы расчета поверхностного стока талых вод разной обеспеченности с рыхлой и уплотненной пашни не находили широкого применения из-за отсутствия многолетних данных исследований. Из-за коротких рядов наблюдений невозможно было рассчитать теоретические кривые обеспеченности стока. Они, как правило, строились по эмпирическим точкам, поэтому их трудно было экстраполировать [12]. В [3, 4] обобщен большой материал по поверхностному стоку талых вод с сельскохозяйственных угодий природных зон (лесостепь, степь, полупустыня), рассчитаны и построены теоретические кривые обеспеченности за периоды 34–42 года. При этом использованы материалы многих российских ученых [1, 8–11, 14–17], в том числе результаты исследований Всероссийского научно-исследовательского института агролесомелиорации (ВНИАЛМИ) и его опытной сети, полученные под руководством Г.П. Сурмача, Е.А. Гаршинова и А.Т. Барабанова.

К сожалению, в последние примерно два десятилетия резко сократилось количество пунктов наблюдений за поверхностным стоком с сельхоз-

угодий. В этой связи особенно ценны сохранившиеся водно-балансовые стационары с длительными периодами репрезентативных наблюдений в опытной сети ФНЦ агроэкологии РАН (бывший ВНИАЛМИ) в лесостепной, степной и сухостепной зонах европейской части России (ЕЧР).

Автор статьи дополнительно к прежнему обобщению добавил материалы по характеристике стока, полученные за последние 26 лет (1991–2016 гг.). Теперь, когда ряды наблюдений за стоком увеличились до 60–71 года, эти данные позволяют рассчитывать и строить более достоверные теоретические кривые вероятности превышения стока на основе статистического анализа. Необходимость дополнительного обобщения продиктована тем, что в предыдущих работах длина рядов наблюдений была недостаточной для вероятностной оценки стока, тем более, что в последние десятилетия произошли существенные изменения как климата (наступил маловодный период), так и хозяйственной деятельности (сокращение площади пашни, изменение структуры посевных площадей, применение новых агротехнологий,

снижение общего уровня культуры земледелия и т.д.), что сильно повлияло на его формирование. Эти данные позволили точнее, чем предыдущие, оценить показатели стока и выявить влияние различных факторов на его формирование.

В ФНЦ агроэкологии РАН в результате многолетних исследований на трех опытных эрозионных объектах, расположенных в трех географических зонах (лесостепная с серыми почвами, степная с обыкновенными черноземами и каштановыми почвами и сухостепная со светло-каштановыми почвами), получен уникальный материал, позволяющий дать характеристику поверхностного стока дифференцированно с пашни рыхлой и уплотненной и оценку стокорегулирующей роли зяблевой обработки почвы.

Поверхностный сток на серых лесных почвах в лесостепной зоне (Орловская область) начали изучать в 1923 г. под руководством А. С. Козменко, работы были прекращены во время Великой Отечественной войны и возобновлены в 1958 г. по инициативе Г.П. Сурмача. К сожалению, по результатам исследований за период 1923–1941 гг., проводимым на малых водосборах площадью от 50 до 500 га, нельзя было дать дифференцированную оценку весеннего стока с рыхлой (зябь) и уплотненной (многолетние травы, озимые культуры) пашни. Исследования после 1958 г. позволили дифференцировать данные по стоку на разных видах пашни — рыхлой и уплотненной, что очень важно знать при разработке систем адаптивно-ландшафтного земледелия. Рассмотрим результаты исследований за 1959–2016 гг.

Анализ данных показал, что на отвальной зяби (рыхлая пашня), по классификации Г.П. Сурмача [14], очень сильный сток был 3 года из 58, сильный — 5 лет, умеренный — 14, слабый — 5, очень слабый — 4 года, а 27 лет сток отсутствовал. На уплотненной пашне (многолетние травы, озимые и др.) сток отсутствовал 10 лет из 58. В другие годы формировался сток разной величины. За эти годы на зяби средние снегозапасы составляли 96 мм, средняя величина стока — 20 мм, коэффициент стока 0.21; с уплотненной пашни несколько выше — соответственно 103 мм, 30 мм, 0.29. Величина стока с уплотненной пашни была всего на 10 мм больше, чем с зяби. Гидрологическая роль зяби здесь выражена значительно меньше, чем в степной и сухостепной зонах. Даже в годы низкой обеспеченности ($p = 0.01\%$) разница величины стока ≤ 50 мм. Это соответствует данным, полученным ранее в Институте географии РАН [7].

Динамика весеннего стока представлена на рис. 1, по которому видно, что поверхностный сток в значительной степени колеблется по годам и явно наблюдается тенденция его устойчивого снижения от 1959 к 2016 г., особенно в последние почти 20 лет.

По полученным многолетним данным рассчитаны и построены теоретические кривые вероятности превышения склонового стока (рис. 2). Особенность рядов наблюдений за поверхностным стоком — наличие нулевых значений. Для математической обработки таких неоднородных совокупностей данных по стоку применен способ, изложенный в [13]. Он предусматривает построение кривой обеспеченности по ряду данных наблюдений без нулевых значений на основе определения средней величины стока, коэффициента вариации и коэффициента асимметрии с использованием таблицы Фостера–Рыбкина. Для перехода к кривой обеспеченности, соответствующей совокупности с нулевыми значениями, предложено использовать специальную формулу:

$$P_{(x)} = \frac{P_{l(x)} n_1}{n_1 + n_2},$$

где $P_{(x)}$, $P_{l(x)}$ — вероятности превышения, соответствующие суммарной совокупности с нулевыми значениями и без них; n_1, n_2 — объем совокупности без нулевых и с нулевыми значениями.

Такой способ обработки данных позволил построить теоретические кривые вероятности превышения стока, которые хорошо аппроксимируют эмпирические точки исследуемых рядов, и вычислить показатели стока разной вероятности превышения.

На рыхлой пашне сток 20%-й вероятности превышения составляет 39 мм, 70%-й ~1 мм. На уплотненной пашне сток 70%-й обеспеченности >7 мм, 20%-й обеспеченности >50 мм. Таким образом, уплотненная пашня обуславливает небольшое увеличение стока по сравнению с рыхлой пашней.

Итак, в результате многолетних исследований выявлены величины поверхностного стока на рыхлой и уплотненной пашне. Эти материалы могут использоваться при разработке проектов адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

На темно-серых лесных почвах и на выщелоченном черноземе в лесостепной зоне (Курская область) для анализа связи стока талых вод с природными факторами были использованы материалы Всероссийского научно-исследовательского института земледелия и защиты почв от эрозии (ВНИИЗ и ЗПЭ), полученные в опытном хозяйстве института (Медвенский район Курской области), обобщенные и опубликованные в работе [5]. К сожалению, для этого региона нет данных инструментальных наблюдений за стоком талых вод дифференцированно по разным видам пашни за период 1982–2016 гг. на темно-серой лесной почве и за 1989–2016 гг. на выщелоченном черноземе. Поэтому авторы статьи восстановили их на основе корреляционных связей, полученных на серых



Рис. 1. Динамика весеннего склонового стока на серых лесных почвах Орловской области.

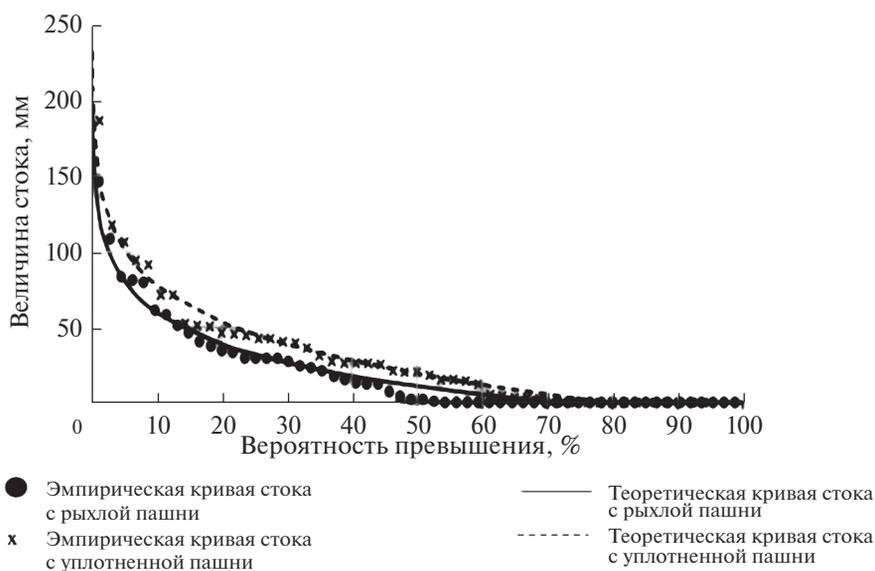


Рис. 2. Кривые вероятности превышения весеннего склонового стока на серых лесных почвах Орловской области.

лесных почвах Орловской области. Это допущение несколько снижает точность определения величины стока, хотя динамика его сохраняется. Отсутствие стока определяется с высокой точностью. Осредненные данные по стоку и запасам снеговой воды опубликованы в работе [5]. Они

показывают, что на рыхлой пашне сток формируется значительно реже, чем на уплотненной пашне, и величина его меньше. Так, на темно-серой лесной почве на рыхлой пашне стока не было 23 года, а на уплотненной — 18 лет из 45. На выщелоченном черноземе сток не формировался на

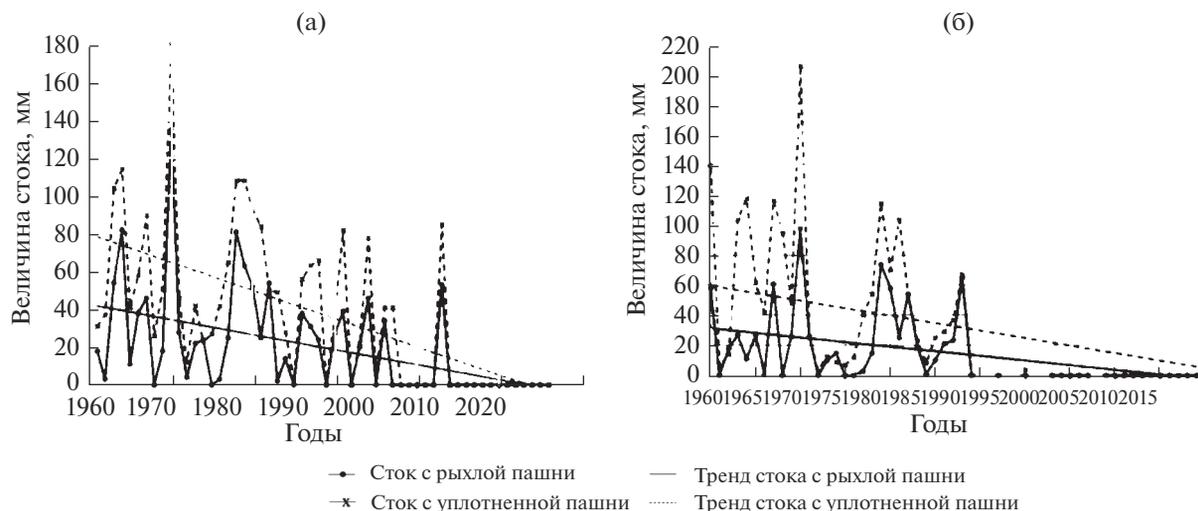


Рис. 3. Динамика весеннего склонового стока на темно-серых лесных почвах (а) и выщелоченных черноземах (б) Курской области.

рыхлой пашне 26 лет из 47, а на уплотненной пашне — 15 лет из 41. Средняя величина стока с рыхлой пашни на темно-серой лесной почве за 45 лет составила 20 мм, а с уплотненной — 37 мм. На выщелоченном черноземе эти показатели были 15 и 37 мм соответственно. В значительной степени величина стока колебалась по годам. На рис. 3 приведена динамика стока талых вод за 45 и 47 лет соответственно. Линии тренда показывают, что в целом величина стока с годами уменьшается, а последние почти 20 лет он совсем не формировался.

Теоретические кривые вероятности превышения поверхности стока для темно-серых лесных почв и выщелоченных черноземов с рыхлой и уплотненной пашни приведены на рис. 4. Они позволили определить показатели стока разной обеспеченности, необходимые для расчета стока при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия. На графиках видны большие различия величин стока с рыхлой и уплотненной пашни. Они также показывают, что на уплотненной пашне поверхностный сток формируется почти ежегодно (7–9 лет из 10), а на рыхлой пашне — только каждые 3–4 года и его величина значительно меньше. В многоводные по стоку годы сохраняется существенное различие величин стока. Сток 10%-й вероятности превышения с рыхлой пашни составляет 25, с уплотненной — 75 мм.

На обыкновенном черноземе в степной зоне (Воронежская область) исследования проводились НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева в Каменной степи. Результаты обобщены автором статьи за период с 1948 по 1981 г. В последующие годы инструментальных наблюдений за стоком на сельскохозяйственных угодьях, к сожалению, не

было. Почти все эти годы склоновый сток отсутствовал в связи с тем, что почва на всей европейской части России была талая или промерзала на небольшую глубину. По этим показателям восстановлены годы без стока по пунктам-аналогам: на обыкновенном черноземе на Поволжской АГЛОС (Волжский район Самарской области) и на выщелоченном черноземе в ОПХ ВНИИЗиЗПЭ (Медвенский район Курской области). Таким образом, ряды по стоку были удлинены на 21 год [5]. Из анализа этого материала видно, что сток на обыкновенном черноземе Воронежской области формируется реже и величина его меньше, чем на выщелоченном черноземе. Средняя величина его за 54 года составила на рыхлой пашне 9, а на выщелоченном черноземе — 15 мм. На уплотненной пашне он был соответственно 32 и 37 мм. На рыхлой пашне 29 лет из 54 сток отсутствовал, 5 лет он был сильный (48–97), 4 года умеренный (14–24) и 13 лет слабый (1–6 мм). На уплотненной пашне 10 лет из 49 сток был очень сильный, 4 года сильный (25–38), 3 года умеренный (21–25) и 5 лет слабый (7–14 мм).

Из анализа динамики весеннего склонового стока (рис. 5) видно, что он сильно меняется по годам и отмечается тенденция его устойчивого снижения от 1948 к 2016 г., особенно в последние два десятилетия.

По полученным многолетним данным рассчитаны теоретические кривые обеспеченности стока для обыкновенного чернозема (рис. 6). На рыхлой пашне сток 10%-й обеспеченности составляет 38 мм, 50%-й — 3 мм, а на уплотненной пашне — соответственно 78 и 19 мм.

В степной зоне (Волгоградская область) получены многолетние данные, характеризующие за-

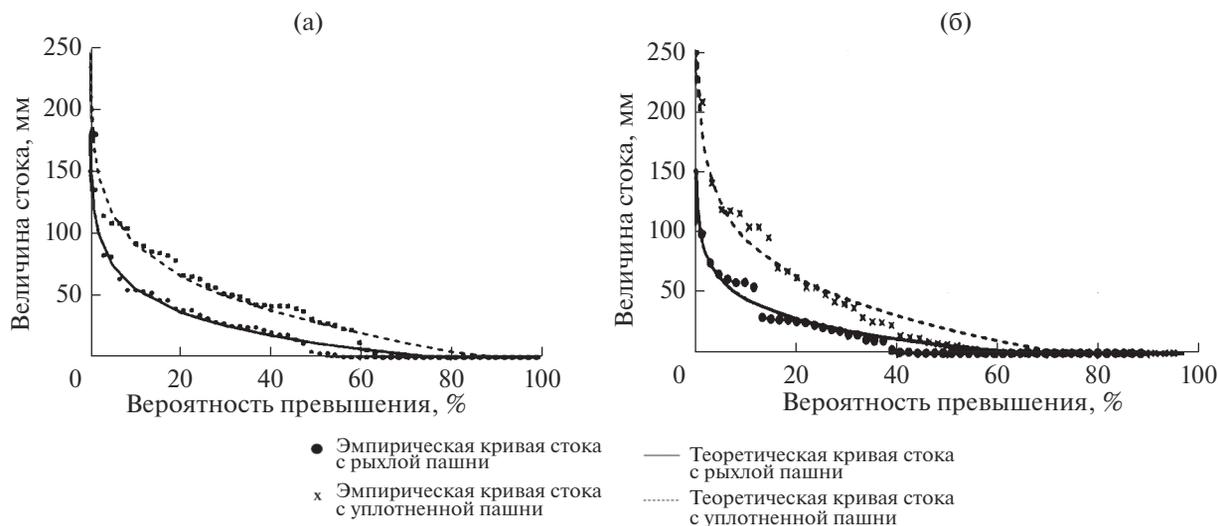


Рис. 4. Кривые вероятности превышения весеннего склонового стока на темно-серых лесных почвах (а) и выщелоченных черноземах (б) Курской области.

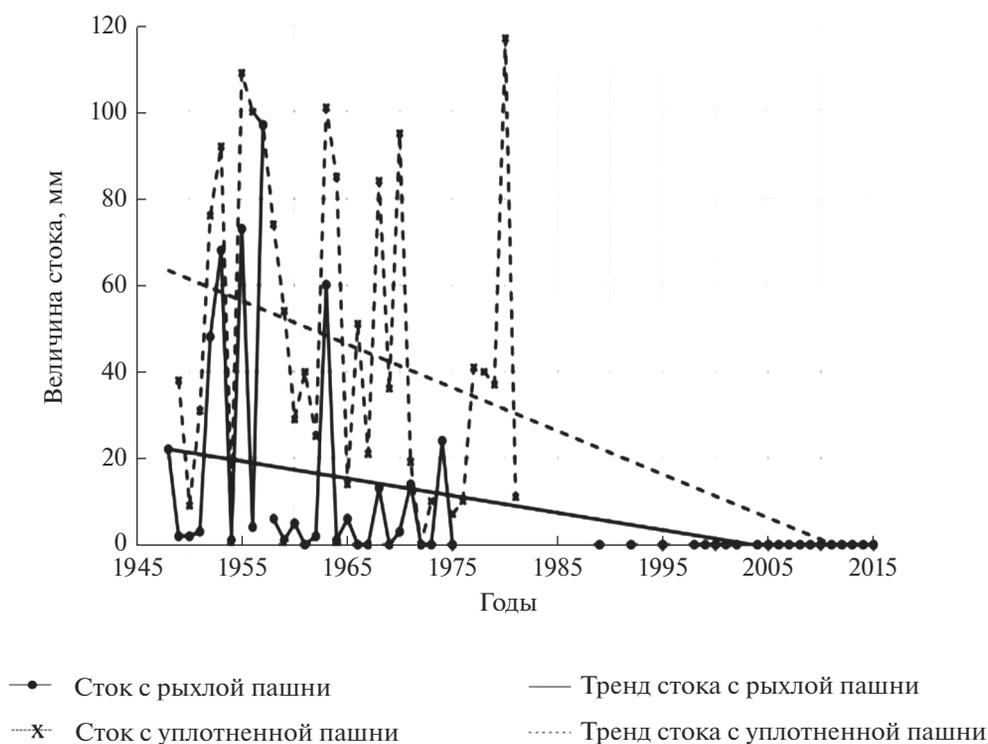


Рис. 5. Динамика весеннего склонового стока на обыкновенных черноземах Воронежской области.

кономерности формирования поверхностного стока талых вод на темно-каштановых почвах (Нижеволжская станция по селекции древесных пород, г. Камышин) за период с 1946 по 1990 г. и на каштановых почвах (Клетский опорный пункт ВНИАЛМИ, ст. Клетская) за период с 1996 по 2016 г.

Анализ этих данных показал, что на отвальной зяби (рыхлая пашня) сток отсутствовал 54 года из 66 или был очень слабый (до 7 мм), слабый и умеренный сток был 12 лет. На многолетних травах и озимых (уплотненная пашня) 27 лет из 63 сток не формировался совсем или был очень слабый, 14 лет – слабый, 13 лет – умеренный,

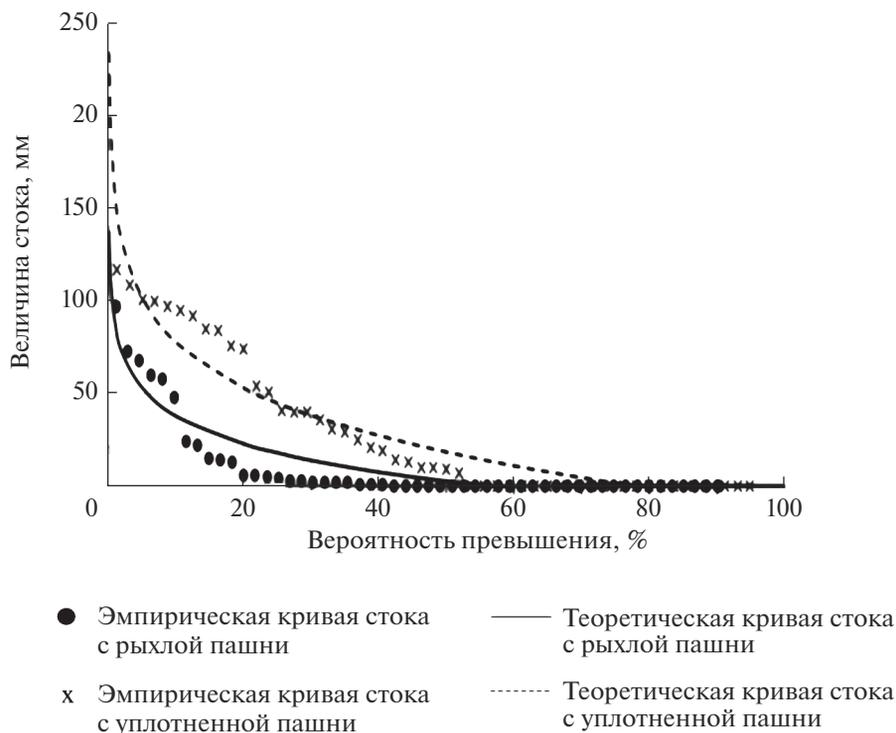


Рис. 6. Кривые вероятности превышения весеннего склонового стока на обыкновенных черноземах Воронежской области.

7 лет — сильный и очень сильный. Средние показатели стока с рыхлой пашни — 5, а с уплотненной — 17 мм. Разница — всего 12 мм. Анализ динамики стока за 71 год (рис. 7) показывает, что он по годам сильно меняется: от 0 до 38 мм на зяби и от 0 до 88 мм на уплотненной пашне. В изменении стока за 1946–2016 гг. виден тренд значительного снижения, особенно в последние два десятилетия, когда поверхностного стока не было совсем на всех видах пашни.

Рассчитанные теоретические кривые обеспеченности стока хорошо аппроксимируют эмпирические данные (рис. 8). Они показывают, что на рыхлой пашне сток бывает 5 лет в десятилетие, а на уплотненной — 8 лет.

Показатели склонового стока разной вероятности превышения с рыхлой и уплотненной пашни по природным зонам приведены в табл. 1: величины стока разной вероятности превышения уменьшаются с С на Ю и ЮВ, а разница стока на рыхлой и уплотненной пашне увеличивается. Такая тенденция обнаружена и при анализе величин стока по годам. Однако в отдельные годы, когда в лесостепной зоне сток бывает меньше, чем в степной и сухостепной зонах, наблюдается его инверсия. Это указывает на то, что на формирование стока более мощное воздействие оказывают природные факторы: глубина промерзания, влажность почвы и снегозапасы, которые формируются

в разных зонах под влиянием разных метеорологических условий, меняющихся по годам. Средние величины стока с уплотненной пашни от серых лесных почв (лесостепь) к каштановым (сухая степь) снижаются с 30 до 17 мм. На рыхлой пашне темпы снижения значительно ниже.

ВЫВОДЫ

Теоретический анализ влияния факторов на сток позволил выявить закономерности его формирования на разных видах пашни, определить показатели среднего и разной вероятности превышения стока и стокорегулирующей эффективности зяблевой обработки в лесостепной и степной зонах. Они дают представление об особенностях его формирования в разных географических зонах. Распределение стока по территории обусловлено природными факторами и сельскохозяйственной деятельностью. Изменение влияния природных факторов на сток происходит по направлению от лесостепи к степи в соответствии с изменениями климатических и гидрометеорологических условий.

Сельскохозяйственная деятельность влияет на формирование стока посредством обработки почвы, структуры посевных площадей, соотношения между уплотненной и рыхлой пашней.



Рис. 7. Динамика весеннего склонового стока на каштановых и темно-каштановых почвах Волгоградской области.

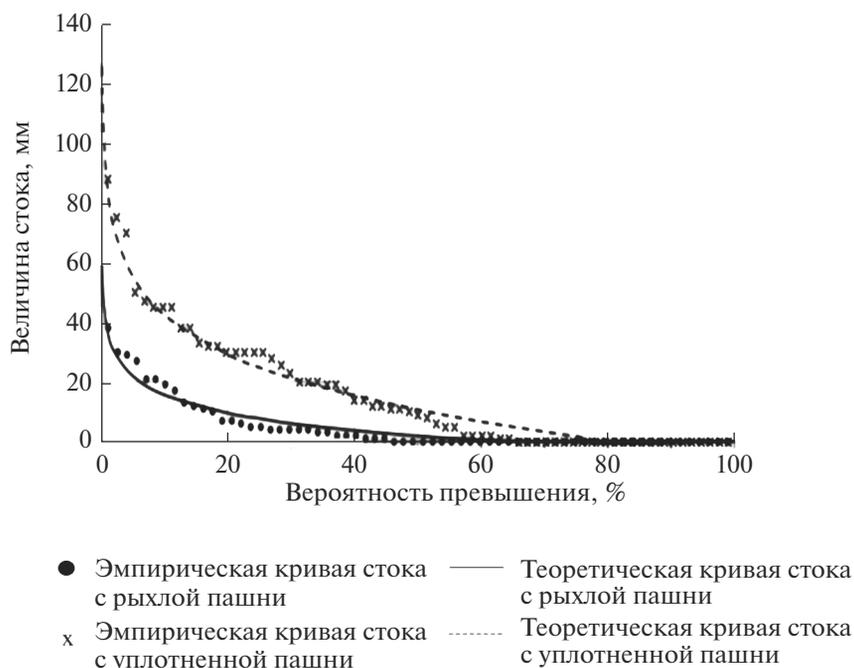


Рис. 8. Кривые вероятности превышения весеннего склонового стока на каштановых и темно-каштановых почвах Волгоградской области.

Стокорегулирующая роль рыхлой пашни (зяблевой обработки) сказывается на уменьшении стока по сравнению с уплотненной. Средняя многолетняя величина стока варьирует на рыхлой пашне от 15–20 мм в лесостепи до 3–9 мм в степи и соответственно от 30–37 до 15–36 мм на уплотненной пашне. Кривые обеспеченности стока

показывают закономерное увеличение разницы слоя стока на рыхлой и уплотненной пашне при уменьшении вероятности превышения. По направлению от лесостепи к степи эта разница увеличивается, т.е. она зависит от водности года: в маловодные годы — небольшая, а в многоводные — очень большая.

Таблица 1. Средние и разной вероятности превышения показатели поверхностного стока талых вод с уплотненной и рыхлой пашни, мм (1 – уплотненная, 2 – рыхлая; C_v – коэффициент вариации, C_s – коэффициент асимметрии)

| Зона, область, почва | Пашня | Среднее | Вероятность превышения, % | | | | | | | C_v | C_s |
|---|-------|---------|---------------------------|-----|----|----|----|----|----|-------|-------|
| | | | 1 | 5 | 10 | 50 | 70 | 80 | 90 | | |
| Лесостепная, Орловская, серая лесная | 1 | 30 | 156 | 101 | 78 | 19 | 5 | 0 | 0 | 1.27 | 1.68 |
| | 2 | 20 | 129 | 81 | 59 | 11 | 0 | 0 | 0 | 1.52 | 1.96 |
| Лесостепная, Курская, темно-серая лесная | 1 | 37 | 169 | 115 | 91 | 28 | 12 | 4 | 0 | 1.07 | 1.45 |
| | 2 | 20 | 118 | 74 | 55 | 11 | 2 | 0 | 0 | 1.36 | 2.07 |
| Лесостепная, Курская, выщелоченный чернозем | 1 | 37 | 192 | 123 | 93 | 20 | 2 | 0 | 0 | 1.44 | 1.41 |
| | 2 | 15 | 98 | 61 | 44 | 6 | 0 | 0 | 0 | 1.76 | 1.55 |
| Степная, Воронежская, обыкновенный чернозем | 1 | 32 | 157 | 102 | 78 | 19 | 5 | 0 | 0 | 1.30 | 0.95 |
| | 2 | 9 | 88 | 53 | 38 | 3 | 0 | 0 | 0 | 2.40 | 2.11 |
| Степная, Самарская, обыкновенный чернозем | 1 | 36 | 124 | 91 | 75 | 30 | 16 | 9 | 0 | 0.87 | 0.88 |
| | 2 | 7 | 54 | 33 | 24 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1.79 | 2.05 |
| Степная, Волгоградская, темно-каштановая | 1 | 17 | 84 | 55 | 42 | 11 | 5 | 2 | 0 | 1.24 | 1,72 |
| | 2 | 5 | 37 | 21 | 15 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1.80 | 2.31 |
| Степная, Волгоградская, светло-каштановая | 1 | 15 | 75 | 52 | 41 | 12 | 4 | 0 | 0 | 1.19 | 1.14 |
| | 2 | 3 | 38 | 20 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.43 | 3.42 |

Динамика весеннего стока показывает, что он значительно колеблется по годам и явно наблюдается тенденция его устойчивого снижения от 1959 к 1996 г., а в последние 20 лет его совсем не было, что связано в основном с изменениями гидрометеорологических условий, обуславливающих природные факторы стока. Характерная особенность в последние десятилетия – значительное увеличение водопоглощения талых вод в среднем на 25–45%.

Знание закономерностей формирования поверхностного стока талых вод с сельскохозяйственных угодий на разных видах пашни позволяет более точно его прогнозировать и дифференцированно подходить к разработке системы мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическими процессами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеевский Н.И., Фролова Н.П., Антонова М.М., Игонина М.И. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги // Вода: химия и экология. 2013. № 4. С. 3–12.
2. Антонов В.И. Особенности формирования поверхностного стока талых вод с малых водосборов сухой степи // Противоэрозионная мелиорация: бюл. ВНИАЛМИ. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1984. Вып. 2(43). С. 18–20.
3. Барабанов А.Т. Агролесомелиорация в почвозащитном земледелии. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1993. 156 с.
4. Барабанов А.Т. Научные основы управления эрозионно-гидрологическим процессом // Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 1(33). С. 33–38.
5. 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.
6. Борец В.П., Попов Н.С. Опыт коренной мелиорации размытых земель в колхозе “Красный Октябрь” Камышинского района Волгоградской области // Вопр. защиты почв от эрозии: бюл. ВНИАЛМИ. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1978. Вып. 2(27). С. 68–70.
7. Водный баланс основных экосистем Центральной лесостепи: материалы эксперимент. исслед. / Под ред. А.М. Грина. М.: ИГАН СССР, 1974. 133 с.
8. Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Гидрологические последствия изменения землепользования в бассейне реки Москвы // Изв. РАН. Сер. геогр. 2015. № 5. С. 38–45
9. Комиссаров М.А., Габбасова И.М. Эрозия почв при снеготаянии на пологих склонах в южном Предуралье // Почвоведение. 2014. № 6. С. 734–743.
10. Мухин В.М. Методы прогнозирования притока воды в водохранилища за период весеннего половодья // Тр. Гидрометцентра России. Гидро-

- метеорологические прогнозы. Вып. 351. 2014. С. 108–140.
11. *Панфилов А.В., Проездов П.Н., Розанов А.В., Карпушкин А.В.* Моделирование процессов противоэрозионного земледелия и агролесомелиорации // Аграрный науч. журн. 2017. №9. С. 19–23.
 12. *Пынзарю Н.М.* К обоснованию параметров противозрозионных лесных полос в районе Правобережья Нижней Волги // Агролесомелиоративные основы защиты почв от водной эрозии и рациональное использование эродированных почв. 1980. Вып. 3(34). С. 17–19.
 13. *Рождественский А.В., Чеботарев А.И.* Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 424 с.
 14. *Сурмач Г.П.* Водная эрозия и борьба с ней. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 254 с.
 15. *Сурмач Г.П., Ломакин М.М., Шестакова Л.П.* Прогнозирование стока талых вод // Земледелие. 1989. № 4. С. 29–31.
 16. *Сухановский Ю.П.* Вероятностный подход к расчету эрозионных потерь почвы // Почвоведение. 2013. № 4. С. 474.
 17. *Шаббаев А.И.* Избранные труды. Эрозия почв и адаптивно-ландшафтное земледелие. Саратов: НИИСХЮВ, 2017. 648 с.