

4.1.6. – Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агроресомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация (сельскохозяйственные науки)

УДК 634.0.6:634.0.266

DOI: 10.34736/FNC.2024.126.3.001.06-14

Концептуальные направления создания адаптивно-ландшафтных систем управления эрозионно-гидрологическим процессом

Анатолий Тимофеевич Барабанов[✉], e-mail: barabanov-a@vfanc.ru, д.с.-х.н., г.н.с., заведующий лабораторией защиты почв от эрозии, ORCID: 0000-0001-9945-654X, «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), e-mail: info@vfanc.ru, 400062, Университетский проспект, 97, г. Волгоград, Россия

Аннотация. Обзор и теоретические выкладки по результатам многолетних исследований. Изложены концептуальные направления создания адаптивно-ландшафтных систем управления эрозионно-гидрологическим процессом (ЭГП) на основе новых фундаментальных знаний о закономерностях формирования весеннего склонового стока. Объектами исследований были агроресомелиорационные ландшафты лесостепной, степной и сухостепной зон, природные и антропогенные факторы эрозионно-гидрологического процесса. Исследования проводились на серых лесных почвах, обыкновенных черноземах, каштановых и светлокаштановых почвах. Методической основой наших исследований была система методов, используемых в противоэрозионной мелиорации, гидрологии и других смежных науках, адаптированных к поставленным целям и задачам. В результате сформулированы и обоснованы концептуальные направления создания систем управления эрозионно-гидрологическим процессом на основе новых положений о взаимодействии талой воды с мерзлой почвой, роли свободных пор в верхнем слое (0-30 см) почвы и новых подходов и методов создания противоэрозионных приемов и технологий, проектирования систем адаптивно-ландшафтного земледелия. Установлено, что к концу весеннего снеготаяния почва успевает оттаять в результате термоинфильтрации на 3-30 см в разные годы, то есть впитывание талой воды происходит только в этом слое. Он обычно увлажняется до полной влагоемкости. Оттаивающая почва способна поглотить количество воды, обусловленное объемом свободных пор. Таким образом, главным фактором формирования склонового весеннего стока при таких условиях является влажность почвы.

Ключевые слова: эрозионно-аккумулятивный процесс, адаптивно-ландшафтное земледелие, эрозия почв, смыв почвы, факторы стока, поверхностный сток, агроресомелиорация, стокорегулирующие лесополосы, ледяной экран.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания № 122020100428-8 «Теоретические основы эрозионно-гидрологического процесса на водосборных бассейнах, концептуальные направления, пути и принципы создания высокоэффективных экологических систем управления этим процессом с целью полного предотвращения эрозии почв».

Цитирование. Барабанов А. Т. Концептуальные направления создания адаптивно-ландшафтных систем управления эрозионно-гидрологическим процессом // Научно-агрономический журнал. 2024. 3(126). С. 06-14. DOI: 10.34736/FNC.2024.126.3.001.06-14

Поступила в редакцию: 22.07.2024

Принята к печати: 19.08.2024

Введение. Основным инновационным направлением в прекращении деградации ландшафтов является разработка и осуществление системы земледелия на ландшафтной основе, направленной на регулирование склонового стока, сокращение смыва почв, ослабление вредоносного действия ветров и засух. С этой целью необходимо создание таких условий для антропогенной деятельности, при которой повышалась бы продуктивность сельскохозяйственных земель, а агроландшафты сохранялись без нарушения экологического баланса территории.

Для этого сельскохозяйственную деятельность необходимо осуществлять на адаптивно-ландшафтной основе, то есть с учетом влияния всех факторов, влияющих на деградацию почв. Сейчас в литературе имеется много материалов о роли различных факторов в формировании стока и

эрозии [5; 12; 17 и др.].

Козменко А. С. [11] впервые сформулировал идеологию адаптивно-ландшафтного подхода к обустройству сельскохозяйственных земель для борьбы с водной эрозией почв путем регулирования поверхностного стока целиком на водосборах, начиная от водораздела до тальвега. Им были разработаны основы противоэрозионной мелиорации, которые являются фундаментом современной адаптивно-ландшафтной системы земледелия. Важнейшими ее элементами являются противоэрозионная организация территории и агроресомелиоративное обустройство водосборов.

Целью работы было обоснование концептуальных направлений создания систем управления эрозионно-гидрологическим процессом (ЭГП) на основе новых фундаментальных знаний о закономерностях формирования весеннего склонового

стока, на основе которых будет выход на приоритетные прикладные разработки: развитие методологических основ и методики высокоточного прогноза стока, систему управления взаимодействием антропогенных и природных факторов, обуславливающих ЭГП на балочных водосборах и речных бассейнах. Эти разработки необходимы для решения двух важнейших стратегических задач: оптимальное регулирование весеннего паводка и защита почв от эрозии в условиях интенсивной сельскохозяйственной деятельности на водосборах в бассейнах Волги и Дона.

Основным направлением наших исследований является разработка фундаментальных основ эрозионно-гидрологического процесса и создания систем мероприятий по управлению им для защиты почв от эрозии. Противоэрозионная защита почв может быть достигнута на основе применения системы земледелия, которая должна осуществляться на адаптивно-ландшафтном принципе и знании особенностей эрозионных процессов на водосборах. Адаптивно-ландшафтный принцип в последние годы провозглашается определяющим в выработке стратегии создания почвозащитных систем земледелия и агролесомелиоративного экологического каркаса.

Наша работа базируется на следующих основных принципах:

- преемственности адаптивно-ландшафтного принципа идеям В.В. Докучаева в борьбе с засухой, а в противоэрозионной мелиорации – школы эрозиоведения А. С. Козменко – Г.П. Сурмача и его последователей [11];

- новых теоретических положений об эрозионно-гидрологическом процессе, сформулированных в последние годы и выраженных математическими моделями;

- комплексном подходе (ныне адаптивно-ландшафтном) к разработке мер борьбы с эрозией путем регулирования стока на целых водосборах от водораздела до тальвега с учетом природно-ресурсного потенциала и факторов, обуславливающих сток;

- на нормативной базе, разработанной за последние 60-65 лет.

Эти принципы стали основой современных адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Важно отметить, что главным, в борьбе с эрозией почв по А.С. Козменко, является регулирование современного и восстановление девственного водного режима в условиях сельскохозяйственной деятельности. Для этого необходимо знание закономерностей формирования стока, влияние на него взаимодействия природных и антропогенных факторов.

Для регулирования водного режима на всем водосборе при условии устойчивого функционирования агроландшафтов необходимо создание фундаментальной основы, новой теории, концептуальных направлений, параметров и критериев эрозионно-гидрологического процесса на водос-

борных бассейнах в условиях глобального изменения климата и усиления антропогенного воздействия на экосистемы; обоснование принципов формирования высокоэффективных, экологических систем управления этим процессом с целью снижения эрозии почв; разработка технологии цифрового проектирования систем противоэрозионных мероприятий с целью предотвращения деградации сельскохозяйственных земель.

Объекты и методика исследований. Исследования проводились в лесостепной, степной и сухостепной зонах бассейнов Волги и Дона на серых лесных почвах Орловской области (Новосильская ЗАГЛОС им А. С. Козменко), на обыкновенных черноземах Самарской области (Поволжская АГЛОС), на каштановых и светло-каштановых почвах Волгоградской области (Волгоградский стационар, Клетский и Камышинский опорные пункты).

При планировании, проведении опытов и анализе результатов мы использовали статистический, генетический и элементы системного подходов. В исследованиях применяли физическое и математическое моделирование.

Методической основой исследований был водно-балансовый метод с применением стоковых площадок размером 20 × 100 м, на которых изучали характер снегоотложения, замерзания и оттаивания почвы, определяли глубину ее промерзания, влажность, снегозапасы, сток талых вод. Высоту снега измеряли перед весенним снеготаянием на стоковых площадках по двум профилям через 4 м в 3–5-кратной повторности. Промерзание почвы определяли по кристалликам льда путем бурения почвы и по мерзлотомерам Данилина. При определении влажности почвы применяли термостатно-весовой метод. Замеры стока на водосливах с углом выреза 45° осуществляли через каждый час. Исследования проводились по методике, разработанной во ВНИАЛМИ (ныне ФНЦ агроэкологии РАН), с использованием методик ГГИ и Института географии РАН [8; 18; 20].

Результаты исследований и их обсуждение. На основе теоретических и экспериментальных исследований аспекта теории рельефообразования и гидрологических процессов, выполненных в опытной сети ВНИАЛМИ, а также анализа и обобщения информации, полученной из литературных источников [1; 5; 6; 7 и др.] были выдвинуты и обоснованы новые концептуальные положения, дополняющие представления о процессе инфильтрации талой воды в мерзлую почву, позволяющие по-новому теоретически изложить суть процесса водопоглощения в мерзлом верхнем слое почвы.

При разработке концептуальных направлений создания экологических систем управления эрозионно-гидрологическим процессом нашли применение следующие наиболее важные новые результаты теоретических работ [2; 8]: новые знания об эрозионно-гидрологическом процессе; система управления водными ресурсами на водосборных бассейнах; экспериментально установленный

факт, что поглощение талой воды в мерзлую почву происходит в слое почвы мощностью не более 30 см, изменяющейся по годам и природным зонам от 3 до 30 см; положение о том, что глубоко промерзшая почва способна поглотить и удержать количество воды, равное объему свободных пор в верхнем слое почвы; важный вывод о том, что величина весеннего склонового стока зависит от объема свободных пор самого верхнего (0-30 см) слоя почвы и запасов воды в снеге; концепция формирования ледяного экрана и новая методика его расчета, позволяющая более обоснованно подходить к разработке системы управления эрозионно-гидрологическим процессом, новых приемов защиты почв от эрозии; теоретические аспекты рационального природопользования, планирования и цифровые технологии проектирования систем управления эрозионно-гидрологическим процессом на основе адаптивно-ландшафтного земледелия; методы, формы и механизмы лесомелиоративного обустройства и рационального использования склоновых земель; подходы и методы создания новых противоэрозионных приемов.

Концептуальные направления создания систем адаптивно-ландшафтного земледелия для управления эрозионно-гидрологическим процессом базируются на разработанных ранее теоретических и практических разработках:

- теория рельефообразования, формирования склонов и покровных отложений в результате древнего эрозионно-аккумулятивного процесса, протекающего в послетретичный период;

- функция формы склонов и эрозионно-аккумулятивного процесса, схема их эволюции, методика расчета смыва, которые позволяют перейти на автоматизированное проектирование систем управления эрозионно-гидрологическим процессом;

- теория формирования стока талых вод, связь его с природными факторами;

- закон лимитирующих факторов поверхностного стока, математические модели его формирования;

- теоретическая основа прогнозирования весеннего склонового стока, новые положения, объясняющие физику эрозионно-гидрологического процесса,

- концепция адаптивно-ландшафтного обустройства сельскохозяйственных земель и совершенствования системы земледелия;

- концепция системы автоматизированного проектирования стокорегулирующих лесополос (САПР).

Концептуальные положения роли рельефа, сформулированные на основе выполненных А.С. Козменко [11] исследований на Среднерусской возвышенности, заключаются в следующем:

- при оценке характера эрозионно-гидрологических процессов необходимо различать древнюю и современную (антропогенную) эрозию, связывать течение древней эрозии с эпохами оледенения на равнине, а обусловленность современной эрозии –

в первую очередь с хозяйственной (главным образом сельскохозяйственной) деятельностью;

- важно различать древние эрозионные образования – ложбины, лощины, суходолы (балки) и речные долины, образовавшиеся в эпохи оледенения, с которыми не надо бороться, и современные – плоскостной смыв и размывы различной формы (водороины, промоины, овраги и др.), которые образовались на фоне древних в результате нерациональной сельскохозяйственной деятельности и с которыми надо бороться;

- важно учитывать первостепенное значение смыва почвы в сравнении с оврагообразованием, что обуславливает комплексный подход к борьбе с эрозией почв путем регулирования стока на всем водосборе, а не сосредотачиваться на борьбе с оврагами.

- необходимо учитывать роль растительности как фактора эрозионного процесса, важно иметь в виду, что образование рельефа – это результат единого эрозионно-аккумулятивного процесса, что позволяет увязать распространение лесной, травянистой растительности с почвообразованием в лесостепи и литологией толщи четвертичных покровных отложений.

Форма склонов является важным элементом рельефа, который необходимо учитывать при регулировании стока на водосборах. Гаршинёвым Е. А. [8] уточнены условия формирования эрозионно-аккумулятивных форм рельефа; разработана схема изменения склонов в ходе эрозионно-аккумулятивного процесса и эволюции размывов от обрывистых откосов к осыпным склонам делювиального смыва и аккумуляции. На этой основе им предложено выражать функцию формы склона (ФФС) посредством логистического уравнения:

$$H = (H_{\max} - H_{\min}) / (1 + \exp(-a + bL)) + H_{\min}, \quad (1)$$

где H , H_{\max} , H_{\min} – текущая, максимальная и минимальная отметки поверхности склонов; L – длина склона (горизонтальное проложение); параметр b отражает изменение уклона в процессе эволюции склона (уменьшается во времени), параметр a – параллельное отступление склона.

Аналитическое описание формы склона имеет важное познавательное и прикладное значение в эрозиоведении, особенно в расчетах ЭАП, так или иначе учитывающих рельеф местности.

Все эти положения фактора рельефа необходимо учитывать при планировании и разработке системы управления эрозионно-гидрологическим процессом.

Гидрологический и эрозионный процессы в совокупности составляют понятие эрозионно-гидрологического процесса – очень сложного явления, протекающего под воздействием многих природных и антропогенных факторов [12; 13; 14].

На основе наших многолетних исследований (за период свыше 60 лет) выявлена связь стока талых вод на зяби и уплотненной пашне с запасами воды в снеге, почве и глубиной ее промерзания. Это позволило сформулировать и обосновать закон

Таблица. Характер формирования поверхностного стока талых вод в зависимости от уровней природных факторов

Уровень факторов			Характер формирования стока
глубина промерзания почвы, см	запас воды в почве (слой 0-50 см), мм	снегозапасы, мм	
Меньше 50	Любой	Любой	Сток не формируется
Больше 50	Меньше 70-120 (по природным зонам)	Любой	Сток не формируется
	Больше 70-120 (по природным зонам)	Меньше объема свободных пор в слое 0-30 см	Сток не формируется
		Больше объема свободных пор в слое 0-30 см	Сток формируется, величина его зависит от запасов воды в снеге и почве

лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод [2; 3]. Он формулируется так – при некотором минимальном значении одного из трех лимитирующих факторов (снегозапасы, глубина промерзания и влажность почвы) поверхностный сток талых вод не формируется независимо от уровня двух других. Определены максимальные значения лимитирующих факторов, при которых сток не формируется (таблица).

При уровнях факторов, ниже лимитирующих, стока нет, а при уровнях выше лимитирующих он формируется всегда, и величина его зависит только от снегозапасов и влажности почвы. Глубина промерзания почвы зависит от наличия и высоты снежного и травянистого покрова, лесной подстилки, а также суммы отрицательных температур холодного периода [3]. Увлажненность верхнего 0-30 сантиметрового слоя почвы является одним из основных факторов, влияющих на формирование поверхностного стока талых вод при глубине промерзания выше 50 см. От влажности почвы также зависит характер ее промерзания (ее льдистость). Предотвратить глубокое промерзание почвы в холодные зимы повсеместно невозможно. Регулируя характер снегоотложения, можно добиться предохранения почвы от промерзания полосно, что будет способствовать хорошему водопоглощению [3].

Таким образом, при уровнях факторов ниже лимитирующих выявлен генезис процесса и создана теория его формирования. Он позволяет получить более правильное представление об эрозионно-гидрологическом процессе. Это можно использовать при обосновании элементов противоэрозионного комплекса, их сочетаний и разрабатывать адаптивно-ландшафтную систему земледелия в целом. Они могут служить теоретической и нормативной базой при разработке системы управления эрозионно-гидрологическим процессом на расчетной основе для обустройства комплексных балочных и малых речных водосборов.

На основе этого закона и ряда других новых положений нами разработан и апробирован новый метод прогноза стока талых вод, позволяющий с большой заблаговременностью (1-2 месяца) точно спрогнозировать сам факт отсутствия или наличия весеннего паводка и его величину. Факт отсутствия стока определяется уровнями факторов

ниже лимитирующих (см. таблицу). При уровнях факторов, выше лимитирующих, сток образуется всегда, и его величина зависит только от запасов воды в снеге и объема свободных пор в верхнем слое почвы до 30 см.

Теоретической основой прогнозирования весеннего склонового стока на генетической основе для условий, когда уровни природных факторов выше лимитирующих, являются новые теоретические положения, объясняющие физику эрозионно-гидрологического процесса. Для понимания его генезиса и разработки теории формирования стока необходимо было рассмотреть динамику процесса впитывания снеговой воды в мерзлую почву с позиций теплообмена. Большой интерес в этом отношении представляют исследования ГГИ [4; 10]. Ими была разработана концепция «запирающего слоя», который формируется в мерзлой почве слоем, равным иногда глубине ее промерзания. Отмечая важность этой концепции для понимания процесса взаимодействия талой воды с мерзлой почвой следует отметить, что авторы ошибочно представляют, что в этом процессе участвуют свободные поры всего запирающего слоя и слоя оттаявшей почвы, расположенного выше него.

Наиболее близко к решению этого вопроса подошли во ВНИАЛМИ. Гаршинёв Е. А. обстоятельно и глубоко изучил процесс поглощения талой снеговой воды в глубоко промерзшую почву и сформулировал концепцию «ледяного экрана», образующегося в виде водонепроницаемой ледяной прослойки на границе оттаявшего сверху слоя почвы и мерзлого нижнего слоя [8]. В результате водопоглощение в мерзлую почву превращается в процесс «термоинфильтрации» за счет тепла поступающей снеговой воды. По концепции Гаршинева Е.А. ледяной экран образуется в результате протаивания почвы путем ее теплообмена, и свободные поры заполняются водой. Этот процесс динамичный. При дальнейшем оттаивании почвы по мере дополнительного поступления талой воды ледяной экран еще опускается, и снова свободные поры заполняются.

Автором было установлено и сформулировано ряд положений [2; 3], позволяющих по-новому подойти к объяснению взаимодействия талой воды с мерзлой почвой:

– почва, как саморегулирующая система, способна поглотить и удержать определенное количество воды, равное дефициту влажности, максимальная величина которого в мерзлом состоянии может достигать полной влагоемкости;

– водопоглощение мерзлой почвой определяется мощностью оттаявшего сверху за весенний паводок почвенного слоя, определяющего инфильтрацию;

– мерзлая почва к концу весеннего снеготаяния оттаивает в разные годы по зонам на глубину от 3 до 30 см, т.е. ледяной экран образуется на этой глубине, и процесс поглощения почвой воды протекает в этом же слое;

– величину водопоглощения в оттаявшем слое почвы обуславливает объем свободной порозности, который равен разности между общей порозностью и фактическими влагозапасами.

При поступлении в мерзлую почву снеговой воды свободные поры полностью заполняются, верхний слой увлажняется до уровня полной влагоемкости. Если снеготаяния больше объема свободных пор, то лишняя вода стекает.

В исследованиях, проведенных в Западной Сибири [19], также отмечается, что ледяной экран, препятствующий миграции талых вод вглубь профиля черноземов, образуется при наличии свободной влаги (больше НВ) в почве в осенний период.

Опираясь на закон лимитирующих факторов стока талых вод и изложенные выше положения, автором разработан совершенно новый (получен патент на изобретение) способ расчета стока (Y, мм) на сельскохозяйственных угодьях [16]. Главная новизна этого способа состоит в том, что необходимые для расчета показатели (глубина промерзания почвы, запасы воды в снеге и почве, общая и свободная порозность, удельная и объемная масса почвы) определяются только в слое до 30 см. Вовлечение в расчет стока более глубоких слоев почвогрунта только увеличивает ошибку расчета. Величина стока определяется снеготаянием и объемом свободных пор в слое почвы 0-30 см, который, в свою очередь, зависит от запасов влаги в почве. Он равен разнице между общей порозностью и запасами воды в почве. Общая порозность рассчитывается по соотношению объемной и удельной массы почвы. Общая величина стока вычисляется по формуле:

$$Y = W_c - \left[\left(1 - \frac{d_v}{d} \right) * 100 \right] * h * 10 - W_n$$

где Y – величина стока, мм; W_c – запасы воды в снеге, мм; W_n – запасы воды в почве, мм; d_v – объемная масса почвы, г/см³; d – удельная масса почвы, г/см³; h – мощность почвенного слоя, м.

Этот способ позволит повысить точность и заблаговременность расчета весеннего склонового стока на сельскохозяйственных землях и по-новому подойти к созданию и реализации важных прикладных разработок в сельском хозяйстве, рациональном природопользовании, борьбе с эро-

зией почв. Полученные фундаментальные знания дадут возможность по-новому подойти к решению проблемы управления эрозионно-гидрологическим процессом.

Другая важная область применения закона лимитирующих факторов стока талых вод – это возможность по-новому подойти, с одной стороны, к оценке стокорегулирующей роли известных противозерозионных приемов, а с другой, – к разработке принципиально новых эффективных приемов. При этом должны разрабатываться приемы, которые воздействуют на лимитирующие факторы стока.

Обобщением всей совокупности данных по эффективности известных стокорегулирующих агротехнических приемов (глубокой контурной и поперечной вспашки, рыхления, щелевания, поверхностного микрорельефа и др.) за 35-40 лет (около 1000 годоопытов) достоверно установлено, что они регулируют сток совершенно недостаточно. Причиной этого является то обстоятельство, что все известные агротехнические приемы слабо или вовсе не влияют на природные факторы, управляющие водопроницаемостью почвы, в первую очередь ее влажностью и глубиной промерзания. В этих условиях дополнительное накопление снега, которое обеспечивается снегозадержанием приводит не к уменьшению стока, а к его возрастанию. Возрастает сток и при устройстве микрорельефа, поскольку оно сопровождается уплотнением почвы, т.е. уменьшением свободной порозности.

Анализ недостаточной эффективности агротехнических приемов дает ключ к пониманию путей и средств решения проблемы регулирования стока. Поскольку уменьшение влажности почвы задача практически неразрешимая, а уменьшение снеготаяния усиливает промерзание почвы и уменьшает весеннюю влагозарядку, то генеральной линией в регулировании стока является создание условий, обеспечивающих уменьшение или полное предотвращение промерзания почвы. То и другое достигимо несколькими путями.

Первый путь – обеспечение возможно более раннего формирования снежного покрова большой мощности (20-30 см к началу установления морозов и 30-50 см в дальнейшем в течение зимы), обеспечивающего сохранение талой почвы или ее слабого промерзания в течение зимы. Решение задачи накопления такого количества снега на всей территории практически невозможно, так как снег при выпадении сносится в гидрографическую сеть. Локально же, лентами, этого можно достичь с помощью лесополос или кулис. Экспериментальные данные показывают, что лесополосы мощно воздействуют на глубину промерзания почв. Средняя за 25 лет глубина промерзания почвы в Нечерноземье в открытом поле составила 72 см, в лесополосах 33 см, в Нижнем Поволжье соответственно 59 см и 26 см. Глубина промерзания почвы в Нечерноземье меньше 50 см (т.е. при которой сток не формируется) бывает в лесополосах 3 года в де-

сятилетие, а в открытом поле 2 года в десятилетие. Таким образом, в лесополосах в 80 % случаев почва бывает талая или слабопромерзшая, что обеспечивает сохранение ее высокой впитывающей способности. В Нижнем Поволжье почва в лесополосах в таком состоянии бывает в 97 % случаев (т.е. почти ежегодно), а в открытом поле – в 45 % случаях.

Второй путь создания условий для уменьшения или полного предотвращения глубины промерзания почвы – это устройство канав с глубиной, достигающей талых слоев почвы (1-1,5 м). Это наиболее простое и эффективное средство, особенно в сочетании с лесополосами. Лесные полосы обеспечивают формирование снежных шлейфов, уменьшающих промерзание почвы под ними, за счет чего повышается их водопроницаемость. Многолетняя проверка эффективности этих средств в экспериментах полностью подтверждает прогнозируемые результаты: сток талых вод со склона при сочетании системы лесополос с водопоглощающими канавами сокращается на величину от 30 до 70 и даже 100 мм.

Закон лимитирующих факторов стока позволил нам выявить рычаги управления, на которые надо воздействовать, чтобы эффективно управлять эрозионно-гидрологическим процессом. Он позволяет по-новому подходить к оценке роли противоэрозионных мероприятий и разработке новых приемов. На его основе мы разработали ряд новых способов регулирования стока:

- крупнополосное размещение сельскохозяйственных культур в межполосных пространствах системы стокорегулирующих лесополос: вблизи лесных полос, в зонах отложения снежных шлейфов, высеваются яровые культуры, под которые требуется вспашка зяби, или размещаются чистые пары, а в межшлейфовых частях – многолетние травы, стерневые и другие мульчирующие агрофоны (авторское свидетельство № 1404000);

- способ прогнозирования поверхностного стока талых вод, позволяющий определять характер его формирования (отсутствие, наличие) и величину (слой) на основе измерения глубины промерзания почвы, запасов воды в почве снеге и ледяной корке (патент № 2790452).

- создание системы лесных полос с уменьшающейся сверху вниз по склону ветропроницаемостью – от продуваемой до плотной конструкции (№ 1799244);

- создание системы лесополос комбинированной конструкции – в нижней части полоса плотной конструкции создается за счет низкорослого кустарника высотой до 30-50 см, затем в средней части (до 1,5 м), продуваемой обрезанием или прорезыванием ветвей деревьев, а выше 1,5 м – плотной или ажурной конструкции (патент № 2248116);

- создание системы стокорегулирующих лесополос поперек склона или вдоль горизонталей из одного ряда низкорослого кустарника высотой до 0,5 м и двух рядов деревьев, причем кустарник размещается в среднем ряду, а деревья в

- крайних опушечных рядах (патент № 2787052);
- способ предотвращения смыва почв в агроландшафтах путем сохранения на поле стерни разной высоты, увеличивая ее в направлении от верхней части склона к нижней полосами: 5-7 см в верхней части склона, 10-12 см – в средней, 15-17 см – в нижней и далее к основанию – 20-22 см (патент № 2787052).

Таким образом, знание закона лимитирующих факторов стока позволило определить генеральное направление в совершенствовании известных малоэффективных противоэрозионных приемов и разработке принципиально новых, эффективных приемов и способов защиты почв от эрозии. Это позволит разрабатывать высокоэффективные системы мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом.

Определяющим концептуальным направлением создания систем управления эрозионно-гидрологическим процессом является комплексный подход к адаптивно-ландшафтному земледелию на основе противоэрозионного обустройства сельскохозяйственных земель на всем водосборе от водораздела до тальвега с применением системы мероприятий: организационно-хозяйственных, агролесомелиоративных, агротехнических, лугомелиоративных и гидротехнических.

Адаптивно-ландшафтное земледелие – это сельскохозяйственная деятельность, при которой максимально учитываются особенности природных и антропогенных ландшафтов, требовательность сельскохозяйственных культур к условиям произрастания, оптимально реализуется ресурсный потенциал, каждый земельный участок используется с учетом его агроэкологического состояния.

В эрозионных ландшафтах важнейшим элементом адаптивно-ландшафтной системы земледелия является противоэрозионная организация территории, предусматривающая выделение севооборотных массивов с учетом рельефа, смывости почв, характера процессов эрозии; рациональное размещение полей, лесных полос и других рубежей; планирование схем севооборотов; определение характера обработки почвы; назначение противоэрозионных мероприятий, приемов и технологий; мест размещения гидротехнических сооружений и способов улучшения суходольных лугов.

В противоэрозионной организации сельскохозяйственных земель главным является выделение границ участков с однородными условиями и определение характера их использования, а также применение технологий, приемов и мероприятий, обеспечивающих их противоэрозионную защиту.

При планировании комплекса противоэрозионных мероприятий необходимо исходить из того, что под воздействием природных и антропогенных факторов сложились различные почвенно-экологические условия, чем и обусловлено выделение ландшафтных поясов – эрозионных земельных фондов: приводораздельный, присетевой и гидрографический.

Для каждого из них определяется разный характер использования и применение мер защиты почв от эрозии. Критериями для выделения разных групп земель на склонах являются характер гидрологических и эрозионных процессов, состояние почв, местонахождение в рельефе, доступность для проведения механизированных работ и др. [3].

Концептуальное положение системы автоматизированного проектирования стокорегулирующих лесополос (САПР), разработанной Е. А. Гаршинёвым [8], строится на теоретических разработках, математических моделях, сформированных на базе экспериментальных данных по численной оценке основных характеристик эрозионно-гидрологического процесса и эффективности противоэрозионных мероприятий.

САПР обеспечивает выполнение следующих функций: ввод картографической информации (горизонталей топокарты, координат ситуации – границ хозяйства, полей, почвенных контуров, поселков, дорог и т. д.); проложение линий тока; выполнение необходимых инженерных расчетов (значений величин уклона, смыва и т. д.); построение карт уклонов, смыва; размещение рубежей (лесополос), составление расчетно-технологических карт (РТК) и выполнение сметно-финансовых расчетов.

Заключение. В результате теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в ле-

состепной, степной и сухостепной зонах и анализа литературных источников были обоснованы концептуальные направления создания систем управления эрозионно-гидрологическим процессом с целью предотвращения эрозии почв, выдвинуты новые теоретические положения, существенно дополняющие наши знания о генезисе гидрологических процессов, которые позволяют по-новому понять условия взаимодействия талых вод с мерзлой почвой и определить пути и направления совершенствования существующих и разработки новых противоэрозионных приемов и технологий.

Эти фундаментальные знания позволяют по-новому подойти к оценке гидрологического процесса и реализовать важные прикладные разработки. На их основе сделан важный вывод о том, что при разработке стокорегулирующих приемов и их оценке надо учитывать то, как они воздействуют на природные факторы: глубину промерзания, увлажнение почвы и снеготпасы.

Эти концептуальные положения строились на основе новых знаний о взаимодействии талой воды с мерзлой почвой, новых положений о роли свободных пор в верхнем слое (0-30 см) почвы в водопоглощении и формировании ледяного экрана, новых подходов и методов создания противоэрозионных приемов и технологий, проектирования систем управления эрозионно-гидрологическим процессом в условиях интенсивного земледелия.



Система стокорегулирующих лесополос

Литература:

1. Алексеевский Н. И., Фролова Н. П., Антонова М. М., Игонина М. И. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги // *Вода: химия и экология*. 2013. №4. С. 3–12.
2. Барабанов А. Т. Научные основы управления эрозионно-гидрологическим процессом // *Известия Нижневолж-*

ского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 1(33). С. 33–38.

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

4. Бажин П. А., Павлова К. К. Интегральные показатели водопоглотительной способности почв // Метеорология и гидрология. 1978. № 6. С.71–76.
5. Болгов М. В., Филиппова И. А., Коробкина Е. А., Зайцева А. В., Харламов М. А. Водные ресурсы бассейна р. Дон в условиях климатических изменений / Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов («Опасные явления»): матер. междуна-род. науч. конф. Ростов н/Д: ЮНЦ РАН. 2019. С. 364–366.
6. Борщ С. В., Гельфан А. Н., Морейдо В. М., Мотовилов Ю. Г., Симонов Ю. А. Долгосрочный ансамблевый прогноз весеннего притока воды в Чебоксарское водохранилище на основе гидрологической модели: результаты проверочных и оперативных испытаний // Труды Гидрометцентра России. 2017. Вып. 366. С. 68–86.
7. Варенцова Н. А., Киреева М. Б., Фролова Н. Л., Харламова М. А., Илич В. П., Сазонов А. А. Прогноз притока воды к Цимлянскому водохранилищу в период половодья в современных климатических условиях: проблемы и воспроизводимость // Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 6. С. 694–709. DOI: 10.31857/S0321059620060152
8. Гаршинёв Е. А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: Теория и модели. – Волгоград: ВНИАЛМИ. 1999. 196 с.
9. Демидов В. В. Закономерности формирования эрозионных процессов при снеготаянии в лесостепной зоне Центральной России: теория и экспериментальные исследования. – Новосибирск, 2016. 60 с.
10. Калюжный И. Л., Лавров С. А. Гидрофизические процессы на водосборе: Экспериментальные исследования и моделирование. СПб.: Нестор-История. 2012. 616 с.
11. Козменко А. С. Основы противозерозионной мелиорации / Государственное издательство сельскохозяйственной литературы. Москва 1954. 371 с. // Избранные труды научной школы эрозиоведения А. С. Козменко – Г. П. Сурмача в четырех томах. Т. 1. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН. 2023. 728 с.
12. Комиссаров М. А., Габбасова И. М. Эрозия почв при снеготаянии на пологих склонах в Южном Предуралье // Почвоведение. 2014. № 6. С. 734–743.
13. Кумани М. В., Шульгина Д. В., Киселёв В. В. Многолетняя динамика основных элементов стока рек в пределах Центрального Черноземья // Региональные геосистемы. 2021. № 4. С. 617–631. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-617-631
14. Мотовилов Ю. Г. Система физико-математических моделей формирования речного стока и ее применение в задачах гидрологических расчетов и прогнозов: автореф. дис. докт. геогр. наук. – М.: Институт водных проблем РАН, 2019. 42 с.
15. Мухин В. М. Методы прогнозирования притока воды в водохранилища за период весеннего половодья // Труды Гидрометцентра России. Гидрометеорологические прогнозы. 2014. Вып. 351. С. 108–140.
16. Патент RU 2790452 A01 13/16, G01N 33/24. Способ прогнозирования поверхностного стока талых вод в агроландшафтах на водосборных бассейнах Волги и Дона / заявитель ФНЦ агроэкологии РАН. № 2021126560, заявл. 08.09.2021 г., опубл. 21.02.2023 г
17. Сосновский А. В., Осокин Н. И. Высота снежного покрова в лесу и поле на равнинной территории России при современном климате // Лёд и снег. 2023. Т. 63. № 4. <https://doi.org/10.31857/S2076673423040166>
18. Сурмач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней. Л.: Гидрометиздат, 1976. 254 с. // Избранные труды научной школы эрозиоведения А. С. Козменко – Г. П. Сурмача в четырех томах. Т. 2. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН. 2023. 608 с.
19. Танасиенко А. А., Чумбаев А. С. Условия формирования льдистого экрана в эродированных черноземах Западной Сибири // Почвоведение. 2010. № 4. С. 450–460.
20. Ясинский С. В., Кашутина Е. А. Пространственные и временные закономерности изменения весеннего склонового и речного стока на Русской равнине // Изв. РАН, сер. географ. 2007, № 5. С. 71–81.

DOI: 10.34736/FNC.2024.126.3.001.06-14

Conceptual Directions for the Creation of Adaptive Landscape Control Systems for the Erosion and Hydrological Process

Anatoly T. Barabanov✉, e-mail: barabanov-a@vfanc.ru, Dr. Sci. (Agr.), ORCID: 0000-0001-9945-654X

Head of the Soil Erosion Protection Laboratory,

«Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences» (FSC of agroecology RAS), e-mail: info@vfanc.ru,

400062, Universitetskiy Prospekt 97, Volgograd, Russia

Abstract. Review and theoretical calculations based on the results of many years of research are presented in this work. The conceptual directions for the creation of adaptive landscape control systems for the erosion and hydrological process (EHP) are outlined on the basis of new fundamental knowledge about the patterns of formation of spring slope runoff. The objects of research were agroforestry landscapes of forest-steppe, steppe and dry-steppe zones, natural and anthropogenic factors of the erosion and hydrological processes. The research was carried out on gray forest soils, ordinary chernozems, chestnut and light chestnut soils. The methodological basis of this research was a system of

methods used in anti-erosion reclamation, hydrology and other related sciences, adapted to the goals and objectives set. As a result, conceptual directions for the creation of erosion and hydrological process control systems based on new provisions on the interaction of meltwater with frozen soil, the role of free pores in the upper layer (0-30 cm) of soil and new approaches and methods for creating anti-erosion techniques and technologies, designing adaptive landscape farming systems are formulated and substantiated. It was found that by the end of the spring snowmelt, the soil has time to thaw by 3-30 cm in different years. It does mean, that the absorption of melt water occurs only

in this layer. It is usually moistened to full moisture capacity. Thawing soil is able to absorb the amount of water due to the volume of free pores. Thus, the main factor in the formation of sloping spring runoff under such conditions is soil moisture.

Keywords: erosion-accumulative process, adaptive landscape farming, soil erosion, soil flushing, runoff factors, surface runoff, agroforestry, runoff-regulating forest belts, ice screen.

Funding. The work was carried out within the framework of State Task No. 122020100428-8 «Theoretical foundations of the erosion and hydrological process in watersheds, conceptual directions, ways and principles of creating highly efficient environmentally friendly control systems for this process in order to completely prevent soil erosion».

Citation. Barabanov A. T. Conceptual Directions for the Creation of Adaptive Landscape Control Systems for the Erosion and Hydrological Process. *Scientific Agronomy Journal*. 2024;3(126):06-14. DOI: 10.34736/FNC.2024.126.3.001.06-14

Received: 22.07.2024

Accepted: 19.08.2024

References:

1. Alekseevskij N. I., Frolova N. P., Antonova M. M., Igonina M. I. Assessment of the climate change impact on the water regime and river flow in the Volga basin. *Voda: khimiya i ekologiya = Water: Chemistry and Ecology*. 2013;4:3-12. (In Russ.).
2. Barabanov A. T. Scientific foundations of erosion and hydrological process management. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie = Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2014;1(33):33-38. (In Russ.).
3. Barabanov A. T. Erosion and hydrological assessment of the interaction between natural and anthropogenic factors in the formation of surface runoff of meltwater and adaptive landscape agriculture. Volgograd. FSC of agroecology RAS Publ. house. 2017, 188 p. (In Russ.).
4. Bazhin P. A., Pavlova K. K. Integral indicators of water absorption capacity of soils. *Meteorologiya i gidrologiya*. 1978;6:71-76. (In Russ.).
5. Bolgov M. V., Filippova I. A., Korobkina E. A., Zajtseva A. V., Kharlamov M. A. Water resources of the Don river basin in the context of climate change. *Zakonovernosti formirovaniya i vozdejstviya morskikh, atmosferykh opasnykh yavlenij i katastrof na pribrezhnuyu zonu RF v usloviyakh global'nykh klimaticheskikh i industrial'nykh vyzovov ("Opasnye yavleniya"): mater. of international and scientific conf. Rostov-on-Don*. Publ. house. 2019, pp. 364-366. (In Russ.).
6. Borshch S. V., Gel'fan A. N., Morejdo V. M., Motovilov Yu. G., Simonov Yu. A. Long-term ensemble forecast of spring water inflow to Cheboksary reservoir based on hydrological model: results of verification and operational tests. *Trudy Gidromettsentra Rossii = Hydrometeorological Research and Forecasting*. 2017;366:68-86. (In Russ.).
7. Varentsova N. A., Kireeva M. B., Frolova N. L., Kharlamova M. A., Ilich V. P., Sazonov A. A. Forecast of water inflow to the Tsimlyanskoye reservoir during high water in current climatic conditions: problems and reproducibility. *Vodnye resursy = Water Resources*. 2020;47(6):694-709. (In Russ.).
8. Garshinyov E. A. Erosion-hydrological process and forest reclamation: Theory and models. Volgograd. VNIAMI Publ. house. 1999, 196 p. (In Russ.).
9. Demidov V. V. Patterns of erosion processes formation during snowmelt in the forest-steppe zone of Central Russia: theory and experimental studies. Novosibirsk, 2016, 60 p. (In Russ.).
10. Kalyuzhnyj I. L., Lavrov S. A. Hydrophysical processes in the catchment area: Experimental studies and modeling. St. Petersburg. "Nestor-Istoriya" Publ. house. 2012, 616 p. (In Russ.).
11. Kozmenko A. S. Fundamentals of anti-erosion reclamation / Selected works of the scientific school of Erosion studies by A. S. Kozmenko – G. P. Surmach in four volumes. Vol. 1. Volgograd. FSC of agroecology RAS Publ. house. 2023, 728 p. (In Russ.).
12. Komissarov M. A., Gabbasova I. M. Soil erosion during snowmelt on flat slopes in the Southern Near-Urals. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2014;6:734-743. (In Russ.).
13. Kumani M. V., Shul'gina D. V., Kiselyov V. V. Long-term dynamics of the river flow main elements within the Central Chernozem region. *Regional'nye geosistemy = Regional Geosystems*. 2021;4:617-631. (In Russ.).
14. Motovilov Yu. G. The system of physical and mathematical models of river flow formation and its application in problems of hydrological calculations and forecasts: Abstract Dis. Doctor of Sci. (Geogr.). Moscow. Water Problems Institute Publ. House. 2019, 42 p. (In Russ.).
15. Mukhin V. M. Methods of forecasting the inflow of water into reservoirs during the spring flood. *Trudy Gidromettsentra Rossii = Hydrometeorological Research and Forecasting*. 2014;351:108-140. (In Russ.).
16. Patent RU 2790452 A01 13/16, G01N 33/24 A method for predicting the surface runoff of meltwater in agricultural landscapes on the Volga and Don rivers catchment basins / Applicant: FSC of agroecology RAS. № 2021126560, applied: 08.09.2021, published: 21.02.2023. (In Russ.).
17. Sosnovskij A. V., Osokin N. I. The height of the snow cover in the forest and field on the flat territory of Russia in the contemporary climate. *Lyod i sneg = Ice and Snow*. 2023;63(4). <https://doi.org/10.31857/S2076673423040166>. (In Russ.).
18. Surmach G. P. Water erosion and its control // Selected works of the scientific school of Erosion studies by A. S. Kozmenko – G. P. Surmach in four volumes. Vol. 2. Volgograd. FSC of agroecology RAS Publ. house. 2023, 608 p. (In Russ.).
19. Tanasienko A. A., Chumbaev A. S. Circumstances for the formation of an ice screen in the eroded chernozems of Western Siberia. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2010;4:450-460. (In Russ.).
20. Yasinskij S. V., Kashutina E. A. Spatial and temporal patterns of changes in spring slope and river flow on the Russian plain. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2007;5:71-81. (In Russ.).

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомился и одобрил представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Author of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Author of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Author declare no conflict of interest.