

УДК 551.4:634.958

Преобразование гидрологического режима агроландшафтов защитными лесными насаждениями

Барабанов Анатолий Тимофеевич, Панов Валерий Иванович

Аннотация

Дана оценка гидрологического режима девственных и подверженных в разной степени антропогенному воздействию территорий. Осуществлен анализ влияния защитных лесных насаждений на формирование поверхностного стока талых вод, элементы водного баланса и эрозионно-гидрологические процессы. Изложен закон лимитирующих факторов стока талых вод, позволяющий по новому подойти к оценке эрозионно-гидрологического процесса. На его основе разработан метод высокоточного прогноза поверхностного стока с разных агрофонов и угодий. Выполнен анализ и оценка эффективности противоэрозионных приемов, выявлены наиболее эффективные, разработаны новые высокоэффективные приемы и предложена стратегия противоэрозионной мелиорации.

Ключевые слова: гидрологический режим территории, агроландшафт, защитные лесные насаждения, эрозия почв, сток талых вод.

Eng_ Transformathion of hydrological regime of agrolandscapes with protective forestations

Varabanov Anatolyij Timofeevich, Panov Valeryij Ivanovich

Abstract

The estimation of hydrological regime of virgin territories and those exposed to anthropogenous impact in various degree is given . The analysis of protective forestations influence on melted water surface runoff formation, on water balance members and erosion-hydrological processes has been implemented . The law of melted water runoff limiting factors permitting new approach to the estimation of erosion-hydrological process is exposed. The method of high precision prognosis of surface runoff has been developed on its basis . Analysis and estimation of the efficiency of anti-erosion methods have been fulfilled , the most effective ones have been educed, new high-efficiency practices have been developed and anti-erosion melioration strategy is proposed .

Keywords: hydrological regime of territory, agrolandscape, protective forestations, soil erosion, melted water runoff.

Введение

На протяжении многих миллионов лет происходила и происходит эволюционная самоорганизация планеты Земля и её ландшафтной сферы как сложной открытой нелинейной целостной суперсистемы с участием и взаимодействием атмо-, гидро-, лито- и биосфер. Участие живой материи коренным образом изменило и преобразовало облик, состояние и функционирование косных систем на поверхности Земли. Произошло формирование зонально-географических зон и биоэколандшафтных систем в

соответствии с глобальным распределением света, тепла и влаги. Естественные природно-зональные биогеоценозы и биогеоландшафты формировались, совершенствовались и выживали (самосохранялись) в изменяющихся условиях среды как адаптивные и наиболее приспособленные системы, эталонные для данных условий.

Аграрная деятельность человека существенным образом и в больших масштабах вмешалась в жизнь и состояние природных экосистем, почв, биогеоландшафтов. Распашка земель, введение однолетних сельхозкультур, оголённость почв от растительности и другие действия привели к нарушению водного баланса и защищённости почв от разрушающего действия дождевых атмосферных осадков и сильного поверхностного стока. Это привело к развитию разрушительной антропогенной (агротехногенной) эрозии почв, прогрессирующей потере ею плодородия, выводу из пользования разрушенных земель. Кроме того, нарушение сложившегося водного баланса в аридных степных и лесостепных регионах привело к большим непродуктивным потерям имеющихся ограниченных ресурсов влаги на поверхностный сток, ветро-метельный перенос и сублимацию снега, чрезмерное непродуктивное физическое испарение, что отрицательно влияет на биопродуктивность и урожай сельхозкультур, обрекает на неустойчивость аграрное природопользование в степном засушливом поясе.

Всё это ставит проблему улучшения управления гидрологическим режимом в агроценозах и агроландшафтах, увеличения приходных статей водного баланса (атмосферных осадков, инфильтрации, почвенной влаги) и их эффективной противоэрозионной безопасности в число самых главных, стратегических проблем перспективного экологического аграрного природопользования.

Цель исследования

Дать оценку антропогенного воздействия на гидрологический режим агроландшафтов, осуществить анализ влияния защитных лесных насаждений на формирование поверхностного стока талых вод, элементы водного баланса и эрозионно-гидрологические процессы и разработать стратегию, научные основы и систему мероприятий управления ими.

Материал и методы исследований

Во Всероссийском научно-исследовательском агролесомелиоративном институте (ВНИАЛМИ) и других научных учреждениях ¹ за 68 лет (1948—2016 гг.) получен очень большой экспериментальный материал по оценке современного стока талых вод с девственных и подверженных в разной степени антропогенному воздействию территорий на Европейской части РФ. Анализ этих материалов позволяет сделать важные теоретические и

¹ Институт географии РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии, Курская зональная опытно-мелиоративная станция, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы им. В. В. Докучаева и др. Барабанов А. Т., Панов В. И., Преобразование гидрологического режима агроландшафтов защитными лесными насаждениями // «Живые и биокосные системы». – 2016. – № 16; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-16/article-6>

практические выводы. Теоретические исследования базировались на обобщении многолетних (58 лет) материалов исследований ВНИАЛМИ и данных различных научно-исследовательских учреждений по оценке влияния природных и антропогенных факторов на формирование стока.

Анализировались данные, полученные при применении самых совершенных, апробированных многими учеными и получивших широкое распространение воднобалансовых методов: стоковых площадок и репрезентативных водосборов. При анализе использовались статистический и генетический подходы. Они широко применяются как у нас в стране, так и за рубежом. Метод стоковых площадок позволяет выявить закономерности формирования стока дифференцированно на различных почвах (тяжелые, средние, легкие, солонцеватые и др.), видах угодий (пашня, луг, залежь) и пашни (зябь, озимые, многолетние травы, яровые культуры и др.).

Результаты исследования и их обсуждение

Эрозия почв происходит под воздействием неурегулированного стока воды в результате нерациональной антропогенной деятельности. Проблемой аграрного природопользования, является предотвращение разрушительного действия антропогенной эрозии почв, приводящей к потере почвенного плодородия и даже к полному разрушению сельскохозяйственных земель. Это связано со многими объективными и субъективными причинами, но, прежде всего, с недостаточно полной разработанностью теории эрозиоведения как методологии, разработки и широкого использования её в основных принципах организации экологического эрозионно-безопасного аграрного природопользования. Теория эрозиоведения неразрывно связана с гидрологией суши, с составляющими элементами весеннего водного баланса различных угодий и ландшафтов и приёмами рационального управления ими на склоновых катенах и водосборных бассейнах, из которых формируется эрозионный рельеф равнинной суши. Степенью его упорядоченности и зарегулированности определяется биоразнообразие естественных и искусственных биогеоценозов (агроценозов, агроэколандшафтов), их жизненная устойчивость, биопродуктивность, эрозионная безопасность, степень его благополучного развития и противоэрозионного самосохранения. Без глубокой и всесторонней изученности поверхностного стока и других элементов водного баланса нельзя перейти на расчётные и сбалансированные методы противоэрозионной защиты почв, земель и ландшафтов от разрушительной эрозии. Наиболее мощным средством воздействия на гидрологический режим агроландшафтов являются защитные лесные насаждения.

В. В. Докучаев в своей работе "Наши степи прежде и теперь" отмечал: "... если желают поставить русское сельское хозяйство на твердые ноги, ... чтобы оно было приноровлено к местным физико-географическим (равно как историческим и экономическим) условиям страны, ... необходимо, чтобы эти условия, – все естественные факторы (почва, климат с водой и организмы)

были исследованы, ... всесторонне и непременно во взаимной их связи" [12, с. 98—99]. Это замечательное выражение В. В. Докучаева по сути является квинтэссенцией того, что в настоящее время называется системным подходом в исследовании конкретного объекта и идеологией выработки адаптированных к местным условиям систем ведения сельского хозяйства и в целом природопользования. Теперь это называется адаптивно-ландшафтная система земледелия, ведущую роль в которой играет агролесомелиоративное адаптивно-ландшафтное обустройство территории.

Блестящий анализ причин постигшего Россию в 1891 г. недорода ("не из самых крайних" [12, с. 98]) привел В. В. Докучаева к следующим, на наш взгляд, главнейшим выводам: ведущей причиной неурожая 1891 г. (и других лет) была не только и не столько жестокая засуха ("здесь не собрано и семян, а в соседнем поле получено 80—100 пудов (13—16 ц) с десятины" [12, с. 98]), но общее расстройство сельского и водного хозяйства России, обусловленное нерациональным истощительным использованием почв, в т. ч. вследствие социально-экономических факторов; для "реставрации степей" необходим комплекс мероприятий (агротехнических, гидротехнических, облесительных) с выработкой норм соотношения площади пашни, лугов, леса и вод; организация специальных научно-исследовательских учреждений. Все эти положения нашли свое воплощение в работе Особой Экспедиции Лесного департамента (1892—1897 гг.) "по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях России" [20 с. 118].

В. В. Докучаевым была внесена ясность в причины "недорогов" вследствие не только климатических засух, но и в саму постановку вопроса о связи неурожая и проявления засухи (в первую очередь, почвенной) с деградацией почв, утерей ими вследствие распашки благоприятных водно-физических свойств и изменении, вследствие этого, водного баланса естественных ландшафтов степи. В работе "Наши степи прежде и теперь", подчеркивая особое значение лесной подстилки и степного войлока для формирования "крупчатой" структуры черноземов, их способности в девственном состоянии хорошо поглощать влагу, В. В. Докучаев упоминает о наблюдениях Игнатьева, отметившего, что при снеготаянии "на целинной степи не видно больших потоков, тогда как на старопашных полях они бегут по всем направлениям" [12, с. 60]. Он ссылается также на мнение А. А. Измаильского, что "изменение свойств поверхности прежних степей, благодаря их распашке и уплотнению, вследствие пастьбы стад овец и других домашних животных, могло коренным образом изменить отношение почв к влаге" [12, с. 61]. А. А. Измаильский придавал роли степной растительности для природы края не меньшее значение, чем лесной. В. В. Докучаев также отмечал, что в ковыльных степях "промоины и рытвины развиваются очень медленно и обыкновенно с перерывами" [12, с. 60]. Позднее А. С. Козменко писал, что распашка территории и уничтожение лесов "повели за собой увеличение интенсивности стока" и "энергии размыва" [13, с. 13].

Количественные оценки гидрологического режима девственных территорий и его изменений под влиянием скотоводства и земледелия до сих пор крайне малочисленны. Полученные в ОПХ НИИСХ ЦЧП им. В. В. Докучаева в Каменной степи на элементарных стоковых площадках данные позволяют оценить эволюцию водного баланса территории при ее хозяйственном освоении (таблица 1). Они показывают, что запасы снеговой воды на сельскохозяйственной территории сильно (на 20—40%) уменьшаются вследствие уничтожения пышной целинной растительности с большой долей высокостебельных растений и мощной рыхло сложенной "подушки" отмирающих на зиму трав целины, препятствующих сдуванию снега.

Таблица 1 – Водный баланс талых вод на склонах в Каменной степи в среднем за 1950—1958 гг. [18, с. 12]

Экосистемы, угодья, агрофоны	Водный баланс, мм			
	Снегозапасы, мм	Водопоглощение, мм	Сток, мм	Коэффициент стока
Заповедная территория				
Степь некосимая (целина)	128	128	0	0
Территория, измененная скотоводством				
Степь выпасаемая	98	42	56	0,57
Степь косимая	80	41	39	0,49
Территория, измененная земледелием				
Стерня	103	43	60	0,58
Многолетние травы (люцерна)	98	40	58	0,59
Озимые	102	17	85	0,83
Зябь (вспашка)	78	47	31	0,40

На травянистой целине вся влага зимних осадков (в среднем 128 мм) без остатка поглощается почвой, т. е. поверхностный сток отсутствует полностью. Сенокошение и особенно выпас скота резко (в три раза) уменьшают просачивание влаги и увеличивают сток до 39—56 мм. На пашне (стерня и озимые) снегозапасы почти такие же, как на сенокосах и пастбищах, а уменьшение просачивания влаги до 43—17 мм увеличивает сток до 58—85 мм (58—83% от осадков).

Таким образом, скотоводство и земледелие привели к резкому ухудшению водного режима девственной территории. Если на целине все осадки холодного периода поглощались почвой и поверхностный сток отсутствовал, то в агроландшафтах потери зимних осадков за счет снегопереноса и сублимации (испарения) увеличились на 25—50 мм, просачивание уменьшилось на 80—110 мм, и сток возрос до 30—85 мм. Уменьшение поступления влаги в почву, таким образом, обусловлено в меньшей степени потерями осадков при снегопереносе и в большей (главной) - снижением инфильтрационной способности почвы.

Уникальные материалы комплексных исследований водного баланса

получены на Курском стационаре Института географии (ИГ) РАН, расположенном на территории Центрально-Черноземного государственного заповедника им. проф. В. В. Алехина (таблица 2) [8]. В целом они аналогичны данным, полученным в Каменной степи. Кроме того, следует отметить, что с выгонов (выпасаемая степь) в логах (лощинах) при запасах снеговой воды 365 мм средний сток талых вод достигал 240 (!) мм при $K_c = 0,66$ [8]. Повышенный сток с выгонов наблюдался также в 1893—1895 гг. на водосборе балки Озерки (Каменная степь) составляя 10—54 (в среднем 33) мм

Таблица 2 – Весенний водный баланс разных угодий и смыв почвы на Курском стационаре ИГ| АН СССР

Угодье, агрофон	Водный баланс, мм			Коэфф. стока	Смыв почвы, мм
	Снегозапасы, мм	Водопоглощение, мм	Сток, мм		
Дубовый лес	160	157	3,3	0,019	0
Целина	140	130	10,0	0,071	0
Степь выпасаемая	120	74	46,0	0,380	0
Стерня	125	44	81,0	0,360	210
Озимые	110	29	81,0	0,740	430
Зябрь (отвальная вспашка)	105	69	36,0	0,340	790

Примечание. Водный баланс в среднем за 1962—1971 гг. смыв почвы – за 1962—1970 гг.

при K_c в среднем 0,20 (наши расчеты по публикации И. П. Сухарева [17]).

Оценки современного стока талых вод с пашни на Европейской территории РФ, выполненные за период наблюдений 1948—2016 гг. ВНИАЛМИ, ИГ АН РАН, ВНИИЗиЗПЭ, Курской ЗОМС, НИИСХ ЦЧП им. В. В. Докучаева и другими научно-исследовательскими учреждениями России, Украины и Белоруссии, и обобщенные нами с использованием работ Г. П. Сурмача [3, 7, 19], свидетельствуют о значительной разнице в стоке талых вод между естественными угодьями (лес, целина) и сельскохозяйственными угодьями (зябрь, озимые, многолетние травы и др.).

Отсутствие эрозии (или ничтожный смыв) на естественных угодьях, о котором писали В. В. Докучаев, П. А. Костычев, А. С. Козменко, Г. П. Сурмач и другие исследователи, подтверждается как данными табл. 2, так и обобщением Е. А. Гаршинева [10]. На пахотных угодьях и при интенсивном выпасе скота на выгонах смыв достигает на Русской равнине в среднем 8—10 т/га и более в год, а в отдельные годы за один ливень может быть смыт весь пахотный горизонт (около 2000 т/га). Появляются и интенсивно растут овраги. Таким образом, антропогенный эрозионно-гидрологический процесс приобретает часто катастрофический характер, приводящий к сильнейшей деградации почвенного покрова и в целом среды обитания живого. Требуется неотложная разработка системы противоэрозионных мероприятий.

В системе противоэрозионных мероприятий особая роль принадлежит лесной мелиорации и, в первую очередь, стокорегулирующим лесным

полосам, создаваемым по контуру горизонталей или близко к ним. Обобщенные данные свидетельствуют о несопоставимо высоких величинах водопоглощения под ними в сравнении с водопоглощением на пашне. Это позволяет с помощью стокорегулирующих лесополос увеличить поглощение в средние по водности годы до 40—50 мм и более талых вод с полевых склонов (в многоводные годы – до 100 мм и более). Однако и эти показатели водопоглощения не предел. Применение гидротехнических и иных средств в лесополосах уменьшает промерзание почвы, способствует ее оструктурированию и сплошному затоплению, что усиливает водопоглощение в 2—3 раза и более. При этом величины водопоглощения в лесополосах зависят от фильтрационных и водоудерживающих свойств подстилающих грунтов (таблица 3).

Таблица 3 – Осредненные величины весеннего максимального водопоглощения при различных приемах усиления инфильтрации в лесополосах [по:1, 10,15,16]

Приемы усиления водопоглощения в лесополосах	Водопоглощение, мм	
	На грунтах с высокой впитывающей способностью (супесчаные, легкосуглинистые)	На грунтах с низкой впитывающей способностью (тяжелосуглинистые и глинистые)
А. Биологические (в междурядьях лесополос): мульча из соломы люпин	500 800	350—500 400—500
Б. Гидротехнические: валы на опушке лесополосы канавы в междурядьях лесополосы вал + канава: вне лесополосы вал на опушке лесополосы + канава в междурядьях	3300 3600 2600 4400	500—700 1200—1300 - 1500—1700
В. Гидротехнические + гидромелиоративные: валы + канава + фильтрующие щели в междурядьях с наполнителем осушительно – увлажнительный дренаж на нижележащем от лесополосы поле	>4000	>1700
Г. Сочетание биологических, гидротехнических и гидромелиоративных приемов: мульчирование + гидротехника + гидромелиорация (дренаж)	>5000	>2000

Из данных таблицы 3 видно, что реальные приемы усиления водопоглощения в лесных полосах условно делятся на биологические (мульчированные), гидротехнические (валы, канавы, щели с фильтрующим наполнителем и др.), гидромелиоративные (осушительно-увлажнительный дренаж лесомелиорированных полей), комплексные (биологические,

гидрологические, гидромелиоративные). Если в стокорегулирующих лесных полосах среднее водопоглощение составляет 400—600 мм [15], то в лесополосах с методами усиления водопоглощения оно увеличивается в несколько раз и может достигать в максимуме 1500—2000 мм и более (на грунтах с низкой впитывающей способностью)

Географически ландшафтно-кластерный принцип улучшения и преобразования гидрологического режима степных засушливых территорий разработал В. В. Докучаев [12]. Он предусматривал сбалансированное комплексное использование различных кластеров в рациональном аграрном природопользовании для эффективного, экономного (бережного), экологического и неразрушающего подхода к использованию природных ресурсов (влаги, почвенного плодородия, энергии, труда и др.). Важнейшие кластеры адаптивно-ландшафтного сберегающего земледелия – это противоэрозионная организация использования территории землепользования, противоэрозионная влагосберегающая агротехника, структура посевных площадей и противоэрозионная ярусность угодий, агролесомелиорация, противоэрозионная гидротехника, лугомелиорация и другие. Наиболее важная роль в преобразовании гидрологического режима степных засушливых агроландшафтов принадлежит противоэрозионной лесомелиорации.

Чтобы выявить основные количественные величины элементов водного весеннего баланса, преобразованных методами агролесомелиорации агролесоландшафтов, на Поволжской АГЛЮС были подобраны и оборудованы несколько опытных водосборов с разным соотношением элементов ландшафтов. Характеристика приведена в таблице 4. Результаты сравнительного изучения элементов водного баланса за период 1971—1977 года приведены в таблице 5.

Таблица 4 – Основные показатели опытных водосборов Поволжской АГЛЮС [16]

Наименование водосбора	Площадь, га	Экспозиция склона	Средняя крутизна склонов, град.	Средние размеры, км		Лесистость (%)	
				длина	ширина	общая	противоэрозионная пашни
Простые водосборы							
«Пастбище»	1,2	Ю	5,0	0,2	0,1	0	0
«Полевой»	15,2	В	2,0	0,8	0,2	0	0
«Лесомелиорированный»	14,7	Ю	1,7	1,0	0,15	4,6	4,6
«Лесной массив»	4,2	З	1,7	0,6	0,1	100	100
Комплексные водосборы							
«Первомайский»	96,1	В	1,9	1,8	0,5	14,6	0
«Питомник»	68,7	В	1,9	1,9	0,5	19,7	10,0

Они показали высокую степень воздействия, преобразования и улучшения влагообеспеченности сельхозкультур в лесомелиорированных ландшафтах. В них существенно увеличиваются приходные части баланса (осадки, выпитывание) и сокращаются непродуктивные расходные (сток, потеря снега на перенос и сублимацию, на физическое испарение).

Таблица 5 – Основные элементы весеннего водного баланса простых и комплексных опытных водосборов (средние данные за 1971 – 1977 гг.), Поволжская АГЛОС

Водосбор	Запас снеговой воды + осадки за период снеготаяния, мм	Впиталось в почву – валовое увлажнение, мм	Поверхностный сток, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, м ³ /га
Простые водосборы					
«Пастбище»	87	40	47	0,54	0,1
«Полевой»	11	90	20	0,18	0,8
«Лесомелиорированный»	141	134	7	0,05	0,2
«Лесной массив»	148	148	0	0	0
Комплексные водосборы					
«Первомайский»	117	94(89)	23(28)	0,20(0,24)	0,6
«Питомник»	148	141(144)	7(4)	0,5(0,02)	0

Примечания. 1. В графе «впиталось в почву (мм)» данные приведены без учета слоя испарившейся воды с поверхности почвы и снега за период снеготаяния. В скобках – данные по стоку после корректировки на влияние опушечных сугробов и размещения лесных полос вдоль склона. 2. Простые водосборы – водосборы ложбинного типа с одним видом ландшафта, угодий (поле, естественное пастбище, поле с лесомелиорации, лес). Комплексные водосборы – лощинные и суходольные, с комплексом разных ландшафтов (поле + лесные полосы + пастбища + естественный лес).

Систематизация, анализ и обобщение Е. А. Гаршиным и А. Т. Барабановым [1, 3, 10] обширной собственной и литературной информации (около 1150 годовариантов) о стокорегулирующей и противоэрозионной эффективности агротехнических, гидротехнических, лесомелиоративных мероприятий и их различных сочетаний, полученных преимущественно с применением метода воднобалансовых (стоково-эрозионных) площадок, элементарных и сложных водосборов (таблица б), позволяет сделать ряд

важных заключений об эффективности систем (комплексов) противоэрозионных мероприятий и при их осуществлении в антропогенно преобразованных агроэкосистемах и агролесоландшафтах. Первое, что необходимо отметить – это низкую стокорегулирующую эффективность агротехнических приемов, особенно приемов устройства микрорельефа на пашне (лункование, бороздование, микролиманы, щелевание на глубину до 50 см и др.). Эти приемы уменьшают слой талого стока в среднем не более чем на 5—10 мм, а часто даже увеличивают его.

Таблица 6 – Обобщенные характеристики элементов водного баланса и максимального водопоглощения талых вод на естественных, антропогенно измененных стокорегулирующими приемами угодьях [1]

Угодья, агрофоны, стокорегулирующие приемы	Снего-запасы, мм	Сток, мм	Уменьшение (-), увеличение (+) стока в сравнении с контролем	Водопоглощение, мм	
				среднее	максимальное
1. Естественные девственные и антропогенно измененные угодья (без подтока со склонов)					
<i>1.1. Лесные насаждения</i>					
Леса естественные	180	2	-48	178	8000
Лесополосы: молодые взрослые	330	40	-10	290	1250
	170	5	-45	165	2800
<i>1.2. Травянистая растительность</i>					
Целина некосимая	130	0	-50	130	8000
Целина косимая		40	-10	40	50
Целина выпасаемая	100	60	+10	40	130
1.3. Пашня без специальных стокорегулирующих приемов					
Пашня: зябь	110	50	0	60	1300
Уплотненная пашня (многолетние травы и др.)	70	70	+20	50	2440
2. Антропогенно улучшаемый ландшафт с применением стокорегулирующих приемов					
<i>2.1. Агротехнические приемы</i>					
Глубокое рыхление, окультуривание почв	100	40	-10	60	90
Искусственный микрорельеф	100	45-66	+5...-5	45-55	50-75
<i>2.2. Гидротехнические приемы</i>					
Валы-террасы	100	10-20	-30 -40	80-90	220-470
Водопоглощающие каналы	100	5-15	-35...-45	85-95	300-970
2.3. Контурные комбинированные приемы, сочетающие задержание и поглощение воды в поле и на рубежах					
Лесополоса без средств усиления	100	15	-20	<u>85*</u> 960	<u>300*</u> 1300
Лесополосы + вал в лесополосе	100	10	-25	<u>90*</u> 1300	<u>470*</u> 3300
Лесополоса + вал + канава	100	5	-30	<u>95*</u> 1400	<u>970*</u> 4400

Примечание. * – в числителе водопоглощение в поле, в знаменателе – на рубеже.

Нами обобщены имеющиеся данные, которые свидетельствуют о том, что стокорегулирующая и противоэрозионная эффективность их низкая [5]. Из 215 годоопытов (случаев) положительный стокорегулирующий эффект от применения искусственного микрорельефа составляет 39% случаев, отрицательный – 31% и нулевой – 30%. В 64% случаев эффект был всего ± 5 мм, что находится в пределах точности опыта. Средние же величины эффекта колеблются около нуля. В прямой зависимости от стокорегулирующей находится и его противоэрозионная эффективность. Средняя величина сокращения смыва на серых лесных почвах при применении обвалования 0,7 т/га, а на лункованной зяби смыв увеличился в среднем на 0,2 т/га. Причина низкой его эффективности в следующем. Величина стокорегулирующего эффекта искусственного микрорельефа на зяби обуславливается ёмкостью микрорельефа, впитывающей способностью почвы и разницей между снегозапасами на контрольном варианте и варианте с микрорельефом (снегозадерживающий эффект). Ёмкость микрорельефа является величиной постоянной. Она зависит от вида орудия, применяемого для устройства микрорельефа, и составляет 30—40 мм. Разница в снегозапасах на контроле и на варианте с микрорельефом также величина постоянная, она связана с ёмкостью микрорельефа и составляет 10—15 мм. Эта величина отрицательная и чем больше абсолютное значение её, тем меньше стокорегулирующий эффект. Важнейшим показателем, который обуславливает стокорегулирующий эффект и который, как правило, не учитывается, является впитывающая способность почвы. Эффект от микрорельефа мог бы быть равным или больше величины его ёмкости, если бы впитывающая способность почвы на опытном варианте была бы равна или больше, чем на контроле, а снегозапасы на обоих вариантах одинаковые, т. е. мы достигли бы ожидаемого эффекта.

Однако, во-первых, микрорельеф играет снегозадерживающую роль, что приводит к снижению эффекта, а во-вторых, как показывают исследования, при устройстве микрорельефа снижается водопроницаемость почвы. Причины снижения водопроницаемости следующие: уплотнение почвы гусеницами трактора и колёсами орудий при поделке микрорельефа после вспашки и рабочими органами орудий при его устройстве в самих ёмкостях микрорельефа; уменьшение мощности рыхлого слоя в днище ёмкости, что равносильно уменьшению глубины вспашки, а это, как известно, приводит к уменьшению впитывающей способности почвы; образование наилка и закупорка пор в связи с формированием микростока и смыва с бортов ёмкостей во время осенних дождей; переувлажнение почвы в днищах ёмкостей с осени и последующая закупорка пор льдом зимой; образование льда в ёмкостях микрорельефа. Таким образом созданные искусственные ёмкости микрорельефа не компенсируют потери на впитывании, и сток не сокращается. Кроме того, когда отдельные емкости переполняются и размываются, то создается «лавинный эффект» и размываются остальные.

Пути повышения стокорегулирующей эффективности могут быть следующие: сохранение впитывающей способности почвы на уровне контроля и увеличение её, создание ёмкостей маленьких по размеру, но с большим суммарным объёмом водозадержания. Сохранение впитывающей способности почвы на вариантах с искусственным микрорельефом на уровне контроля или увеличение её можно достигнуть путём мульчирования поверхности почвы, применением искусственных структурообразователей, совместного применения микрорельефа и лесных полос и др. Но эти меры сильно не повысят стокорегулирующую эффективность микрорельефа, так как он почти не влияет на природные факторы (глубина промерзания, влажность почвы, снеготаяния), обуславливающие формирование стока.

Низкий эффект агротехнических приемов в регулировании талого стока легко объясняется с позиций теории формирования сплошной менисковой пленки в почве и ледяного экрана, разработанной Е. А. Гаршиным [11]. Ее положения обобщаются законом лимитирующих факторов стока, сформулированным А. Т. Барабановым [2,3,6].

Суть закона заключается в том, что при некотором минимальном значении одного из трех лимитирующих факторов (снеготаяния, глубина промерзания и влажность почвы) поверхностный сток не формируется независимо от уровня двух других. На основе закона разработан метод высокоточного прогноза поверхностного стока талых вод. Алгоритм прогноза стока в зависимости от уровня природных факторов приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Алгоритм прогноза поверхностного стока талых вод в зависимости от уровня природных факторов

Уровень факторов			Характер формирования стока
глубина промерзания почвы, см	запасы воды в почве (слой 0—50 см), мм	снеготаяния, мм	
Менее 50	Любой	Любой	Сток не формируется
Более 50	Менее 70—120 (по зонам)	Любой	Сток не формируется
Более 50	Более 70—120 (по зонам)	Меньше объема микрорельефа	Сток не формируется
Более 50	Более 70—120 (по зонам)	Больше объема микрорельефа	Сток формируется, величина его зависит от уровня запасов воды в снеге и почве и рассчитывается он по уравнениям [3]

В соответствии с этим законом важнейшими природными факторами стока талых вод являются снеготаяния, увлажнение и глубина промерзания почвы. Интенсивность и продолжительность снеготаяния и другие факторы на величину стока талых вод практически не влияют. Объясняется это тем, что верхний слой мерзлой почвы (0—30 см) при ее оттаивании увлажняется до наименьшей и даже полной влагоемкости, т. е. оттаивающая почва как саморегулирующаяся система поглощает максимально возможное

количество воды, обусловленное дефицитом ее влажности, а остальная вода стекает. Дефицит влаги (разница между полной влагоемкостью $W_{пв}$ и фактическими влагозапасами $W_{ф}$) обуславливает величину водопоглощения. Слой стока $У$ зависит от дефицита влаги в почве ΔW и снегозапасов перед снеготаянием W_c . В общем виде уравнение можно записать так:

$$У = W_c - (W_{пв} - W_{ф}) = W_c - \Delta W$$

Опираясь на выявленные закономерности и связи, был разработан метод прогноза стока с сельскохозяйственной территории. Для этого используется уравнение:

$$У = \sum_1^n (Y_{ai} \cdot S_{ai}) / \sum_1^n S_{ai},$$

где $У$ – слой стока с сельскохозяйственных угодий (мм), Y_{ai} – слой стока с i -того агрофона (зябь, уплотненная пашня, кормовые угодья гидрографической сети и т.д.), который определяется по уравнениям связи стока с природными факторами (мм), S_{ai} – соответственно площадь этих агрофонов.

Метод прогноза стока получил многолетнюю апробацию в разных природных зонах. Он позволяет с высокой точностью прогнозировать сток талых вод с сельскохозяйственных угодий.

Второе важное обстоятельство заключается в том, что максимальное стокорегулирование обеспечивают гидротехнические приемы на пашне (валы-террасы) и стокорегулирующие лесополосы в сочетании со средствами гидротехники (валы, каналы и особенно их комбинация). Высокий эффект поглощения талых вод обеспечивают также массивы лесной и целинной травянистой растительности.

Из закона лимитирующих факторов стока талых вод вытекает вывод, что, воздействуя на природные факторы стока (снегозапасы, увлажнение и глубина промерзания почвы), можно совершенствовать известные и разрабатывать новые приемы управления эрозионно-гидрологическими процессами. При этом возможности совершенствования агротехнических стокорегулирующих приемов ограничены, так как они почти не влияют на природные факторы стока.

В области лесомелиорации имеются большие перспективы в плане совершенствования и разработки новых приемов. Лесомелиоративные мероприятия сильно воздействуют на природные факторы, особенно на снегозапасы (снегоотложение), на глубину и характер промерзания почвы.

Для предохранения почвы от замерзания достаточно того, чтобы мощность снега была не больше 20—30 см к началу установления морозов и по мере усиления их увеличивалась до 50—80 см. Дальнейшее увеличение мощности снега в лесополосах нецелесообразно и даже может иметь отрицательные последствия. Решить эту задачу можно путем совершенствования конструкций лесополос. Требуется, чтобы лесополоса способствовала накоплению снега при первом снегопаде, а по достижении

необходимой мощности – равномерному его распределению в межполосном пространстве. Для этого в лесополосу нужно вводить низкорослый (до 50 см) кустарник. Таким образом, лесополоса должна быть плотной в нижней части (до 50 см) и продуваемой в средней и верхней частях.

Лесные полосы, как постоянно действующий фактор, оказывают мощное влияние на накопление снега и характер снегоотложения. Причём влияние это зависит от ветрового режима, способа их размещения, конструкции, параметров (количество рядов, ширина и др.), расстояния между ними. Как в зональном плане, так и на разных элементах рельефа и при различной ориентации к странам света это воздействие бывает разное.

При этом лесополосы плотной конструкции (с одним или двумя рядами кустарников без просветов по всему профилю), задерживая и перераспределяя на местности снег, обуславливают его накопление в самих себе и в приопушечных частях (зонах отложения снежных шлейфов), что способствует дополнительному увлажнению почвы и обеспечению деревьев необходимым количеством влаги, предотвращению промерзания почвы в них и, как результат, снижению стока и эрозии. Однако недостатком таких лесополос является то, что под их воздействием снег сдувается с полей и накапливается в больших количествах (до 150—200 см и более) в них самих и на опушках, что предопределяет потерю снеговой воды с полей и перевод ее потускулярно в грунтовые воды. Лесополосы продуваемой и ажурной конструкций без кустарников и с большим количеством просветов между стволами (35—60%), способствуя выдуванию снега из них и обеспечивая только частичное сохранение его на полях, не предохраняют почву от глубокого промерзания, что приводит к резкому уменьшению впитывающей способности почв и увеличению эрозии.

Такие полосы отлично распределяют снег на защищаемых полях, но в самой полосе он практически не накапливается, и они испытывают недостаток влаги, вследствие чего ослабляются и начинают разрушаться. В идеале нужна такая конструкция лесной полосы, которая бы оптимально распределяла снег на защищаемых полях (как продуваемая), но и накапливала достаточное количество снега чтобы обеспечивать потребности самого насаждения в воде и предотвращать почву от промерзания. Такими возможностями обладают полезащитные и стокорегулирующие лесополосы комбинированной конструкции. Они создаются из 2—3 рядов деревьев и 1 ряда низкорослых кустарников. При этом формируют следующую продуваемость их по профилю: в нижней части (до 0,3—0,5 м от поверхности земли) лесополоса должна быть плотная (до 10% просветов и до 25—30% ветропроницаемость), в средней (до 1,5—2,0 м) – продуваемая (свыше 60% просветов и более 70% ветропроницаемость) и в верхней (выше 2 м) – ажурная или плотная (до 15—35% просветов и 25—75% ветропроницаемость). Плотную нижнюю часть создают методом подбора низкорослого кустарника при посадке или путем подрезки высокорослого кустарника до необходимой высоты в существующих лесополосах. В

качестве низкорослого кустарника можно использовать разные виды жимолости, боярышника, кизильника, кустарниковой вишни, японскую айву, ежевику, бобовник, спирею и др. Продуваемую часть профиля формируют подбором пород без сучьев или с небольшим их количеством на высоте до 2 м при закладке новых лесополос или путем обрезки сучьев на деревьях в существующих.

Влияние лесных полос на снегозапасы и снегоотложение важно знать и учитывать не только как фактор, влияющий непосредственно на сток и эрозию почв, но и на увлажнение и промерзание почвы, которые в свою очередь являются также факторами эрозионно-гидрологического процесса. Специфический характер снегоотложения под воздействием лесных полос обуславливает и соответствующий характер увлажнения и промерзания почвы как в самих лесополосах, так и на полях, то есть эти природные факторы влияют на эрозионно-гидрологические процессы во взаимодействии как между собой, так и с антропогенными (лесные полосы и др.).

Могут быть другие пути регулирования снегоотложения с целью предохранения почвы от замерзания, например, посев кулис из сельскохозяйственных растений, вспашка с оставлением кулис из высокой стерни, микрокулисная вспашка и др.

На предзимнее увлажнение почвы лесные полосы мало влияют, а зимой, сохраняя почву в талом состоянии, они предохраняют ее от переувлажнения во время оттепелей, так как в таком состоянии влажность ее не может быть выше наименьшей влагоемкости. Таким образом, воздействуя на замерзание почвы, мы можем влиять на ее влажность.

Знание закона лимитирующих факторов позволило нам разработать и другие новые способы регулирования снегоотложения с целью управления эрозионно-гидрологическим процессом. Для условий, где возможно относительно равномерное распределение снега, предлагается следующий способ. На склоне создается система лесных полос в сочетании с кулисами из высокостебельных сельскохозяйственных растений. Для этого поперек склона или по контуру (вдоль горизонталей) размещаются лесополосы с изменяющейся ветропроницаемостью (уменьшающейся сверху вниз по склону): продуваемая приводораздельная, продуваемая стокорегулирующая, ажурно-продуваемая стокорегулирующая, ажурная стокорегулирующая и плотная прибалочная. На межшлейфовых участках межполосных пространств (кроме продуваемых лесополос) высеваются кулисы из высокостебельных сельскохозяйственных растений. При использовании этого способа весь выпавший снег откладывается на полях относительно равномерно с увеличением мощности сверху вниз, что обуславливает постепенное стаивание его в этом же направлении. При этом талая вода, стекающая по освобожденной поверхности, попадая в снег, еще лежащий в нижней части, почти не производит на ней смыва.

В районах, где на склонах у стокорегулирующих лесных полос образуются снежные шлейфы, предлагается применять другой новый способ

размещения стокорегулирующих лесных полос и сельскохозяйственных культур. Заключается он в создании на водосборе системы лесных полос и крупнополосном размещении сельскохозяйственных культур в прилегающих к ним зонах во взаимосвязи. Вблизи лесных полос, в зонах отложения снежных шлейфов, высевают яровые культуры, под которые требуется вспашка зяби, или размещают чистые пары, а в межшлейфовых частях межполосного пространства – многолетние травы, стерневые и другие мульчирующие агрофоны. При этом в процессе таяния снега в первую очередь освобождается от него средняя часть межполосного пространства. Талая вода, поступающая из примыкающего к нижней опушке вышележащей лесополосы снежного шлейфа на почвозащитную полосу, вообще не производит на ней смыва или он резко уменьшается. Пройдя через эту полосу, вода поступает на участок с отвальной зябью в зону снежного шлейфа, образованного нижележащей лесополосой. Здесь под снегом она также не производит смыва. Все это обеспечивает снижение смыва в 2—3 раза, а в ряде случаев может предотвратить его полностью. Таким образом, лесомелиоративные мероприятия, воздействуя на природные факторы, сильно влияют на эрозионно-гидрологический процесс. Знание закономерностей взаимодействия их и влияния на сток и смыв позволяет управлять этим процессом.

Заключение

Оценка всех способов и приемов управления эрозионно-гидрологическим процессом позволили выявить наиболее перспективные. Ими могут быть приемы, направленные на регулирование поверхностного стока путем потускулярного перевода его в грунтовый (лесные полосы, водозадерживающие валы и канавы и др.); безопасный сброс по поверхности (наклонные водоотводящие борозды, распылители стока, водоотводящие валы и др.); повышение противоэрозионной устойчивости почв (минимизация обработки, плоскорезная обработка, использование многолетних трав для улучшения структуры почв и др.); использование почвозащитных свойств растительности (почвозащитные севообороты, постоянное залужение сильноэродированных участков, совершенствование структуры посевных площадей и др.).

В силу указанных обстоятельств стратегия противоэрозионной мелиорации должна исходить из того, что необходимый стокорегулирующий эффект, способный практически возродить ситуацию естественного эрозионно-гидрологического режима в деградированных агроландшафтах, может обеспечить лишь искусственно создаваемая система контурных стокорегулирующих и противоэрозионных рубежей – в первую очередь, лесных полос в сочетании с гидротехническими приемами, создающих своеобразный каркас на местности. Агротехнические приемы в управлении

ЭГП выполняют лишь ограниченную роль, а применение гидросооружений (валов-террас) на пашне лимитируется сложностью их создания и эксплуатации. Наиболее перспективными приемами регулирования эрозионно-гидрологического процесса являются лесомелиоративные. Они многофункциональны, долговечны и высокоэффективны и есть возможности их дальнейшего совершенствования.

Таким образом, знание закона лимитирующих факторов стока позволяет целенаправленно строить системы адаптивно-ландшафтного земледелия и управлять эрозионно-гидрологическим процессом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта №16-16-34001 а(р)

Литература

1. Агрлесомелиоративное адаптивно-ландшафтное обустройство водосборов / Кочетов И. С. , Барабанов А. Т , Гаршинев Е. А. и др. / Волгоград, 1999. 84 с.
2. Барабанов А. Т. Закон лимитирующих факторов стока талых вод // Докл. РАСХН. 1994. № 6. С. 36—38.
3. Барабанов А. Т. Агрлесомелиорация в почвозащитном земледелии. Волгоград, 1993. 156 с.
4. Барабанов А. Т. Роль и место агрлесомелиорации в адаптивно-ландшафтной системе земледелия // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 2(38). С.22—31.
5. Барабанов А. Т. Роль и место агротехнических противоэрозионных мероприятий в системе адаптивно-ландшафтного земледелия // Вклад аграрной науки в развитие земледелия юга Российской Федерации. Инновационное развитие АПК: матер. междунар. науч.-практ. конф. Волгоград: ООО «Сфера», 2015. С.366—369.
7. Барабанов А. Т., Панов В. И. Сохранение экологического потенциала Волго-Ахтубинской поймы на основе высокоточного прогноза поверхностного стока талых вод в Волжско-Камском бассейне // Вода: химия и экология. 2014. №8. С.17—23.
8. Барабанов А. Т., Гаршинев Е. А. Оценка весеннего поверхностного стока в степи и лесостепи Европейской территории РСФСР, Украины и Белоруссии // Бюл. ВНИАЛМИ. Волгоград, 1987. Вып. 2 (51). С. 5—9.
9. Водный баланс основных экосистем Центральной лесостепи: материалы эксперимент, исследования / Под ред. А. М. Грина/. М., 1974. 133 с.
10. Виноградов Ю. Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Опыт критического анализа. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 312 с.

11. Гаршинев Е. А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: Экспериментальная оценка, расчет, проектирование. Волгоград, 1999. 220 с.
12. Гаршинев Е. А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: Теория и модели. Волгоград, 1999. 196 с.
13. Докучаев В. В. Наши степи прежде и теперь // Сочинения. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1951. Т. VI. С. 11—102.
14. Козменко А. С. Краткий предварительный отчет заведующего А. С. Козменко о ходе оценочно-гидрологических исследований в 1909 году. Тула, 1909. 56 с.
15. Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974. 448 с.
16. Панов В. И. Водный баланс и эрозия на черноземах Степного Заволжья // Автореф. дис. ... канд. географ. наук. М., 1975. 32 с.
17. Панов В. И. Преобразование гидрологического режима территории агролесомелиоративными комплексами // Вестник сельскохозяйственной науки. 1979. № 12. С. 133—141.
18. Сухарев И. П. Регулирование и использование местного стока. М.: Колос, 1976. 272 с.
19. Сухарев И. П., Пашнев Г. С. Пруды Центрально-Черноземной полосы. Воронеж, 1968. 150 с.
20. Сурмач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 254 с.
21. Труды экспедиции, снаряженной Лесным департаментом, под руководством проф. В. В. Докучаева // Сочинения. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1951. С. 103—204.

Literatura

1. Agrolesomeliorativnoe adaptivno-landshaftnoe obustrojstvo vo-dosborov / Kochetov I. S., Barabanov A. T., Garshinev E. A i dr. Volgograd, 1999. 84 s.
2. Barabanov A. T. Zakon limitirujushhih faktorov stoka talyh vod / A. T. Barabanov // Dokl. RASHN. 1994. № 6. S. 36—38.
3. Barabanov A. T. Agrolesomelioracija v pochvozashhitnom zemledelii.- Volgograd, 1993. 156 s.
4. Barabanov A. T. Rol' i mesto agrolesomelioracii v adaptivno-landshaftnooj sisteme zemledelija // Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2015. № 2(38). S.22—31
5. Barabanov A. T. Rol' i mesto agrotehnicheskikh protivojerozionnyh meroprijatij v sisteme adaptivno-landshaftnogo zemledelija // Vklad agrarnoj nauki v razvitie zemledelija juga Rossijskoj Federacii. Innovacionnoe razvitie APK: mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Volgograd: OOO

- «Sfera», 2015. S.366—369.
6. Barabanov A. T. , Panov V. I. Sohranenie jekologicheskogo potenciala Volgo-Ahtubinskoj pojmy na osnove vysokotochnogo prognoza poverhnostnogo stoka talyh vod v Volzhsko-Kamskom bassejne. // Voda: himija i jekologija. 2014. №8.17—23 s.
 7. Barabanov A. T. , Garshinev E. A. Ocenka vesennego poverhnostnogo stoka v stepi i lesostepi evropejskoj territorii RSFSR, Ukrainy i Belorussii // Bjul. VNIALMI. Volgograd, 1987. Vyp. 2(51). S. 5—9.
 8. Vodnyj balans osnovnyh jekosistem Central'noj lesostepi: Materialy jeksperiment, issledov. (Prilozhenija) / Pod red. A. M. Grina. M., 1974. 133 s.
 9. Vinogradov Ju. B. Matematicheskoe modelirovanie processov formirovanija stoka. Opyt kriticheskogo analiza. L.; Gidrometeoizdat, 1988. 312 s.
 10. Garshinev E. A. Jerozionno-gidrologicheskij process i lesomelioracija: Jeksperimental'naja ocenka, raschet, proektirovanie. Volgograd, 1999. 220 s.
 11. Garshinev E. A. Jerozionno-gidrologicheskij process i lesomelioracija: Teorija i modeli. Volgograd, 1999. 196 s.
 12. Dokuchaev V. V. Nashi stepi prezhde i teper' // Sochinenija. M.-L.: Izd. AN SSSR, 1951. T. VI. S. 11—102.
 13. Kozmenko A. S. Kratkij predvaritel'nyj otchet zavedujushhego A. S. Kozmenko o hode ocenочно-gidrologicheskikh issledovanij v 1909 godu. Tula, 1909. 56 s.
 14. L'vovich M. I. Mirovye vodnye resursy i ih budushhee. M.: Mysl', 1974. 448 s.
 15. Panov V. I. Vodnyiy balans i eroziya na chernozemah Stepnogo Zavolzhyia // Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata geograficheskikh nauk. M., 1975. 32 s.
 16. Panov V. i. Preobrazovanie gidrologicheskogo rezhima territorii agrolesom eldiorativnyimi kompleksami // Zhurnal «Vestnik selskohozyaystvennoy nauki», 1979, № 12. S. 133—141.
 17. Suharev I. P. Regulirovanie i ispol'zovanie mestnogo stoka. M.: Kolos, 1976. 272 s.
 18. Suharev I. P., Pashnev G. S. Prudy Central'no-Chernozemnoj polosy. Voronezh, 1968. 150 s.
 19. Surmach G. P. Vodnaja jerozija i bor'ba s nej. L.: Gidrometeoizdat, 1976. 254 s.
 20. Trudy jekspeicii, snarjazhennoj Lesnym departamentom, pod rukovodstvom prof. V. V. Dokuchaeva // Sochinenija. M.-L.: Izd. AN SSSR, 1951. S. 103—204.