

Теория и практика разработки систем агролесомелиоративных почвозащитных мероприятий в адаптивно-ландшафтном земледелии

А.Т. Барабанов, д.с.-х.н., ВНИИ агролесомелиорации

Деградация и опустынивание земель — важнейшие глобальные экологические и социально-экономические проблемы современности. Одной из причин деградации почв является эрозия. Было предложено много способов защиты почв от эрозии, однако они разрабатывались и применялись без учёта ландшафтных особенностей территории и научных основ противоэрозионной мелиорации, что не обеспечивало решения этой проблемы. Первые наиболее серьёзные попытки разработать научные основы противоэрозионной мелиорации связаны с деятельностью экспедиции В.В. Докучаева [1] в Каменной степи. Ему также принадлежит попытка теоретического рассмотрения вопросов рельефообразования. В силу того что рельеф территории выступает ведущим фактором в проявлении эрозии, этому вопросу всегда уделялось большое внимание.

С учётом исследований предыдущих лет и новейших научно-технических разработок последних десятилетий можно констатировать, что теоретической основой противоэрозионной мелиорации является учение об эрозионно-гидрологическом процессе (ЭГП). Гидрологический процесс как фактор эрозионно-аккумулятивного процесса (ЭАП) определяется, главным образом, характером поступления на поверхность почвы дождевых осадков и талых вод и инфильтрационной способностью почвы. Инфильтрационная способность почвы определяется в первую очередь её структурно-агрегатным состоянием, особенностями её замерзания-оттаивания и влажности почвы. Таким образом, эрозионно-аккумулятивный процесс — это результат взаимодействия стекающих осадков с почвой.

Выдающийся вклад в разработку теории ЭАП принадлежит А.С. Козменко [2]. Выполненные им исследования привели к идеям, получившим своё выражение в стройной системе взглядов на причины эрозии и рельефообразования в равнинных условиях. А.С. Козменко обосновал необходимость различать древнюю и современную (антропогенную) эрозию, учитывать роль растительности как важнейшего биотического фактора ЭАП, обусловленность современной эрозии в первую очередь хозяйственной (главным образом, сельскохозяй-

ственной) деятельностью, связывать течение древней эрозии с эпохами оледенения. Исследователь впервые обратил внимание на ведущую роль смыва почвы в сравнении с традиционной точкой зрения об оврагообразовании как ведущего проявления ЭГП. Это существенно повлияло на представления о причинах падения плодородия почвы вследствие эрозии и в дальнейшем послужило основой для создания системы противоэрозионных мероприятий. При разработке теории рельефообразования учёным впервые с высокой степенью аргументированности увязано образование лёссов с ЭГП, что было существенным шагом вперед.

Дальнейшее развитие взгляды А.С. Козменко получили в работах Г.П. Сурмача [3]. Он создал стройную схему рельефообразования в ходе четвертичных эрозионно-аккумулятивных циклов, обусловленных наступлением-таянием ледников на Русской равнине. На основе собственных комплексных почвенно-геолого-геоморфологических исследований учёный обстоятельно описал ход ЭГП на склонах и в гидрографической сети, по-новому изложил условия формирования лёссов в связи с ЭГП, показал связь распространения лесной, травянистой растительности с почвообразованием в лесостепи и литологией толщи четвертичных покровных отложений.

Е.А. Гаршинев [4] уточнил условия образования эрозионно-аккумулятивных форм рельефа, разработал логико-графическую схему эволюции склонов в ходе ЭАП. Он доказал, что форма склонов является адекватным выражением ЭАП и предложил выражать функцию формы склона (ФФС) посредством логистического уравнения (логофункции — ЛФ), описывающего связь отметок склона с их длиной. Таким образом, найдено универсальное математическое выражение для описания выпукло-вогнутых склонов как результата проявления ЭГП.

На его основе разработано и проверено уравнение для расчёта смыва. Выполненные во ВНИАЛМИ разработки по аспектам теории рельефообразования составляют единое целое с разработками в области гидрологических процессов. Особенно важны в этом отношении упоминавшиеся экспериментальные и теоретические исследования факторов просачивания и стока дождевых и талых

вод в почву (цикл исследований Г.П. Сурмача, А.Т. Барабанова, Е.А. Гаршина и др.). Особую актуальность имеют результаты экспериментальных оценок с применением методов дождевания и водно-балансовых площадок. Полученные в экспериментах, а также обобщённые литературные данные позволили по-новому трактовать условия просачивания дождевых и талых вод в почву, выдвинуть и обосновать новые концептуальные положения, существенно уточняющие представления о физической природе гидрологических процессов, что позволяет усовершенствовать существующие и разработать новые математические модели.

Сейчас в земледелии применяется адаптивно-ландшафтный подход при разработке системы почвозащитных мероприятий. Он предусматривает назначение каждому земельному выделу своей программы функционирования в единой системе агроландшафта. Целью ландшафтного земледелия является создание условий для такой деятельности, которая обеспечила бы достижение высокой продуктивности агроландшафтов без нарушения экологического баланса территории.

Методологическую основу исследований в адаптивно-ландшафтном земледелии составляет система методов, заимствованных из разных наук (агролесомелиорации, земледелия, почвоведения, гидрологии, физики, химии, математики, геологии, географии и др.), модифицированных и адаптированных в соответствии с поставленными целями и задачами.

Вопрос о методах эрозионно-гидрологических исследований в ландшафтном земледелии имеет большое значение. Сейчас широко распространены два главных направления: статистический и генетический. Статистические методы основываются на законе больших чисел и допущении случайности проявления процессов. Эти методы сыграли большую роль, особенно при недостатке исходных материалов для теоретических исследований. Главный недостаток статистических методов заключается в ограниченной возможности познания генезиса процесса, выявления причинно-следственных связей, а поэтому и невозможности управления процессами.

Генетические методы позволяют на основе учёта разностороннего влияния всех факторов выявлять закономерности явлений и процессов. Генетический подход нами использован при изучении закономерности формирования стока и эрозии. Дело в том, что характер формирования стока, процессов смыва — главных показателей оценки антропогенного воздействия на них — обусловлен многими природными (снегозапасы, характер увлажнения и промерзания почвы, погодные условия и др.) и антропогенными факторами, действующими в совокупности. Антропогенное воздействие на эрозионно-гидрологические процессы осуществляется через эти факторы. Важно знать не только

силу того или иного воздействия, но и как, через какие факторы и показатели оно происходит. А это позволяет научиться управлять процессами, разрабатывать новые приёмы борьбы с эрозией почв.

Оценку систем ландшафтного земледелия, выявление взаимосвязи его элементов проводят, используя принципы системного подхода, ставя многофакторные опыты и применяя корреляционно-регрессионный анализ полученных в них материалов. Осуществляют также многофакторный анализ связи поверхностного стока с природными факторами, что позволяет выявить важные зависимости.

Применение статистического, генетического методов и элементов системного подхода и проведение многофакторных исследований позволяют выявить не только влияние отдельных природных и антропогенных факторов на функционирование ландшафтов, но и их взаимодействие.

Применительно к целям создания адаптивно-ландшафтной системы земледелия во ВНИАЛМИ накоплена многолетняя научная информация. Остановимся кратко на характеристике полученных решений.

Автором проанализирован и обобщён большой экспериментальный материал по влиянию природных факторов на сток талых вод в зональном разрезе от серых лесных до светло-каштановых почв, который позволил из многообразия факторов выявить важнейшие [5]. Ими являются снегозапасы, увлажнение мёрзлой почвы и глубина её промерзания. В результате анализа был открыт закон лимитирующих факторов стока талых вод. Суть его состоит в том, что при некотором (лимитирующем) значении одного из этих факторов сток не формируется независимо от уровня других. Определены максимальные значения факторов, при которых сток не формируется. Например, на юге Нечернозёмной зоны, в ЦЧО и Поволжье, если почва талая или промёрзла до глубины не более 30–50 см, сток не формируется независимо от уровня её увлажнения и количества снегозапасов. Дальнейшее увеличение глубины промерзания почвы выше лимитирующего уровня практически не влияет на величину стока, т. е. при любой глубине промерзания выше лимитирующей он формируется одинаковый. Решающее влияние на него в этом случае оказывают влагозапасы в почве и снеге. При увлажнении верхнего (0–50 см) слоя почвы до уровня менее 120–130 мм на юге Нечернозёмной зоны и 70–95 мм в Нижнем Поволжье сток не формируется независимо от глубины промерзания почвы и снегозапасов, т. е. лимитирующим фактором является увлажнение почвы. С помощью множественного корреляционно-регрессионного анализа дана количественная оценка влияния на сток увлажнения почвы и снегозапасов при уровнях факторов свыше лимитирующих. Аналитически оно выражается уравнениями прямых:

$$Y_{a_i} = a + b_1 W_{pa_i} + b_2 W_{sa_i}, \quad (1)$$

где Y_{a_i} – слой стока с i -го агрофона;
 W_{pa_i} – запасы воды в почве, мм;
 W_{sa_i} – запасы воды в снеге, мм;
 a, b_1, b_2 – параметры уравнения.

Опираясь на выявленные закономерности и связи, мы разработали метод прогноза стока талых вод. Для расчёта стока с сельскохозяйственной территории, на которой применяется ландшафтная система земледелия, можно использовать уравнение [6]:

$$Y = \sum_{i=1}^n (Y_{a_i} S_{a_i}) / \sum_{i=1}^n S_{a_i} - Y_{эл} - Y_{за} - Y_{эг}, \quad (2)$$

где Y – слой стока с сельскохозяйственных угодий, мм;
 Y_{a_i} – слой стока с i -го агрофона, мм;
 S_{a_i} – соответственно площадь агрофонов, га;
 $Y_{эл}, Y_{за}, Y_{эг}$ – стокорегулирующий эффект от применения лесомелиоративных, агротехнических и гидротехнических приёмов, мм.

Е.А. Гаршинев разработал теорию и создал математические модели эрозионно-аккумулятивного процесса (ЭАП) [7]. Модели доведены до инженерного расчёта и реализованы пакетом прикладных программ для ЭВМ. Им установлено, что вся совокупность эрозионно-аккумулятивных склонов может быть описана универсальной функцией – логистической:

$$H = \frac{(H_{\max} - H_{\min})}{(1 + \exp(-a + bL))} + H_{\min}, \quad (3)$$

где $H, H_{\max}, H_{\min}$ – текущая отметка, максимальная и минимальная асимптоты поверхности склона;
 L – расстояние от водораздела;
 a и b – параметры.

Полученные результаты позволяют использовать логистическую функцию для решения многих задач прикладной геоморфологии, ландшафтоведения, почвоводоохранного земледелия. Так, её применение позволяет получать на основе расчётов геологическое строение зоны аэрации и положение уровней грунтовых вод, выполнять комплексное ландшафтное районирование территории, прогнозировать естественную и антропогенную эволюцию ландшафтов и т. п.

По мнению Е.А. Гаршинева, закон, описывающий форму склона, и эрозионно-аккумулятивный процесс едины. На этой основе им разработано уравнение для расчёта смыва [4]:

$$W_t = L[K]h^s(\phi_1 P^2)^m \times L^n, \quad (4)$$

где L – коэффициент, учитывающий размерность, пропорциональность и противоэрозионную стойкость агрофона;

$[K]$ – произведение коэффициентов, учитывающих почвенные условия и эффективность почвозащитных приёмов;

h – слой стока;

$\phi_1 = bc\phi / \Delta H$;

$c = \exp(a)$;

$\Delta H = H_{\max} - H_{\min}$;

$\phi = \exp(-bL)$;

$m, n, s - (m \approx 1...2; L \approx 0,5...1; s = 0,96)$.

Для целей ландшафтного земледелия важно добиться снижения эрозии до допустимого предела, когда интенсивность почвообразования превышает интенсивность эрозии. С использованием этого уравнения, рассчитывается положение точки на склоне, где величина смыва достигает допустимого предела. В этой точке предусматривается создание первой лесополосы или другого противоэрозионного рубежа. Затем выполняется расчёт следующих рубежей.

Е.А. Гаршиным выдвинута и обоснована концепция «ледяного экрана» (ЛЭ), формирующегося на границе талого и мёрзлого слоев почвы [7]. Её суть состоит в том, что при оттаивании верхнего слоя почвы по границе с мёрзлым слоем происходит полное перекрытие всех пор почвы (за исключением макрокапиллярных) льдом и инфильтрация влаги в обычном её понимании замещается процессом «термоинфильтрации» – протаиванием почвы в результате её теплообмена за счёт притока тепла извне. При этом талый слой почвы насыщается до полной влагоёмкости, а мёрзлый имеет естественный уровень увлажнения. Формирование ЛЭ и обуславливает сток талых вод даже в условиях, когда верхние мёрзлые слои почвы весьма далеки от насыщения. В летний период аналогично ЛЭ в почве формируется слой со сплошной менисковой плёнкой, что и обуславливает формирование дождевого стока даже при весьма низкой исходной влажности почвы.

Эти и другие теоретические и эмпирические модели служат основой для разработки систем адаптивно-ландшафтного земледелия. Создание такой системы сводится к решению общей задачи оптимального управления ландшафтом и реализуется путём последовательного решения частных задач.

Элементами адаптивно-ландшафтного земледелия являются: почвозащитная организация землепользования, структура посевных площадей и система севооборотов, система обработки почвы и почвозащитные технологии возделывания сельскохозяйственных культур, система лесомелиоративных мероприятий, система удобрений и защиты растений, лугомелиоративные и гидротехнические мероприятия.

Узловым моментом почвозащитной организации землепользования является типизация земель (выделение контуров по однородным агроэкологическим условиям) и определение характера их

использования, а также применения на них соответствующих технологий, приёмов и мероприятий, обеспечивающих нормальное функционирование агроэкосистем. Критериями для выделения разных групп земель являются: характер гидрологических и эрозионных процессов, состояние почв, местонахождение в рельефе, доступность для механизации и др.

Литература

1. Труды экспедиции, снаряжённой лесным департаментом, под руководством проф. Докучаева // Избр. соч. М.: Сельхозгиз, 1954. С. 514–542.
2. Козменко А.С. Борьба с эрозией почв. М.: Сельхозгиз, 1954. 229 с.
3. Сурмач Г.П. Водная эрозия и борьба с ней. Л.: Гидрометеоздат, 1976. 254 с.
4. Гаршинев Е.А. Эрозионно-гидрологический процесс. Теория и модели. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1999. 196 с.
5. Барабанов А.Т. Закономерности формирования поверхностного стока талых вод, его прогноз и регулирование // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 1(33). С. 65–68.
6. Барабанов А.Т. К вопросу о прогнозе поверхностного стока талых вод в лесостепной и степной зонах // Аридные экосистемы. 2012. Т. 18. № 4 (53). С. 22–27.
7. Гаршинев Е.А. Противоэрозионная лесомелиорация и эволюция эрозионно-гидрологического процесса: автореф. дисс. ... докт. с.-х. наук. Волгоград, 1995. 48 с.