

земель. – М.: «КолосС», 2009. – 325 с.

Материал поступил в редакцию 26.03.10.

Сметанин Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Организация и технология строительства объектов природообустройства»

Тел. (495)976-07-10

E-mail: Smetanin2000@yandex.ru

Гучанова Ирина Георгиевна, соискатель

Тел.: 8 (495)976-07-10

E-mail: Smetanin2000@yandex.ru

УДК 502/504 : 631.6

Ю. И. СУХАРЕВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

ВОПРОСЫ ОБОСНОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ РЕЖИМОВ АГРОЛАНДШАФТОВ

Рассмотрен основной круг вопросов, включающий разработку и практическую реализацию математических моделей продвижения влаги в почвах и грунтах, схематизацию и разработку расчетных схем элементов и компонентов агроландшафтов для обоснования необходимости проведения мелиоративных мероприятий (орошения, осушения).

Агроландшафт, мелиоративный режим, математическая модель передвижения влаги, схематизация, расчетная схема, мелиоративные мероприятия.

There is considered a main range of questions including development and practical realization of mathematical models of moisture movement in soils and grounds, schematization and development of estimated schemes of elements and components of agricultural landscapes for justification of the necessity of using reclamation measures (irrigation, drainage) and their intensity in the territory of landscapes.

Agricultural landscape, reclamation regime, mathematical model of moisture movement, schematization, estimated scheme, reclamation measures.

В соответствии с современными требованиями мелиоративные мероприятия должны рассчитываться и проектироваться с учетом ландшафтных границ и ландшафтных особенностей территории, а мелиоративные режимы должны обосновываться с учетом особенностей функционирования природных и антропогенных ландшафтов. При этом необходим наиболее полный учет свойств и состояний элементов и компонентов агроландшафтов.

При обосновании мелиоративных режимов почв и грунтов агроландшафтов важными являются следующие вопросы:

разработка математических моделей передвижения влаги в почвах и

грунтах агроландшафтов;

практическая реализация математических моделей в виде алгоритмов и компьютерных программ;

схематизация и разработка расчетных схем элементов и компонентов агроландшафтов;

проверка математических моделей передвижения влаги в почвах и грунтах агроландшафтов данными полевых экспериментальных исследований;

прогнозирование влияния мелиоративных мероприятий на функционирование агроландшафтов, на их продуктивность;

обоснование необходимости применения мелиоративных мероприятий и их интенсивности (орошения,

осушения) на территории агроландшафтов.

Разработка и дальнейшее совершенствование математических моделей передвижения влаги в почвах и грунтах агроландшафтов является актуальным вопросом мелиоративных исследований.

Следует отметить, что при выборе пользователем математической модели для практического применения из ряда подобных следует исходить из принципа предпочтительности использования с учетом функциональных возможностей модели, ее надежности, адекватности моделируемым процессам и практического удобства использования в данной предметной области. Так, существующие подобные зарубежные модели сложно использовать по следующим основным причинам. Во-первых, модель, созданная сторонним разработчиком, несмотря на подробное описание, представляет собой «черный ящик», так как большая ее часть представлена исполнимыми, а не объективными модулями. Во-вторых, введение в модель пользователем дополнений и изменений, как правило, не допускается разработчиком, что поддерживается существующей законодательной охраной авторских прав на интеллектуальную собственность. Это усложняет использование таких моделей при проведении численных экспериментов и сценарных исследований. В-третьих, зарубежные модели стоят немалых денег.

Поэтому разработка, совершенствование и использование собственных новых и оригинальных моделей в конкретной предметной области является актуальным и практически значимым направлением исследований. Разнообразие математических моделей, доведенных до практической реализации в виде алгоритмов и компьютерных программ – необходимое условие устойчивости развития данной предметной области в целом.

Опыт расчета влагооборота в почвах и грунтах ландшафтов показал эффективность использования для этой цели двумерных математических моделей влагопереноса [1, 2].

Для решения задач прогноза водного режима природных и антропогенных ландшафтов и обоснования мелиоративных режимов автором была разработана новая методика на основе количественной, двумерной модели передвижения влаги в почвах и грунтах сопряженных элементарных ландшафтов, описывающей вертикальное и латеральное движение потока. В качестве основы для моделирования была принята разработанная совместно с А. М. Зейлигером и хорошо себя зарекомендовавшая в практике мелиоративных расчетов двумерная математическая модель нестационарного влагопереноса в пористых средах [2]. Эта двумерная математическая модель стала одной из первых, широко использовавшихся в мелиоративной практике, на основе которой были разработаны новые методики расчета мелиоративных режимов и параметров мелиоративных систем.

Модель получила дальнейшее развитие и была адаптирована к более высокому пространственному уровню. Она была дополнена новыми расчетными блоками и подпрограммами, позволяющими рассчитывать водный режим почв и грунтов сопряженных элементарных ландшафтов – ландшафтно-геохимических катен с учетом рельефа земной поверхности, пространственной изменчивости водно-физических свойств почв и подстилающих грунтов, естественного режима увлажнения, влияния растительного покрова, мелиоративных мероприятий, а также блоками и подпрограммами, позволяющими обосновывать необходимость и интенсивность мелиоративных воздействий (орошение, дренаж) в агроландшафтах.

Основное двумерное дифференциальное уравнение процесса передвижения влаги в почвах и подстилающих грунтах имеет следующий вид:

$$C_w \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_w \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_w \frac{\partial H}{\partial y} \right) - e(x, y, t), \quad (1)$$

где C_w – коэффициент влагоемкости, связывающий изменение влагосодержания в пористой среде с изменением капиллярно-сорбционного

напора, $1/\text{м}$; H – полный напор, складывающийся из гравитационной y и капиллярно-сорбционной ψ составляющих, м : $H = -y + \psi$; K_w – коэффициент влагопроводности, $\text{м}/\text{сут}$; $e(x, y, t)$ – интенсивность отбора влаги корнями растений, $1/\text{сут}$; x, y – пространственные координаты, м ; t – время, сут .

Зависимость коэффициента влагопроводности от влажности имеет следующий вид (С. Ф. Аверьянов, А. И. Голованов):

$$K_w = K_f \left(\frac{W - W_m}{P - W_m} \right)^n, \quad (2)$$

где K_f – коэффициент фильтрации пористой среды, $\text{м}/\text{сут}$; W – объемная влажность, $\text{м}^3/\text{м}^3$; W_m – влажность, соответствующая содержанию связанной влаги, $\text{м}^3/\text{м}^3$; P – пористость, $\text{м}^3/\text{м}^3$; n – показатель степени, который задается в диапазоне от 3,5 до 5,0.

Зависимость влажности почвы от капиллярно-сорбционного напора можно принимать по формулам А. И. Голованова, А. М. Зейлигера, Ван Генухтена и др. Общая математическая структура этих функциональных зависимостей может быть представлена в следующем виде [3]:

$$W = (A - D)F(\psi, B, C) + D, \quad (3)$$

где A – значение полной влагоемкости, $\text{м}^3/\text{м}^3$; D – значение влажности, соответствующей нижней границе рассматриваемого диапазона, $\text{м}^3/\text{м}^3$; B, C – эмпирические коэффициенты, значения которых необходимо определить.

Граничные условия, задаваемые в модели, зависят от особенностей решаемых задач. Суммарное испарение разделяется на испарение с поверхности почвы, которое учитывается как граничное условие, и на транспирацию растениями, которая распределяется по корнеобитаемому слою пропорционально влажности почвы и входит в уравнение в виде отбора корнями растений. Для учета атмосферных осадков задают их среднюю интенсивность или мгновенно приращивают влагозапасы в день их выпадения. При этом для каждого расчетного года задаются даты выпадения осадков и их количество.

Суммарное испарение определяется по данным о декадных значениях температуры и влажности воздуха. Опыт показывает правомерность использования для расчета декадной испаряемости E формулы Н. Н. Иванова: $E = 0,0061 (25 + T)^2 (1 - 0,01a)$, (4)

где T – средняя за декаду температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$; a – средняя за декаду относительная влажность воздуха, $\%$.

Исходной информацией для расчета испаряемости на территории Московской области послужили данные 18 метеостанций региона, из них 12 расположены в пределах области, длительность периода наблюдений – 42 года (1959–2000). Для семи физико-географических провинций были выбраны метеостанции с длительными рядами наблюдений за температурой и относительной влажностью воздуха, а также количеством атмосферных осадков. Длительность рядов наблюдений представляется достаточно репрезентативной. По данным наблюдений за температурой и относительной влажностью воздуха была установлена длительность теплого периода (со среднесуточной температурой воздуха более 5°C), определены декадные значения потенциальной испаряемости (эвапотранспирации) по формуле Н. Н. Иванова и климатический дефицит увлажнения как разность между испаряемостью и атмосферными осадками.

Для расчетов водного режима почв и грунтов мелиорируемых агроландшафтов кроме многолетних данных климатических характеристик необходима возможно более полная информация о рассматриваемой территории, общегеографические и тематические карты: геоморфологическая, почвенная, гидрогеологическая, четвертичных отложений, ландшафтная, гидрографическая, растительного покрова, земельных угодий.

В этой связи становится необходимым геоморфологическое, почвенное, гидрогеологическое исследование территории рассматриваемых ландшафтных провинций и районов. Важно определить такие морфологические показатели рельефа, как горизонтальная и вертикальная расчлененность, положение точки перегиба склона и др. Целесообразна также схематизация рельефа, почвенного покрова, подстилающих грунтов и разработка расчетных

схем для моделирования передвижения влаги в почвах и грунтах агроландшафтов с учетом свойств и состояний их элементов и компонентов.

Схематизация и разработка расчетных схем элементов и компонентов агроландшафтов важны при обосновании необходимости и интенсивности мелиоративных мероприятий на уровне физико-географических провинций и районов конкретной территории. Так, на ландшафтной карте Московской области на площади 47 тыс. км² (включая Москву) выделяют 7 физико-географических провинций, 13 физико-географических районов и 114 индивидуальных ландшафтов [4].

Рельеф земной поверхности является одним из главных ландшафтообразующих и почвообразующих факторов и элементов ландшафта. От него зависит распределение и конфигурация гидрографической сети, характер растительного и почвенного покрова и другие особенности местности. Поэтому в исследованиях использовали тематические карты: пластики рельефа, почв, расчлененности рельефа и др. [5, 6].

При анализе карт использовали

картографический метод исследования, который представляет собой метод использования готовых карт для познания свойств изображенных на них объектов и явлений. Это метод научного исследования, в котором карта выступает как промежуточное звено между объектом и исследователем, как образно-знаковая модель изучаемого объекта, обладающая высокой информативностью, пространственно-временным подобием относительно оригинала, метричностью, особой обзорностью и наглядностью. Картометрические определения довольно трудоемки, поэтому в процессе исследований использовались компьютерные технологии геоинформатики.

На основе анализа тематических карт были рассчитаны картографические и морфометрические характеристики физико-географических районов Московской области, необходимые для геоморфологической схематизации. В таблице приведены геоморфологические параметры для физико-географических провинций и районов Московской области. К ним привязаны ближайшие метеостанции [7].

Геоморфологические параметры физико-географических районов Московской области

Провинция	Район	Метеостанция	Коэффициент горизонтальной расчлененности рельефа, км/км ²	Средняя ширина катен, м	Средняя вертикальная расчлененность рельефа, м
Верхне-Волжская	Западный	Волоколамск	0,43	1160	15
	Восточный	Клин, Дмитров	0,40	1250	11
Смоленская	Западный	Можайск	0,44	1130	20
	Восточный	Можайск	0,44	1130	26
Московская	Западный	Новый Иерусалим	0,43	1160	29
	Восточный	Дмитров	0,39	1280	29
Москворецко-Окская	Северный	Нарофоминск	0,43	1160	20
	Южный	Серпухов	0,40	1250	28
Мещерская	Западный	Павловский Посад	0,37	1350	14
	Восточный	Егорьевск, Черусти	0,32	1560	11
Заокская	Западный	Кашира	0,43	1160	40
	Восточный	Коломна	0,40	1250	40
Среднерусская	—	—	0,40	1250	40

Автором предложена методика схематизации вогнуто-выпуклых профилей земной поверхности от берега водотока до водораздела (от супераквального элементарного ландшафта до элювиального элементарного ландшафта), на схеме выделено пять характерных точек и предложена новая формула для описания линии поверхности земли в вертикальной плоскости [8].

При геоморфологической схематизации ландшафтно-геохимической катены линия поверхности земли может быть описана с использованием обратной тригонометрической функции – арктангенса. Превышение линии поверхности земли над берегом водотока Δ_x на расстоянии x от уреза воды можно определить по следующей зависимости (рисунок):

$$\Delta_x = \frac{\Delta_0}{\pi} \left(\arctg(k(x-a)) + \frac{\pi}{2} \right), \quad 0 \leq x \leq B \quad (5)$$

где Δ_0 – вертикальная расчлененность рельефа, м; k – коэффициент ($k = \frac{\pi}{\Delta_0} \text{tg}\Theta$), здесь Θ – угол наклона касательной к горизонтали в точке перегиба, рад; a – значение абсциссы в точке перегиба, м; B – ширина катены, м.

Тангенс угла наклона касательной в любой точке (первую производную) функции (5) можно определить по следующей формуле:

$$\Delta'_x = \frac{\Delta_0}{\pi} \frac{k}{1+k^2(x-a)^2}, \quad (6)$$

или, подставив выражение для коэффициента k :

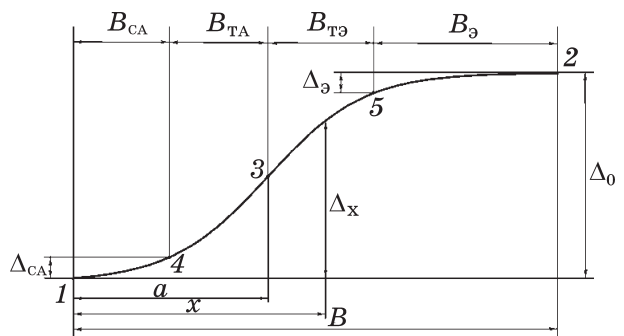
$$\Delta'_x = \frac{\text{tg } \Theta}{1 + \frac{\text{tg}^2 \Theta \pi^2}{\Delta_0^2} (x-a)^2}. \quad (7)$$

С помощью формулы (5) можно достаточно точно воспроизводить реальные природные геоморфологические условия, поскольку а) угловой коэффициент $\text{tg } \Theta$ касательной в точке перегиба (в точке максимального угла наклона) может быть рассчитан и задан по реальным значениям конкретного природного объекта (в радианной или градусной мере), б) положение точки перегиба склона, характеризующее асимметричность речной долины, также может быть задано по реальным значениям конкретного природного объекта.

Одной из важных составляющих ландшафтного анализа территории является оценка структуры почвенного покрова территории и пространственного размещения почв, связанных с литологическими и геоморфологическими условиями. Результаты картографического анализа распространенности почв ландшафтных районов в пределах Московской области представлены в работе [9]. Детальная послойная разбивка расчетной толщи, проводящаяся при моделировании, позволяет учесть водно-физические свойства всех генетических горизонтов почвы и подстилающих грунтов.

При схематизации гидрогеологических условий территории и выборе расчетной схемы вводятся упрощения в геометрию реального объекта. Основным упрощающим приемом является приведение геометрической формы реального объекта к схематическим гидрогеологическим разрезам или ландшафтно-геохимическим катенам. При этом учитывается возможность объединения ряда водоносных горизонтов в расчетные комплексы.

При схематизации гидрогеологических условий физико-географических районов Московской области были использованы листы гидрогеологической карты страны масштаба 1:200000 и



Геоморфологическая схематизация ландшафтной катены: B – ширина ландшафтной катены; $B_{СА}$, $B_{ТА}$, $B_{ТЭ}$, $B_{э}$ – протяженность соответственно супераквального, трансаккумулятивного, трансэлювиального и элювиального элементарных ландшафтов; $\Delta_{СА}$, $\Delta_{э}$ – перепады высот соответственно супераквального и элювиального элементарных ландшафтов; 1...5 – характерные точки

гидрогеологические разрезы соответствующих листов карты. Для этого по опорным скважинам гидрогеологических разрезов были определены мощности первых от поверхности водоносных горизонтов, комплексов и водоупоров (в пределах рассматриваемых физико-географических провинций и районов). Литологический состав и коэффициенты фильтрации гидрогеологических подразделений принимались также по данным указанной карты.

Таким образом, рассмотренные особенности схематизации природных условий Московской области позволяют более обоснованно выбирать расчетные схемы и расчетные параметры при моделировании водного режима почв и грунтов с целью обоснования мелиоративных режимов агроландшафтов. Полученные результаты дают возможность задавать численные значения параметров при схематизации рельефа земной поверхности, генерализовать и схематизировать размещение различных почв по ширине ландшафтно-геохимических катен рассмотренных физико-географических районов, а также выполнить схематизацию гидрогеологических условий территории.

Для решения уравнения (1) был использован конечно-разностный метод и разработан расчетный алгоритм. Рассматриваемая область разбивалась на блоки прямоугольной нерегулярной пространственной сеткой, лучше приспособленной к условиям моделируемого поля, при которой достигалась лучшая аппроксимация. Для учета рельефа земной поверхности вводилась составляющая, учитывающая положение поверхности земли относительно плоскости сравнения. Уравнение представлялось в конечно-разностной форме по неявной схеме со средней аппроксимацией коэффициентов. Полученное конечно-разностное уравнение решалось методом переменных направлений. Для расчетов по каждому направлению использовался метод прогонки. При прямой прогонке определялись прогоночные

коэффициенты, при обратной прогонке определялись напоры в центрах расчетных блоков. Напоры затем переводились во влажности почв и грунтов, по ним определялось положение уровня грунтовых вод. При реализации разработанного алгоритма был создан комплекс программ для персонального компьютера, позволяющий решать конкретные практические задачи.

Разработанная модель была неоднократно проверена результатами полевых экспериментальных исследований водного режима почв агроландшафтов, выполненных автором и другими исследователями. Результаты проверки позволяют сделать вывод об адекватности разработанной модели изучаемым процессам и о достаточной точности выполненных расчетов.

С целью прогнозирования влияния орошения и осушения на функционирование агроландшафтов в модели предусмотрен блок расчета продуктивности агрофитоценозов.

Двумерная математическая модель, реализованная в виде программного комплекса, является основой методики принятия решений по вопросам о необходимости организации и проведения мелиоративных мероприятий (орошения, осушения), расчета и оценки их интенсивности. Цель модели – обоснование мелиоративных режимов агроландшафтов.

1. Ландшафты Московской области и их современное состояние / Г. Н. Анненская [и др.]. – Смоленск: Изд-во СГУ, 1997. – 296 с.

2. Голованов А. И., Сухарев Ю. И. Математическая модель влагопереноса в ландшафтных катенах // Природообустройство и рациональное природопользование – необходимые условия социально-экономического развития России: сб. науч. трудов. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2005. – Ч. 2. – С. 3–11.

3. Зейлигер А. М. Сопоставление моделей водно-физических характеристик почв с экспериментальными данными // Оптимизация процессов комплексного мелиоративного регулирования: сб. науч. тр. – М.: МГМИ, 1985. – С. 61–62.

4. Зейлигер А. М., Сухарев Ю. И. Двумерная математическая модель влагопереноса в мелиорируемых почвах //

Теория и практика комплексного мелиоративного регулирования: сб. науч. трудов. – М.: МГМИ, 1983. – С. 83–91.

5. Карта эрозионного расчленения территории СССР / Под ред. Д. А. Тимофеева. – М.: Институт географии РАН, 1985. – 1 с.

6. **Степанов И. Н., Лошакова Н. А.** Московская область. Пластика рельефа. Почвы. – М.: Картографическое приложение к журналу «Лик». – 1993. – 1 с.

7. **Сухарев Ю. И.** Геоморфологический анализ ландшафтных районов для целей мелиорации (на примере Московской области) // Мелиорация и водное хозяйство. – 2007. – № 1. – С. 41–44.

8. **Сухарев Ю. И.** Распространенность почв ландшафтных районов Московской области // Доклады РАСХН. – 2006. – № 5. – С. 35–38.

9. **Сухарев Ю. И.** Схематизация природных условий при расчетах водного режима почвогрунтов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2008. – № 3. – С. 31–33.

Материал поступил в редакцию 26.02.10.

Сухарев Юрий Иванович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Мелиорация и рекультивация земель»

Тел. 976-47-73, 8-916-611-80-23

E-mail: vodoem@mail.ru

УДК 502/504 : 626 (075.8)

Л. Г. КАЗАКОВА

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассмотрены эколого-экономические аспекты регулирования рекультивации земель при ликвидации угледобывающих предприятий.

Государственное регулирование, рекультивация земель, ликвидация угледобывающих предприятий, окружающая среда, угольная отрасль, специализированные ликвидационные фонды, социальная защита увольняемых работников, природная среда.

There are considered ecological-economic aspects of the state regulation of lands when liquidating coal mining enterprises.

State regulation, lands reclamation, liquidation of coal mining enterprises, environment, coal mining industry, specialized liquidation funds, social protection of the employers to be dismissed, natural medium.

По степени воздействия на компоненты биосферы отрасли промышленности различаются существенно. Очень сильно воздействует горнодобывающая промышленность, особенно угольная отрасль.

На предприятиях угольной отрасли имеется около 7980 источников загрязнения атмосферы, из них около 3310 организованных. Для большинства

источников разработаны предельно допустимые (ПДВ) либо временно согласованные (ВСВ) нормативы выброса. Основное количество источников выбросов (около 3900) находится в Кузнецком угольном бассейне. Количество образующихся в отрасли вредных веществ, отходящих от источников, загрязняющих атмосферный воздух, находится