



УДК 631.459; 631.487; 628.2

DOI 10.18413/2075-4671-2019-43-1-16-29

**ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ
ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ТАЛЫХ ВОД В ЛЕСОМЕЛИОРИРОВАННЫХ
АГРОЛАНДШАФТАХ В ЛЕСОСТЕПНОЙ И СТЕПНОЙ ЗОНАХ
ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

**THE INFLUENCE OF THE MAIN NATURAL FACTORS ON THE FORMATION
OF SURFACE FLOW OF MELT WATER IN FOREST-RECLAIMED
AGRICULTURAL LANDSCAPES IN THE FOREST-STEPPE AND STEPPE ZONES
OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA**

**А.И. Петелько¹, В.И. Панов²
A.I. Petel'ko¹, V.I. Panov²**

¹ФГБНУ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, филиал ФНЦ агроэкологии РАН
Новосильская ЗАГЛЮС им. А.С. Козменко

Россия, 303035, Орловская обл., г. Мценск, ул. Семашко, 2а

²ФГБНУ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, филиал ФНЦ агроэкологии РАН Поволжская АГЛЮС

Россия, 443534, Самарская область, Волжский район, п. Новоберезовский, ул. Специалистов, 11

¹Federal scientific center for agro-ecology, integrated land reclamation and protective afforestation RAS,
branch of FSC of agroecology RAS, Novosilskaya ZAGFES
2a Semashko St, Mcensk, Orlj region, 303035, Russia

²Federal scientific center for agro-ecology, integrated land reclamation and protective afforestation RAS,
branch of FSC of agroecology RAS – Volga GFES,
11 Specialistov St, vil. Novoberyozovskij, Volzhsky district, Samara region, 443534, Russia

E-mail: aglos163@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается связь весеннего стока талых вод с основными природными факторами – снежным покровом, влажностью почв и глубиной промерзания почвы. Результаты получены благодаря постановке экспериментальных опытов в полевых условиях на специально оборудованных контрольных и комбинированных стоковых площадках в лесомелиорированном агроландшафте (поля с системами контурных стокорегулирующих лесных полос) и на незащищенных (без лесных полос) полях. За 3-летний период исследований (2014–2016 гг.) получены элементы весеннего водного баланса – влагозапас в снеге, инфильтрация, поверхностный сток по двум территориям – на незащищенных полях и в лесомелиорированном агроландшафте, созданном на основе Докучаевского ландшафтно-географического влагоресурсосберегающего принципа. Полученные экспериментальные результаты по двум географическим зонам (переходная от лесной в лесостепной зоне – Орловская область и черноземная степная – Самарская область), подтверждают большую роль главных природных факторов (влагозапаса в снеге, влажности почвы и глубины промерзания на все элементы водного баланса талых вод). Лесомелиоративная защита полей позволяет эффективно и целенаправленно управлять элементами водного баланса: дополнительно накапливать снег, утеплять почву от промерзания, увеличивать весеннюю впитывающую способность почв и общую инфильтрацию (водопоглощение на защищенных полях), снижать поверхностный сток. В лесомелиорированном агроландшафте в сравнении с незащищенными полями (без лесных полос) весеннее водопоглощение может быть увеличено на 45–70 мм и больше (сохранение снега, поглощение талых вод, снижение стока).

Abstract

In the article, the connection of spring flow of melt water and other elements of the equation of water balance (moisture in the snow and soil water) pine natural factors-soil moisture, moisture in the snow cover, the depth of soil freezing. The results obtained by experimental setting full-scale experiments in the field water balance method on a specially equipped control and combined stock areas in forest landscapes (poles systems storehouse contoured forest strips) and unprotected fields (fields with no forest belts). During the 3-year period of research (2014–2016), all elements of the spring water balance – moisture in snow cover, absorption into the soil (infiltration), surface runoff – in two agricultural areas – in unprotected fields and in the forest-reclaimed agricultural landscape created on the Dokuchaev landscape-geographical moisture-saving principle-were obtained at the experimental facilities. The experimental results obtained for two natural-geographical zones of the southern slope of The Russian plain (European part of the Russian Federation) – the transitional part of the forest zone in the forest – steppe (Orel region) and black earth steppe (Samara region) – confirm the important role of the main natural factors (moisture in the snow, the humidity of the upper soil layer and the depth of freezing) on all elements of the water balance of melt water. During the observation period there were favorable weather conditions (average soil moisture, its weak and shallow freezing, high soil absorption capacity in the spring); surface runoff at the experimental facilities was not formed (there were low-water runoff years), which contributed to the complete absorption of all melt water. Forest reclamation field protection allows you to effectively and purposefully manage and convert elements of the water balance of melt water – additionally accumulate snow, insulate the soil from deep freezing, increase spring soil absorption capacity and General infiltration (water absorption in protected fields), reduce surface runoff. In forest – reclaimed agricultural landscapes, in comparison with unprotected fields (without forest strips), spring soil moisture can be increased by 45–70 mm and more.

Ключевые слова: почва, сток, природные факторы, снегоотложение, промерзание, влажность, влагозапасы, водопоглощение.

Keywords: soil, runoff, natural factors, snow removal, freezing, humidity, moisture reserves, water absorption.

Введение

Перед отечественным сельским хозяйством стоит ряд первоочередных проблем, требующих неотложного решения: повышение продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных культур, улучшение агроэкологических и гидрологических условий их выращивания, эффективная противоэрозионная защита почв от разрушительной антропогенной эрозии, сохранение и повышение почвенного плодородия.

Отечественной аграрной наукой разработаны [Козменко, 1954; Сурмач и др., 1973; Сурмач, 1976] и продолжают разрабатываться новые противоэрозионные комплексные мелиорации [Швебс, 1981; Ландшафтное земледелие..., 1999; Кочетов, 1999; Панов, 2011; Лисецкий, 2013], ведется создание новых и совершенствование имеющихся противоэрозионных систем, методов, приемов [Докучаев, 1936; Козменко, 1954; Сурмач, 1976; Кочетов, 1999; Балакай и др., 2014].

Большие и многоплановые исследования по водной эрозии методами водного баланса (стоковые площадки, опытные водосборы) и по разработке противоэрозионных технологий ведутся в зарубежных странах [Smith, Baillie, 1985; Walling, 1997].

Борьба с эрозией почв является общенациональной проблемой, она должна решаться как на государственном уровне (финансирование крупных республиканско-областных целевых затратных долгосрочных программ, генсхем, межхозяйственных и внутрихозяйственных проектов противоэрозионного природообустройства с лесогидромелиорацией и других программ и проектов с государственным финансированием), так и на местном уровне финансирования (внутрихозяйственных противоэрозионных работ в хозяйствах различных форм собственности), а также за счет собственных средств предприятий с последующей дотацией из бюджета и



муниципальных средств. Большое значение придается использованию прогрессивных природоподобных методов и технологий, применению эффективного и бережного природопользования, сохранению природы. Именно к такой методологии относится Докучаевский ландшафтно-географический принцип экологического природопользования [Докучаев, 1936], предложенный В.В. Докучаевым в конце XIX столетия и поныне развиваемый в нашей стране.

Постановка задачи

В Федеральном научном центре (ФНЦ) агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, и в его филиалах (опытная зональная сеть) разработан комплекс противоэрозионных почвозащитных мероприятий с большим участием Новосильской ЗАГЛОС им. А.С. Козменко и Поволжской АГЛОС. В его методологической основе лежит Докучаевский ландшафтно-географический принцип [Докучаев, 1936] с единым противоэрозионным поликластерным (агро-, лесо-, фито- и гидромелиоративными кластерами защиты) агроэколандшафтом [Козменко, 1954; Сурмач, 1976].

ФНЦ, его зонально-географические филиалы (Новосильская ЗАГЛОС им. А.С. Козменко и Поволжская АГЛОС) проводят исследования по развитию и совершенствованию противоэрозионного кластера лесомелиоративных приемов – стокорегулирующих лесных полос. Цель данной работы – выявить на комбинированных стоковых площадках методом водного баланса влияние природных факторов на формирование весеннего поверхностного стока в трехлетний период 2014–2016 гг. в лесомелиорированных агроценозах (зябь, многолетние травы). Эти агрофоны защищены системой стокорегулирующих лесных полос для воздействия, управления и улучшения противоэрозионного и гидрологического режима защищаемой территории.

В настоящее время научные сотрудники перешли на постановку многофакторных опытов противоэрозионной агролесомелиорации, которые позволяют получать наиболее полную и объективную характеристику природных факторов формирования поверхностного стока с разных агрофонов и угодий [Назаров, 1981; Проездов, 1983; Барабанов, 1993; Кочетов, 1999; Мушаева, Демидов, 2015; Медведев и др., 2016; Барабанов, 2017; Барабанов, 2018] в лесомелиорированных агроценозах с последующей его трансформацией системами контурных стокорегулирующих лесных полос с гидроусилением (валы, щели, каналы) для лучшего водопоглощения [Сурмач и др., 1973].

Исследования проводили в двух географических зонах – лесостепной (ФНЦ – агроэкологии РАН – Новосильская ЗАГЛОС им. А.С. Козменко) и степной (ФНЦ агроэкологии РАН – филиал Поволжская АГЛОС) на стоково-эрозионных стационарах с контрольной и комбинированными стоковыми площадками.

По программе научных исследований изучали влияние низкорослого кустарника в стокорегулирующей лесной полосе комбинированной конструкции на снегоотложение, промерзание и влажность почвы в эрозионно-гидрологическом процессе. Полученные материалы позволяют выявить влияние основных природных факторов на формирование поверхностного стока талых вод и оценить их роль [Барабанов, 2017]. Кроме того, это дает возможность разработать новые приемы регулирования снегоотложения на склоновых землях с защитными лесными насаждениями и на влагообеспеченность самих лесных полос в годы с сильными и катастрофическими засухами (в опыте на Поволжской АГЛОС), кроме варианта лесной полосы комбинированной конструкции, для сравнения эффективности снегонакопления внутри самой лесной полосы были созданы еще два варианта лесополосы аэродинамической конструкции: продуваемая с подчисткой крон до 2 м и ажурная – с наличием ветвей по всему профилю.

Объект и методы исследований

Для сравнительного анализа полученных результатов в зональном аспекте исследования были развернуты на двух полигонах:

Полигон А. Исследования в лесостепной зоне на Новосильской ЗАГЛОС им. А.С. Козменко на темно-серых лесных почвах.

Полигон Б. Исследования в степной черноземной зоне Самарского Заволжья на Поволжской АГЛОС.

Полигон А. Научные опыты со стоковыми площадками закладывались на территории ФГУП «Новосильское» Орловской области, где внедрен комплекс противоэрозионных мероприятий в натуре. Склон, на котором расположены стоковые площадки, имеет южную экспозицию между суходолами Большие Зеренки и ложиной Генералов верх. Крутизна склона составляет 3–4°. Почвы серые, лесные, средне- и сильносмытые.

В многофакторном стационарном опыте расположена четырехрядная лесная полоса 1960 г. посадки. Схема посадки Б-Т-Т-Б. Размещение растений 2,5 × 1 м. В стокорегулирующей лесополосе комбинированной конструкции на опытном участке проведены посадки низкорослого кустарника.

Схема опыта:

1. Зяблевая вспашка поперек склона (контроль)
2. Зяблевая вспашка поперек склона + лесная полоса с кустарником спиреи nipпонской.
3. Зяблевая вспашка поперек склона + лесная полоса с лапчаткой кустарниковой «Голдфингер».
4. Зяблевая вспашка поперек склона + лесная полоса с кустарником спиреи Дугласа.

Стоковые площадки закладывают ежегодно в осенний период. Размер площадок 20 × 100 м. В нижней части лесной полосы установлены водосливы.

Перед снеготаянием высота снега измерялась на стоковых площадках снегомерной рейкой по двум снегомерным профилям через 2–4 м в 3–5 кратной повторности. Плотность снега определялась весовым снегомером ВС-43 на каждой стоковой площадке в 6-ти точках в 2-х кратной повторности. Глубина промерзания почвы определялась по наличию кристаллов льда при бурении. Образцы почвы на влажность отбирали в 3-х кратной повторности со следующих глубин: 0–3, 10, 20, 30, 40, 50, 75 и 100 см. Применяли термостатно-весовой метод. В период снеготаяния наблюдения за оттаиванием почвы проводили при помощи металлической шпильки в 3–5-ти кратной повторности в верхней, средней и нижней частях стоковых площадок.

По программе научных исследований изучали влияние низкорослого кустарника в стокорегулирующей лесной полосе комбинированной конструкции на снегоотложение, промерзание и влажность почвы в эрозионно-гидрологическом процессе. Полученные материалы позволяют выявить влияние основных природных факторов на формирование поверхностного стока талых вод и оценить их роль [Барабанов, 1993]. Это дает возможность разработать новые приемы регулирования снегоотложения на склоновых землях защитными лесными насаждениями.

Полигон Б. Многолетний стоково-эрозионный стационар с комплексом вариантов комбинированных и контрольных площадок заложен на территории почвозащитного севооборота землепользования Поволжской АГЛОС (Волжский район, Самарская область), в 10 км южнее г. Самара на склоне восточной экспозиции крутизной 3,0–4,5° водосборного бассейна суходола «Большой Лопатинский». Почвы – чернозем обыкновенный, тяжелосуглинистый, среднесмытый. Агрофон – многолетние травы из костреца безостого.



Защитная лесная полоса № 42а – контурная, стокорегулирующая, 4-х рядная, однопородная (из березы повислой или бородавчатой) 1974 г. посадки с междурядьями 3 м и размещением в ряду через 1.0–1.2 м (очень сильно, как и все березовые насаждения, практически на 70–80 %, пострадало от двух сильнейших засух 2009 г. и, особенно, 2010 г.). Размер площадок 20 × 200 м. В нижних частях установлены водосливы Томпсона с тонкой стенкой и углом выреза 30°.

Варианты стоковых площадок (схема опыта):

1. Комбинированная площадка (лесная полоса + полевая часть 200 м с многолетними травами). Лесная полоса с низкорослым кустарником (кизильник гладкий) – комбинированной конструкции.

2. Контрольная стоковая площадка (участок поля с многолетними травами, без лесной полосы).

3. Комбинированная площадка: многолетние травы + лесная полоса продуваемой конструкции (крона поднята на 2 м подчисткой сучьев).

4. Комбинированная площадка: многолетние травы + лесная полоса ажурной конструкции.

В течение года проводили комплекс наблюдений за влажностью почв, зимним промерзанием почвы, высотой и влагозапасами в снеге, ходом снеготаянием и стока в соответствии с типовыми методиками для водно-балансовых наблюдений [Сурмач, 1976; Кочетов, 1999; Барабанов, 2017; Барабанов, 2018]. Этот сложный метод исследования признан наиболее точным для исследования элементов водного баланса [Сурмач, 1976; Назаров, 1981; Коронкевич, Ясинский, 1999; Медведев и др., 2016]. Снег измеряли снегомерной рейкой (с точностью до 1 см) на снегомерных маршрутах, точках через 5–10 м в 3-кратной повторности, плотность снегомером ВС-43, влажность – термовесовым способом. Глубину промерзания определяли методом бурения, по кристалликам льда, используя специальный бур для мерзлых почв. Сток определяли измерением высоты сливающейся через водослив воды и расчетами по гидрометрическим таблицам. Собраны необходимые гидрометеорологические сведения (по ближайшей агрометеостанции) по каждому гидрологическому году. Это позволило дать характеристику весны каждого года по величине поверхностного стока и оценить конструкции лесных полос по снегонакоплению.

Результаты исследований и их обсуждение

Полигон А. Охарактеризуем сложившиеся погодные условия по годам.

2013–2014 гидрологический год. Период средней температуры воздуха через 10 °С в сторону понижения произошел 23 сентября 2013 г., т. е. на три дня раньше многолетних значений. На 20 ноября почва промерзла на 1–7 см. Снега было мало. На 30 декабря высота снежного покрова составила 1–3 см, что на 8–10 см меньше средней величины на эту дату. Промерзание почвы оказалось меньше обычного. Дул ветер восточной четверти – 8–10 м/с. В дальнейшем во второй декаде наблюдалась ветреная погода с частыми выпадениями осадков в виде снега и неустойчивым температурным режимом. Поэтому отмечалось неоднократное образование и разрушение небольшого снежного покрова.

На стоковых площадках перед снеготаянием промерзание почвы было неглубоким – 14–19 см, местами почва талая. Высота снега на агрофонах была незначительная – перед полосой – 15–20 см, на зяблевой вспашке – 14–16 см. Влагозапасы по слоям распределялись неравномерно. На контроле в слое 0–30 см влагозапасы на стоковой площадке в средней части на зяби – 127 мм, а в лесной полосе с лапчаткой «Голдфингер» – 145 мм, т. е. на 17.8 мм больше. Глубже происходит перераспределение влагозапасов в сторону уменьшения.

Сложившиеся гидрометеорологические условия холодного периода со сменой отрицательных и положительных температур, слабое промерзание почвы, медленное снеготаяние в дневные часы и промораживание оттаявшего слоя почвы во время заморозков в ночное время и другие факторы обусловили впитывание всей талой воды в почву. Водопоглощение на зяби (контроль) составило 35 мм, а на зяблевой обработке со стокорегулирующей комбинированной лесной полосой с кустарником эти показатели выше – 43 мм. Весенний сток при неглубоком промерзании почвы не сформировался.

2014–2015 гидрологический год. Осень 2014 была теплее на 0.1 °С, а осадки составили 53.9 % от нормы. Зима была теплой (–3.8 °С против –8.7 °С от средних многолетних данных), осадков выпало 114 %. Март был очень теплым, лишь в конце месяца, т. е. 28 числа, произошло резкое похолодание, выпал снег, дул сильный ветер со скоростью 20 м/с, который повалил электрические опоры. В течение всего мартовского периода теплый режим был неустойчивым, осадки превысили норму – 123.3 %.

Перед снеготаянием средняя высота снега была незначительная – 10–14 см, плотность снега – 0.36–0.38 г/см³. Промерзание почвы на стоковых площадках неглубокое – 17–19 см. Зимние оттепели способствовали частичному оттаиванию замерзшего слоя почвы. Период снеготаяния был растянут. Вода постепенно впитывалась в почву, не вызывая эрозии. Значительно увлажнился пахотный горизонт. Влагозапасы по слоям распределились неравномерно. На контроле в слое 0–30 см запасы влаги на зяби от 137 до 192 мм, а на вариантах зяби с кустарником произошло некоторое увеличение их – 140.8–196.2 мм. Глубже 0–50 см происходило перераспределение влагозапасов. Здесь наблюдается варьирование влажности почвы. Под влиянием лесной полосы с низкорослым кустарником влага на глубине распределяется неравномерно. Это зависит от наличия прослоек различного гранулометрического состава [Качинский, 1927].

Установлено, что в этом году слабое промерзание почвы оказало свое влияние на формирование стока талых вод. Таким образом, сложившиеся необычные погодные условия способствовали постепенному впитыванию всей талой воды в почву и обусловили отсутствие стока. На всех агрофонах водопоглощение колебалось от 58 до 70 мм. Наибольшее просачивание снеговой воды (70 мм) наблюдалось на варианте зяблевая вспашка поперек склона + лесная полоса с низкорослым кустарником лапчатки «Голдфингер».

2015–2016 гидрологический год. Следует отметить, что осень 2015 г. была теплой, особенно в сентябре. Октябрь был почти сухим. В ноябре выпало более двух норм осадков. Почва ушла в зиму в увлажненном состоянии. Осадки выпадали в виде дождя и мокрого снега. Во время оттепелей снег таял, к концу декабря промерзание почвы составило 3–4 см. Очень снежным был январь. Обильные осадки составили 287.5 % от многолетних величин. В конце января наблюдалась слабая оттепель. Снежный покров залегал неравномерно. Средняя высота снега в январе колебалась от 19 до 25 см.

В феврале морозы сменялись оттепелями. Перед снеготаянием на полевых опытах средняя высота снега составила 15–22 см, плотность снега – 0.29–0.30 г/см³. Большие снегозапасы (63 мм) наблюдались на агрофоне зяблевая вспашка поперек склона + лесная полоса с лапчаткой кустарниковой «Голдфингер». Средние запасы воды в снеге для всех стоковых площадок равнялись 54 мм.

Больших различий по высоте снежного покрова не наблюдалось. Этому способствовали сложившиеся погодные условия холодного периода с частыми оттепелями. Промерзание почвы было неглубоким – в ноябре – 10–18 см, в декабре – 23–26 см, в январе – 34–35 см, в феврале – 35–50 см. В конце марта установилась теплая погода, которая способствовала таянию снега и оттаиванию почвы.

Промерзание почвы перед снеготаянием было слабое – 1–5 см. Такая глубина промерзания почвы зависела от мощности снежного покрова и температурного режима почвы в зимний период.



Влажность почвы изменялась в зависимости от сложившихся погодных условий. Наиболее увлажненным перед снеготаянием был слой 0–30 см. На контроле без лесополосы в слое 0–30 см влагозапасы на стоковой площадке в нижней части на зяби составили 113 мм, а в нижней части лесополосы – 130 мм, т. е. на 17 мм больше. Глубже 30 см происходило варьирование влажности почвы, что связано с пестротой литологического состава почвогрунтов.

Снеготаяние длилось 15 дней. Оно прерывалось ночными заморозками. В дневные часы снег постепенно таял и оседал. Талая вода постепенно впитывалась в оттаявшую почву. Из-за слабого промерзания почвы сток не сформировался. Вся снеговая вода просочилась в почву. На стоковых площадках водопоглощение составило 70–88 мм.

Приведем средние данные за 2014–2016 гг. по снегоотложению, запасам воды в снеге, водопоглощению (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Средние показатели снегозапасов на разных агрофонах за 2014–2016 гг.
Averages of snow cover on different soil fertility for the period 2014–2016

| Варианты опыта | Высота снега, см | Плотность снега, г/см ³ | Запасы воды в снеге, мм |
|---|------------------|------------------------------------|-------------------------|
| Ст. пл. №1 (контроль) – зябь без лесной полосы. | 13 | 0.28 | 36 |
| Ст. пл. №2, комбинированная – зябь + лесная полоса с кустарником спиреи ниппонской | 15 | 0.28 | 41 |
| Ст. пл. №3, комбинированная – зябь + лесная полоса с лапчаткой кустарниковой «Голдфингер» | 17 | 0.28 | 48 |
| Ст. пл. №4, комбинированная – зябь + лесная полоса с кустарником спиреи Дугласа | 15 | 0.28 | 42 |

Снегозапасы воды на контроле без лесополосы составили 36 мм. На агрофонах зяби с лесной полосой и кустарником снегозапасы увеличились на 5–12 см по сравнению с контролем. Это свидетельствует о том, что снег задерживался перед лесной полосой. Что касается стока талых вод, то в течение 3-х лет его не наблюдалось (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Водопоглощение на вариантах опыта в среднем за 2014–2016 гг.
Water absorption on different variants of experience for the period 2014–2016

| Агрофон | Осадки за период снеготаяния, мм | Запасы воды в снеге + осадки за период снеготаяния, мм | Сток, мм | Водопоглощение, мм |
|--|----------------------------------|--|----------|--------------------|
| Ст. пл. №1 (контроль): зябь без лесной полосы | 19 | 55 | 0 | 55 |
| Ст. пл. №2, комбинированная: зябь + лесная полоса с кустарником спиреи ниппонской | 19 | 60 | 0 | 60 |
| Ст. пл. №3, комбинированная: зябь + лесная полоса с лапчаткой кустарниковой «Голдфингер» | 19 | 67 | 0 | 67 |
| Ст. пл. №4, комбинированная: зябь + лесная полоса с кустарником спиреи Дугласа | 19 | 61 | 0 | 61 |

При неглубоком промерзании создаются благоприятные условия для просачивания всей талой воды в почву. Наибольшее впитывание (67 мм) наблюдалось на зяблевой вспашке с лесной полосой и лапчаткой кустарниковой (см. табл. 2).

Аналогичные результаты получены по этой географической зоне, в Житомирском Полесье [Васенков и др., 2013].

Таким образом, роль природных факторов в формировании поверхностного стока в лесостепной зоне очевидна. При слабом промерзании почвы, независимо от снеготолщин и влажности почвы, формирование поверхностного стока талых вод не происходит. Оценив роль природных факторов стока на эрозионно-гидрологические процессы, необходимо управлять ими. Такую функцию успешно выполняют защитно-мелиоративные лесные насаждения. Регулируя характер снеготолщины с помощью стокорегулирующих комбинированных лесополос с низкорослым кустарником до 50 см, можно добиться предохранения почвы от глубокого промерзания или резкого его снижения. Наблюдения показали, что стока талых вод не бывает в годы с неглубоким промерзанием почвы (в снежные зимы).

Полигон Б. Ниже представлены гидрометеорологические оценки каждого гидрологического года в степном черноземном Заволжье (по данным агрометеостанции АГЛОС).

2013–2014 гидрологический год. Осень оказалась теплой и влажной (за осень выпало 154 мм при норме 128 мм; средняя температура осени +7.6 °С, при норме + 5.0 °С). Это значит, что почва не была переувлажнена с поверхности за счет испарения и равномерной инфильтрации. Зима отличалась несколько повышенным количеством осадков (114 мм при норме 100 мм) и средним температурным режимом (средняя температура –9.3 °С при норме –10.2 °С). Своевременно выпавший снег хорошо защитил почву от глубокого промерзания. Сумма отрицательных среднесуточных температур составила –869 °С при норме –1042 °С. Весна установилась в обычные сроки, таяние протекало медленно через уплотнение и фирнизацию снега. Максимальное таяние пришлось на третью декаду марта.

Весна 2014 г. сложилась очень маловодной по стоку с зяби (сток отсутствовал) и маловодной по стоку с выгонов и пастбищ.

Лето 2014 г. отличалось засушливой погодой: за лето выпало всего 75 мм осадков при норме 164 мм, температура была немного выше нормы +21 °С при норме 19.7 °С.

В целом 2013–2014 гидрологический год характеризуется как более сухой и засушливый по отношению к среднемноголетнему (годовая сумма осадков 423 мм при норме 480 мм, средняя температура года +6.5 °С при норме +5.0 °С).

2014–2015 гидрологический год. Осень 2014 г. была по осадкам очень сухой (выпало 58 мм при норме 128 мм), а по температуре – близкой к норме (+5.1 °С при норме +5.0 °С); почва к переходу к земле была в сухом состоянии с обилием термических трещин от испарения.

Зима 2014–15 гг. была по снегу на 20 мм обильнее, чем норма (118 мм при норме 99 мм) и теплая по температурному режиму (средняя температура зимы –8.3 °С при норме –10.2 °С). Сумма отрицательных среднесуточных температур составила всего –956 °С. Наблюдались метели, снег перераспределился за зиму, но защитил почву от промерзания.

Весна пришла своевременно, таяние было малоинтенсивным, преимущественно радиационного типа. Впитывание на всех агрофонах было высоким. По величине поверхностного стока весна характеризуется как очень маловодная (сток не сформировался).

Лето 2015 г. сложилось засушливым: выпало 89 мм осадков (при норме 164 мм) умеренно и жарким по температуре (+20.7 °С при норме +19.7 °С). Год оказался неблагоприятным для яровых зерновых (средний урожай по Самарской области составил 12.5 ц/га, а в 2014 г. – 21.0 ц/га).



В целом 2014–2015 гидрологический год оказался очень сухим (всего выпало 344 мм осадков при норме 480 мм, или на 136 мм меньше), а средняя годовая температура, составила +5.9 °С при норме +5.0 °С

2015–2016 гидрологический год. Лето 2015 г. сложилось засушливое. Начало осени (сентябрь) также сухое (14 мм), но в целом вторая половина осени была дождливой: всего за осень 2015 г. выпало 196 мм при норме 128 мм. По температуре осень была теплой (выше нормы: средняя температура +6.8 °С при норме +5.0 °С). Начало зимы и зима в целом снежная: 168 мм при норме 99 мм. По температуре очень теплая (средняя температура зимы – 5.9 °С при норме –10.2 °С). Сумма отрицательных температур самая низкая за последние годы – 652 °С при многолетней норме – 1042 °С. Промерзание почвы совсем незначительное, а где высота снега была 50–55 см и выше – почва была талой.

Наблюдалось много метелей с переносом снега и его сублимационным испарением (возгонкой).

Весна наблюдалась в обычные сроки, в марте таяние было слабоинтенсивным, условия для впитывания сложились благоприятные, практически большая часть талых вод впиталась (весна по стоку – маловодная).

Лето 2016 г. сложилось сухим по количеству выпавших осадков. Всего выпало 95 мм (при норме 164 мм). Но урожай оказался высоким из-за обилия осенне-зимне-весенних осадков; озимые в системе лесных полос (пшеница сорта «Скипетр» дала урожай до 40–48 ц/га, на незащищенных полях – 30–36 ц/га).

По проведенным 3-х летним наблюдениям на стоково-эрозионном стационаре с комбинированными стоковыми площадками получены следующие результаты:

1. По снегонакопительному эффекту различных вариантов аэродинамических конструкций стокорегулирующих лесополос. Проведенные в конце зимы маршрутные снегосъемки с определением высоты снега, его плотности (г/см^3) и влагозапаса (в мм) на всех вариантах комбинированных стоковых площадок (в среднем за 3 года наблюдений) представлены в табл. 3. Из приведенных данных следует, что вариант стокорегулирующей контурной лесной полосы продуваемой конструкции, в наихудшей степени (и по высоте снега, и по влагозапасу в нем), обеспечивает древесные породы (березу) влагой на начальную часть (апрель – май – июнь) вегетационного периода (в случае, когда он окажется засушливым, деревья самой лесной полосы ослабнут, и лесная полоса не будет долговечной).

Ажурная и комбинированная аэродинамические конструкции в равной степени успешно накапливают снег (высотой 61–62 см при влагозапасе 177–180 мм), что вполне достаточно для жизнеобеспечения деревьев березы 35–40-летнего возраста на май–июнь даже когда эти месяцы будут засушливыми.

Таблица 3
Table 3

Снегонакопление к концу зимы в контурных стокорегулирующих лесных полосах различных конструкций за период 2014–2016 гг. (Поволжская АГЛЮС, стационар у л/п 42а)
The snow accumulation late winter in a contour storehouse forest belts of different aerodynamic designs for the period 2014–2016. Branch-Volga AGLOS, experimental object near the forest strip № 42a

| Варианты конструкций стокорегулирующих контурных лесополос | Показатели снежного покрова | | |
|--|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| | Высота снега, см | Плотность снега, г/см^3 | Влагозапасы в снеге, мм |
| 1. Продуваемая конструкция лесной полосы | 32 | 0.29 | 93 |
| 2. Комбинированная конструкция лесной полосы | 61 | 0.29 | 177 |
| 3. Ажурная конструкция лесной полосы | 62 | 0.29 | 180 |

2. Природный фактор зимнего промерзания почв. Предыдущими исследованиями установлено, что хорошо увлажненная осенью и глубоко промерзшая зимой почва весной имеет низкую инфильтрационную (впитывающую) способность и это благоприятствует формированию весеннего поверхностного стока. Почва глубоко и сильно промерзает (высока степень цементации и накопление холода) происходит: а) при незащищенности почв, их оголенности (когда нет теплоизолирующего, мульчирующего покрова-снега, растительности, лесной подстилки); б) при холодной морозной зиме, когда сумма среднесуточных отрицательных температур зимы превышает норму $-1050-1200$ °С. Усредненные за период исследований величины глубин промерзания почв на опытных участках разных вариантов конструкций лесных полос и защищаемых полей приведены в табл. 4.

Таблица 4
Table 4

Параметры снежного покрова, глубина промерзания и степень цементации мерзлой почвы в лесных полосах разных конструкций и на прилегающих полях (Поволжская АГЛОС 2014–2016 гг.)

Parameters of snow cover, depth of freezing and degree of cementation of frozen soil in forest strips of different aerodynamic structures and adjacent fields (Volga AGLOS. 2014–2016)

| Виды угодий | Показатели снежного покрова | | Промерзание почвы | |
|--|-----------------------------|------------------------|-------------------|--------------------|
| | Высота снега, см | Влагозапасы в слое, мм | Глубина, см | Степень цементации |
| 1. Лесная полоса продуваемой конструкции | 33 | 98 | 46 | средняя |
| 2. Лесная полоса комбинированной конструкции | 60 | 177 | 31 | средне-слабая |
| 3. Лесная полоса ажурной конструкции | 61 | 185 | 22 | слабая |
| 4. Незащищенное поле, зябь | 35 | 103 | 42 | средняя |
| 5. Поле под защитой лесополосы: | | | | |
| а) в 25 м от лесополосы | 64 | 182 | 12 | очень слабая |
| б) в 50 м от лесополосы | 63 | 182 | 13 | очень слабая |
| в) в 100 м от лесополосы | 52 | 147 | 26 | средняя |

Примечание: Сумма отрицательных температур за каждую зиму составила: в 2013–14 г. -869 °С; в 2014–15 г. -956 °С; в 2015–16 г. -646 °С. Средняя сумма за три года равна -825 °С.

Данные табл. 4 подтверждают высокую снегозадерживающую роль систем защитных лесных полос, в том числе контурных стокорегулирующих, как в самих лесных полосах, так и в защищаемых ими полях. В среднем за 3 года на незащищенном поле (без лесных полос) с зяби средняя высота снега к концу зимы составила 35 см, влагозапасы 103 мм и промерзание 42 см; ветры и метели сдувают и сублимируют снег, его тонкий слой слабо защищает почву от промерзания. Существенно лучше обстоят дела на лесомелиорированных полях (см. табл. 4) и по влагонакоплению за счет снеговых талых вод, и по снижению глубины промерзания. Неглубоко промерзшая со слабой цементацией почва хорошо впитывает талые воды, сокращается поверхностный сток (табл. 5).

Для степной зоны, где часты весенне-летние засухи, для лучшего обеспечения влагой древесных пород лесной полосы целесообразны комбинированная и ажурная конструкции; в продуваемой конструкции в подкрановом пространстве создается мощный ветро-поточный диффузор, приводящий к выдуванию снега из полосы (см. табл. 4) и остающегося там снега, в переводе на талую воду, как правило, остро не хватает для



произрастающих в ней древесных пород, уже в начале лета, особенно в годы, с частые случающимися здесь весенне-летние засухи (деревья ослабляются, начинается преждевременный распад лесной полосы).

Таблица 5
Table 5

Элементы водного баланса на многолетней залежи (многолетние травы, кострец безостый) под защитой контурной стокорегулирующей лесной полосы. Поволжская АГЛОС (2014–2016 гг.)
Elements of the spring water balance on the forest-reclaimed deposits (perennial grasses-bramble-free) under the protection of the contour of the forest strip. Volga AGLOS. 2014–2016

| Варианты агролесоценозов | Влагозапас в снеге, мм | Поверхностный сток, мм | Коэффициент стока | Впиталось в почву, мм | Смыв почвы, т/га |
|--|------------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|------------------|
| 1. Лесомелиорирован. многолетняя залежь (полевой контроль) | 168 | 0 | 0.0 | 168 | 0 |
| 2. Комбинированная стоковая площадка: Залежь + лесная полоса продуваем. конструкции. | 163 | 0 | 0.0 | 163 | 0 |
| 3. Комбинированная стоковая площадка: залежь + лесная полоса комбинир. конструкции | 172 | 0 | 0.0 | 172 | 0 |
| 4. Комбинированная стоковая площадка: залежь + лесная полоса ажурной конструкции | 172 | 0 | 0.0 | 172 | 0 |
| 5. Незащищенное поле (контроль): поле с зябью, без защитных лесополос | 103 | 0 | 0.0 | 103 | 0 |

В таблице 5 представлены элементы водного баланса комбинированных стоковых площадок с лесомелиорированными агроценозами (многолетние травы + стокорегулирующая лесная полоса). В период 2014–2016 гг. весенний поверхностный сток на всех вариантах площадок с лесомелиорацией многолетней залежи (без пастьбы скота) не сформировался, весны этого периода по величине поверхностного стока отнесены к маловодным (поверхностный сток на зяби и на многолетних травах не сформировался). Этому благоприятствовали основные природные факторы (нормальное увлажнение верхнего слоя почвы, слабое и неглубокое промерзание, неинтенсивное снеготаяние).

Для сравнения водного баланса лесомелиорированных агроценозов с агроценозами на незащищенных (без лесных полос) полях (поле с зябью), в таблице 5 приведен баланс талых вод (строка 5): здесь, к периоду весеннего таяния, на незащищенной от зимних ветров и метелей зяби снега сохранилось (в переводе на влагозапас в мм) всего 103 мм, стока не наблюдалось. По сравнению с лесомелиорированными многолетними травами (строки 1 – 4, табл. 5), посеянные здесь яровые зерновые хлеба уже с весны недополучили на формирование урожая 60–69 мм дефицитной здесь влаги, которые, в потенциале могли пойти на формирование дополнительных 6–7 центнеров зерна или другой ценной биопродукции на каждом гектаре.

Заключение

1. Докучаевский природоподобный ландшафтно-географический принцип, который лежит в основе научных разработок и исследований ФНЦ агроэкологии РАН, его филиалов Новосильской и Поволжской АГЛЮС по эрозионной тематике, показал свою эффективность по улучшению гидрологического и противоэрозионного режима экологического аграрного природопользования.

2. Многолетние исследования поверхностного стока с разных агрофонов в лесостепи и степи европейской части России показали его большую зависимость от природных факторов – осенней влажности почв, глубины зимнего промерзания, влагозапасов в снеге, режима таяния и других.

3. Противоэрозионные лесомелиорации агроценозов и бассейновых агроландшафтов являются эффективным методом преобразования и улучшения (методы практического управления) их гидрологического и противоэрозионного обустройства, воздействия и управления природными факторами формирования поверхностного стока, повышения приходных статей весеннего водного баланса лесомелиорированных агроценозов и агроландшафтов, улучшения гидрологического режима всей защищаемой территории.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории защиты почв от эрозии и дефляции (руководитель – д.с.-х.н. А.Т. Барабанов) ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН за консультации и обсуждение результатов исследования.

Исследование выполнено в рамках Плана государственных заданий фундаментальных научных исследований (ФНИ) на 2013–2020 гг.

Список литературы

References

1. Балакай Г.Т., Балакай Н.И., Бабичев А.Н., Балакай С.Г., Монасырский В.А., Ольгаренко В.И. 2014. Мелиоративные компенсационные мероприятия, снижающие поверхностный сток талых, дождевых и ирригационных вод с земель сельскохозяйственного назначения. Научный обзор, Новочеркасск, 82.

Balakaj G.T., Balakaj N.I., Babichev A.N., Balakaj S.G., Monastyrskij V.A., Ol'garenko V.I. 2014. Meliriboritelnye compensation measures that reduce surface runoff of thawed, rain and irrigation water from agricultural land. Scientific Review, Novochoerkassk, 82. (in Russian)

2. Барабанов А.Т. 1993. Агрлесомелиорация в почвозащитном земледелии. Волгоград, 155.

Varabanov A.T. 1993. Agroforestry in soil conservation agriculture. Volgograd, 155. (in Russian)

3. Барабанов А.Т. 2017. Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие. Волгоград, ФНЦ агроэкологии РАН, 188.

Varabanov A.T. 2017. Erosion-hydrologic assesment of interaction of natural and anthropogenic factors of formation of melt water surface runoff and adaptive landscape forming. Volgograd, FSC of agroecology RAS, 188. (in Russian)

4. Барабанов А.Т., Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Панов В.И., Петелько А.И. 2018. Поверхностный сток и инфильтрация в почву талых вод на пашне в лесостепной и степной зонах Восточно-Европейской равнины. Почвоведение, 51 (1): 62–69.

Varabanov A.T., Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Panov V.I., Petelko A.I. 2018. Surface Runoff and Snowmelt Infiltration into the Steppe Zones of the Fast European. Eurasian Soil Science, 51 (1): 66–72. (in Russian)

5. Васенков Г.И., Будник И.П., Пициль А.О. 2013. Поверхностный сток талых вод в Житомирском Полесье. Современные проблемы науки и образования, 6.

Vasenkov G.I., Budnik I.P., Picil' A.O. 2013. Surface runoff of melt water in Zhytomyr Polesie. Modern problems of science and education, 6. (in Russian)



6. Докучаев В.В. 1936. Наши степи прежде и теперь (1892) / В.В.Докучаев. М.–Л., ОГИЗ-Сельхозгиз, 118.
Dokuchaev V.V. 1936. Our steppes before and now (1892) / V.V. Dokuchaev, Moskva – Leningrad, OGIz-SelhozGIZ. 118. (in Russian)
7. Качинский Н.А. 1927. Замерзание, разморозание и влажность почвы в зимний сезон в лесу и на полевых участках. М., Изд-во МГУ, 168.
Kachinskiy N.A. 1927. Freezing, thawing and soil moisture in the winter season in the forest and on the field plots. M., Izd-vo MGU, 168. (in Russian)
8. Коронкевич Н.И., Ясинский С.В. 1999. О современном состоянии изучения поверхностного стока в основных почвенных зонах Европейской России. Почвоведение, 9: 1115–1125.
Koronkevich N.I., Yasinskiy S.V. 2016. On the current state of studying surface runoff in the main soil zones of European Russia. Eurasian Soil Science, 9: 1115–1125. (in Russian)
9. Кочетов И.С., Барабанов А.Т., Гаршенев Е.А., Зыков И.Г., Камеристова О.Р., Кузнецов М.С., Панов В.И., Петелько А.И., Петров П.Т., Провков Ю.В., Рулев А.С., Свинцов И.П., Шабаетов А.И. 1999. Агроресомелиоративное адаптивно-ландшафтное обустройство водосборов. Волгоград, ВНИАЛМИ, 84.
Kochetov I.S., Barabanov A.T., Garshiniov E.A., Zykov I.G., Kameristova O.R., Kuznecov M.S., Panov V.I., Petel'ko A.I., Petrov P.T., Provkov Yu.V., Rulyoov A.S., Svincov I. P., Shabaev A.I. 1999. Agroforestry melioration adaptive-landscape arrangement of watersheds. Volgograd, VNIALMI, 84. (in Russian)
10. Каштанов А.Н., Щербаков А.П., Швевс Г.И. 1999. Ландшафтное земледелие. Концепция формирования высокопродуктивных экологически устойчивых агроландшафтов и совершенствование систем земледелия на ландшафтной основе. Курск, ВНИИЗ и ЗПЭ, 98.
Kashtanov A.N., Shherbakov A.P., Shvebs G.I. 1999. Landscape farming. The concept of the formation of highly productive ecologically sustainable agricultural landscapes and the improvement of farming systems on a landscape basis. Kursk, VNIIZ and ZPE, 98. (in Russian)
11. Лисецкий Ф.Н. 2013. Проблемы эрозионного разрушения и формирования почв (научный обзор). Научное электронное периодическое издание «Современные проблемы науки и образования», 2: 1–10. URL:<http://science-education.ru/ru/article/view?id=8478>
Liseckii F.N. 2013. Problems of erosion and soil formation (scientific review). Scientific electronic periodical “Modern problems of science and education”, 2: 1–10. URL: <http://science-education.com/ru/article/view ID = 8478>. (in Russian)
12. Медведев И.Ф., Левицкая Н.Г., Стрижков Н.И. 2016. Современная оценка и тенденции климатических изменений поверхностного стока на черноземных почвах. Аграрный научный журнал, 4: 19–24.
Medvedev I.F., Levickaya N.G., Strizhkov N.I. 2016. Modern evaluation and trends of climate change on surface runoff in the Saratov region. The Agrarian Scientific Journal, 4: 19–24. (in Russian)
13. Мушаева Т.И., Демидов В.В. 2015. Закономерности формирования поверхностного стока и смыва почвы в период весеннего снеготаяния на территории агроландшафта и их влияние на качество речных вод. Живые и биокосные системы, 11. URL:<http://www.jbks.ru/arhive/issue-11/article-9>.
Mushaeva T.I., Demidov V.V. 2015. Regularities of formation and erosion processes during spring snowmelt on the territory of agrolandscape and their impact on the quality of river water. Live and bio-kos systems, 11. URL:<http://www.jbks.ru/arhive/issue-11/article-9>. (in Russian)
14. Назаров Г.В. 1981. Гидрологическая роль почвы. Ленинград, Наука, 215.
Nazarov G.V. 1981. Hydrological role of soil. Leningrad, Nauka, 215. (in Russian)
15. Панов В.И. 2011. Синергетическое эрозиоландшафтоведение (теория и практика самоорганизации гидрологических и эрозионных процессов, рельефа и ландшафтов). В кн.: Защитное лесоразведение в Российской Федерации. Международная научная конференция (Волгоград, 17–19 октября 2011 г.). Волгоград, ВНИАЛМИ: 231–240.
Panov V.I. 2011. Synergetic erosion landscape science (theory and practice of self-organization of hydrological and erosion processes, topography and landscapes). In: Protective afforestation in the Russian Federation. International Scientific Conference (Volgograd, October 17–19, 2011). Volgograd, VNIALMI: 231–240. (in Russian)

16. Петелько А.И., Новиков Н.Е. 2018. Влияние леса на водный режим почв. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 42 (3): 326–331.

Petelko A.I., Novikov N.E. 2018. Effect of Forest on water Soil Mode. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series, 42 (3): 326–331. (in Russian)

17. Проездов П.Н. 1983. Воздействие мелиоративных мероприятий на элементы водного баланса и эрозию почв в черноземной степи Приволжской возвышенности. Автореф. дис. ... д.с.-х.н. Саратов, 20.

Proezdov P.N. 1983. The impact of land reclamation activities on the elements of water balance and soil erosion in the chernozem steppe of the Volga Upland. Autoref. dis. ... d.a.s. Saratov, 20. (in Russian)

18. Сурмач Г.П. 1976. Водная эрозия и борьба с ней. Ленинград, Гидрометеиздат, 254.

Surmach G.P. 1976. Water erosion and the fight against it. Leningrad, Gidrometeoizdat, 254. (in Russian)

19. Сурмач Г.П., Гаршинев Е.А., Кузнецов А.П., Панов В.И., Глыбин Т.Г. 1973. Рекомендации по созданию комплекса агролесомелиоративных противоэрозионных мероприятий. Волгоград, ВНИАЛМИ, 113.

Surmach G.P., Garshinjev E.A., Kuznecov A.P., Panov V.I., Glybin T.G. 1973. Recommendations for the creation of a complex of agroforestry anti-erosion measures. Volgograd, VNIALMI, 113. (in Russian)

20. Швец Г.И. 1981. Теоретические основы эрозиоведения. Киев – Одесса, Вища школа, 223.

Shvebs G.I. 1981. Theoretical foundations of erosion. Kiev – Odessa, Vyssha shkola, 223. (in Russian)

21. Smith B., Baillie C. 1985. Erosion in the Savannas II Geogr. Mag., 57 (3): 137–140.

22. Walling D.E. 1997. Erosion and sediment yield in the changeable environment. Study of erosion, river bed deformation and sediment transport in river basins as related to natural and man-made changes. Int. Hydr. Programme. Paris: UNESCO, 5 (10): 4–42.

Ссылка для цитирования статьи

Reference to article

Петелько А.И., Панов В.И. Влияние основных природных факторов на формирование поверхностного стока талых вод в лесомелиорированных агроландшафтах в лесостепной и степной зонах Европейской части России // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2019. Т. 43, №1. С. 16–29. doi: 10.18413/2075-4671-2019-43-1-16-29

Petel'ko A.I., Panov V.I. The Influence of the Main Natural Factors on the Formation of Surface Flow of Melt Water in Forest-Reclaimed Agricultural Landscapes in the Forest-Steppe and Steppe Zones of the European Part of Russia // Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series. 2019. V. 43, №1. P. 16–29. doi: 10.18413/2075-4671-2019-43-1-16-29