

УДК 556.123 + 551.577.52

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДЕРЖАНИЯ ОСАДКОВ РАСТИТЕЛЬНЫМ
ПОКРОВОМ**

Канд. геогр. наук В.В. Голубцов

Рассматривается модель процесса задержания осадков растительным покровом. Для залесенных участков Казахстанского Алтая определены параметры модели. Приводятся статистические характеристики древесной растительности и методика определения ее сомкнутости (проективного покрытия). Моделирование задержания атмосферных осадков производилось по суточным и более коротким интервалам времени. Получены оценки адекватности предлагаемой модели.

При разработке способов моделирования водобалансовых процессов большое внимание уделяется определению количества атмосферных осадков, поступающих на поверхность речных бассейнов. Одна из возможных погрешностей определения этой величины связана с задержанием части выпадающих осадков растительным покровом и последующим их испарением [2, 7, 8, 12-14, 17, 19, 20, 24, 30 и др.]. При определенных видах растительности задержание может составить существенную долю выпадающих осадков. Исследования ряда авторов показывают, что сомкнутый еловый древостой может задержать от 40 до 70 % осадков [11, 15-17, 21, 23 и др.]. Для удобства сопоставления имеющихся материалов величину осадков, задержанных деревьями и кустарниками, целесообразно относить к площади проекции их кроны на горизонтальную поверхность. Процесс задержания и испарения влаги растительным покровом детально рассмотрен в работе Р.К. Линслея, М.А. Колера, Д. Л. Х. Паулюса [10]. В ней подчеркивается необходимость оценки задержания осадков отдельными ярусами растительности, в частности, деревьями, подлеском и травой.

Экспериментальное определение задержания осадков растительностью чрезвычайно трудоемко, поэтому возникает необходимость в разработке и использовании расчетных методов. В настоящее время известно несколько формул, предложенных для определения задержания расти-

тельным покровом осадков за отдельные дожди и снегопады [3, 5, 6, 9, 11, 15, 16, 22, 25, 27-29 и др.]. Одной из наиболее теоретически обоснованных является формула экспоненциального вида, предложенная Р.К. Линдлеем, М.А. Колером, Д. Л. Х. Паулюсом [10], которая имеет следующий вид:

$$X_3 = V_{max}^* \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{X}{V_{max}^*}\right) \right\} \quad (1)$$

По Р.Е. Хортону [26] значение V_{max}^* отражает общую величину перехвата в процессе выпадения осадков:

$$V_{max}^* = V_{max} + C \cdot E \cdot T, \quad (2)$$

где X , X_3 - общий слой соответственно выпавших и задержанных растительностью осадков, мм; V_{max}^* - наибольшее количество влаги, которое может быть задержано растительным покровом при неограниченном ее поступлении за определенный интервал времени, мм; V_{max} - то же при отсутствии испарения, мм; C - отношение поверхности растительного покрова к площади ее горизонтальной проекции; E - интенсивность испарения, мм/сут; T - продолжительность дождя.

Выражение (1) отражает тот факт, что с ростом осадков задержание приближается к своему максимуму по экспоненциальному закону [10]. Следует отметить, что задержание осадков, определяемое путем сопоставления их величин над поверхностью и под пологом растительного покрова, учитывает и потери на испарение задержанной влаги. Исследования, проведенные В.П. Мочаловым и А.Ф. Литовченко, позволили им рекомендовать выражение (1) для определения величины осадков, задержанных растительным покровом в бассейнах горных рек Заилийского Алатау [15].

Необходимо отметить, что в ряде случаев для определения задержания осадков может быть использовано выражение:

$$X_3 = V_{max} \operatorname{th} \frac{X}{V_{max}} \quad (3)$$

В гидрологии также достаточно широкой известностью пользуется модель задержания осадков растительностью, предложенная Рутгером [28, 29]:

$$\frac{dV}{dt} = X_3 - a \exp\{b(V - V_{max})\}, \quad (4)$$

где a и b - эмпирические параметры.

$$X_j = \begin{cases} k \left(X - E_b \frac{V}{V_{max}} \right) & \text{при } V < V_{max}, \\ k(X - E_b) & \text{при } V \geq V_{max}, \end{cases} \quad (5)$$

где V - количество влаги, задержанной в растительном покрове, мм; E_b - испарение с водной поверхности за определенный интервал времени, мм; k - коэффициент сквозного проникновения осадков через растительный покров.

Заложенная в этой модели идея об уменьшении задержания осадков растительным покровом с увеличением испарения с его поверхности вызывает сомнение. Проведенные исследования показывают, что в период выпадения осадков интенсивность испарения с поверхности растительного покрова невелика и, по-видимому, составляет 0,02 - 0,06 мм за отдельные дожди [10, 16]. Многие исследователи принимали его величину в период выпадения осадков равной нулю. Однако в соответствии с материалами наблюдений задержание жидких осадков даже после заполнения регулирующей емкости растительного покрова продолжает увеличиваться, но с относительно меньшей интенсивностью. Это указывает на довольно существенную роль испарения в процессе задержания осадков растительным покровом.

Значение V_{max}^* в формулах (1) и (3) представляет собой наибольшее количество влаги, которое может быть задержано растительным покровом в определенных климатических условиях при неограниченном поступлении осадков к его поверхности. Величина V_{max} в основном складывается из количества влаги, израсходованной на смачивание растительного покрова, а также задержание снега или капельножидкой влаги. Следует отметить, что в зимний период смачивание растительного покрова осуществляется в результате задержания твердых осадков и последующего их подтаивания под действием солнечной радиации. Задержанный снег и капельножидкая влага частично могут быть удалены с растительного покрова путем энергичного его встряхивания. В естественных условиях удаления снега и капельножидкой влаги осуществляется под действием ветра.

Параметр V_{max} может быть определен экспериментальным путем. Сведения о величине V_{max} для отдельных видов древесной, кустарниковой и травянистой растительности имеются в работах [11, 15, 16, 19, 21]. При проведении экспериментов в естественных условиях величину V_{max} можно оп-

ределить путем анализа материалов наблюдений задержания осадков растительным покровом. Для этой цели определения должны выбираться дожди со слоем, достаточным для обеспечения максимума задержания осадков.

В работе [16] высказывается мнение о том, что, имея методику определения задержания растительным покровом осадков за отдельные дожди или снегопады, можно рассчитать задержание за любой интервал времени. Такой подход к определению задержания за длительные периоды времени в скрытом виде подразумевается и другими исследователями [10, 11, 15, 21, 25]. Однако совершенно очевидно, что, при наличии группировок дней с осадками, задержание растительным покровом будет значительно меньше, чем при их выпадении с интервалом времени в два-три дня. При многодневных осадках задержание будет меньше, так как к началу следующего дождя или снегопада емкость задержания не будет полностью освобождена. Поэтому при описании процесса формирования потерь осадков на задержание растительным покровом указанное обстоятельство должно быть обязательно учтено.

Для описания процесса формирования запаса влаги, задержанной растительным покровом, предлагается следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{dV}{dt} = -k_4 \frac{E_0}{V_{max}^*}, \quad (6)$$

где E_0 - максимально возможное испарение (испаряемость), мм; k_4 - параметр.

Для определения V_{max}^* используется следующее выражение:

$$V_{max}^* = V_{max} + k_5 E_0, \quad (7)$$

где k_5 - параметр. Размер регулирующей емкости растительного покрова V_{max} определяется затратами влаги на его смачивание, а также задержание им снега и капельножидкой влаги. Величина V_{max}^* состоит из V_{max} и части емкости растительного покрова, освобожденной при испарении задержанных осадков.

В результате интегрирования (6) при $t = 1$ сут. получим выражение, описывающее процесс истощения запаса влаги, задержанной растительным покровом:

$$V_n = (V_{n-1} + x_2) \exp\left(-k_4 \frac{E_0}{V_{max}^*}\right), \quad (8)$$

где x_2 - осадки, задержанные растительным покровом за определенный интервал времени, мм; $n-1, n$ - индексы, обозначающие предшествующее и последующее значение элементов.

Задержание осадков растительным покровом x_2 изменяется в зависимости от их величины (интенсивности) по закону, в общем случае отличному от линейного. Однако для отдельных видов растительности указанное изменение может быть описано с помощью линейного закона [6, 10]:

$$x_2 = \begin{cases} \alpha x & \text{при } \alpha x < \Delta_{n-1}, \\ \Delta_{n-1} & \text{при } \alpha x \geq \Delta_{n-1} \end{cases} \quad (9)$$

$$\Delta_{n-1} = V_{max}^* - V_{n-1}, \quad (10)$$

где x - осадки, выпавшие на открытую поверхность водосбора за определенный интервал времени, мм; Δ - дефицит емкости задержания растительного покрова, мм; $\alpha = x_2 / x$ - безразмерный параметр при $x < V_{max}^*$.

Кроме этого, для описания процесса задержания осадков растительностью может быть использовано следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{d\Delta}{dt} = -\beta x_2, \quad (11)$$

где β - безразмерный параметр.

Можно допустить, что величина задержанных осадков зависит от их общего количества и относительного дефицита заполнения емкости растительного покрова. Тогда, принимая зависимость относительных значений задержанных осадков от дефицита заполнения указанной емкости линейной, можно записать:

$$\frac{x_2}{x} = \frac{\Delta}{V_{max}^*}. \quad (12)$$

Далее, определим из соотношения (12) значение x_2 и подставим его в уравнение (11):

$$\frac{d\Delta}{dt} = -\beta x \frac{\Delta}{V_{max}^*}. \quad (13)$$

В результате интегрирования уравнения (13) получим:

$$\Delta = \Delta_0 \exp\left(-\frac{\beta}{V_{max}^*} \int_0^t x dt\right) \quad (14)$$

$$x_2 = \Delta_0 \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{\beta}{V_{max}^*} \int_0^t x dt \right) \right\}. \quad (15)$$

При $t = 1$ сутки имеем:

$$x_2 = \Delta_{n-1} \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{\beta x_n}{V_{max}^*} \right) \right\}, \quad (16)$$

где $\Delta_{n-1} = V_{max}^* - V_{n-1}$.

Следует отметить, что, заменив в выражении (15) $\Delta_0 = V_{max}^*$ и, обозначив суммарное задержание осадков $x_2 = X_2$ и суммарное поступление осадков $X = \int_0^1 x dt$, можно, учитывая принятое ранее обозначение

$V_{max}^* = V_{max} + C \cdot E \cdot T$ получить при $\beta = 1$ формулу (1).

Для определения максимально возможного испарения E_0 можно в первом приближении использовать его зависимость от температуры и дефицита влажности воздуха [8]. Осадки, поступающие на поверхность почвы x^* , вычисляются как разность x и x_2 с учетом сомкнутости растительного покрова:

$$x^* = x - \rho x_2, \quad (17)$$

где ρ - сомкнутость растительного покрова в долях единицы.

На основе предлагаемой модели в лаборатории гидрологических прогнозов КазНИГМИ составлена программа расчета задержания осадков растительностью. Идентификация модели и ее параметров осуществлялась с помощью материалов экспедиционных наблюдений.

В 1973 – 1974 гг. гидрологическим отрядом КазНИГМИ под общим методическим руководством автора были проведены полевые экспериментальные исследования по определению задержания жидких осадков кронами деревьев в лесах Западного Алтая (бассейн р. Ульбы). Непосредственное руководство работами в полевых условиях осуществлялось начальником отряда В.А. Одинцом. В связи с тем, что в лесах указанного района преобладают хвойные породы и, в частности пихта, экспериментальные работы проводились по определению задержания осадков кронами пихты. С этой целью под кронами отдельных деревьев или их групп были оборудованы водонепроницаемые площадки. Для их устройства применялась полиэтиленовая пленка, которая натягивалась под углом 10 – 20 к горизонтальной

поверхности на проволочный каркас, укрепленный на деревянных опорах, и крепились специальными зажимами. Во время выпадения жидких осадков вода с площадки по желобу, а затем по трубам поступала в мерный бак. Полезная емкость мерных баков составляла 200 - 250 литров, что соответствовало слою осадков около 10 мм. Измерение уровня воды в баках производилось самописцем уровня "Валдай". После заполнения баков вода из них могла быть слита в течение 2 - 3 минут с помощью шлангов, соединенных с емкостью на уровне мертвого объема.

Следует отметить, что при наклонных дождях проекция кроны на горизонтальную поверхность существенно смещается по отношению к ее положению при вертикальном выпадении жидких осадков. В этом случае для учета задержанных осадков необходимо иметь водопроницаемую площадку, размеры которой превышают площадь проекции кроны на горизонтальную поверхность. Поэтому с целью уменьшения влияния этого явления на точность определения задержания жидких осадков было признано целесообразным строить водопроницаемые площадки таких размеров, чтобы их площадь в 2-3 раза превышала проекции крон и располагать их преимущественно под группами деревьев. В процессе определения перехваченных осадков производился пересчет их величины на площадь проекции кроны при вертикальном выпадении осадков. При этом исключались осадки, выпадающие на водопроницаемую площадку за пределами проекции кроны деревьев. Водопроницаемые площадки располагались с учетом величины и характера кроны деревьев. Ниже приводится краткое описание деревьев и экспериментальных водобалансовых площадок.

Площадка №1. Размеры площадки 30,9 м². Проекция крон группы из трех деревьев (пихта) - 18 м². Эти деревья имеют среднюю охвоенность. Их кроны расположены в 2,5 - 3,5 м от поверхности земли. Возраст деревьев от 20 - 30 до 50 - 60 лет, их диаметр на высоте груди человека составляет 0,24 м; 0,26 и 0,36 м. Высота деревьев - 16 - 18 м. Экспериментальная площадка окружена кустарником высотой 0,7 - 1,2 м. Кроны ближайших деревьев расположены с севера в 3-х м, с юга - в пяти, с запада - в семи и с востока - в десяти метрах.

Площадка №2. Размеры площадки 42,4 м². Проекция кроны одиночного дерева (пихта) составляет 23,3 м². Дерево имеет обильную охвоенность. Его крона расположена в 2 - 3 м от поверхности земли. Возраст дерева 80 - 100 лет, диаметр ствола на высоте груди человека 0,48 м; диаметр кроны

5,0 - 5,5 м; высота 20 м. Вокруг дерева имеются заросли акации, черемухи и жимолости. Кроны ближайших деревьев расположены с севера - в одном метре, с юга - в семи, с запада - в десяти и с востока - в пяти метрах.

Площадка №3. Размеры площадки 51,5 м². Проекция крон группы из четырех деревьев 17,0 м². Деревья имеют малую охвоенность. Высота кроны этих деревьев над поверхностью земли - 2,5 - 3,0 м. Возраст деревьев 20 - 40 лет. Диаметры стволов на высоте груди человека составляют 0,18; 0,22; 0,28 и 0,34 метра. Высота 18 - 20 м. Группа деревьев окружена мелким кустарником. Кроны ближайших деревьев расположены с севера - в двух, с юга - в одном, с запада - в 0,5 и с востока - в одном метрах.

Площадка №4. Размеры площадки 50,3 м². Проекция кроны одинокой молодой пихты 7,1 м². Возраст пихты 10 - 15 лет, высота - 8 м, диаметр ствола на высоте груди человека - 0,14 м. Кроны ближайших деревьев расположены на расстоянии около 20 м.

Следует отметить, что кроме осадков, поступающих под кроны деревьев, измерялись с помощью пювниографа их значения на открытых участках (полянах), расположенных около указанных площадок. Обработка лент с записями дождей и стока с водопроницаемых площадок производилась в соответствии с "Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам", ч. I, вып. 3 и ч. II вып. 6. При расчете задержания осадков учитывался расход влаги на смачивание пленок. По данным проведенных экспериментов поправка на смачивание водопроницаемых площадок составляет около 0,1 мм.

В результате проведения этих экспериментальных работ были получены сведения о процессе задержания осадков хвойными породами деревьев (пихта) на указанных площадках июне-сентябре 1974 года (рис. 1). Данные полевых экспериментальных исследований были представлены в виде интегральных величин осадков, измеренных на открытых площадках и под кронами деревьев.

Кроме этого в 1980 - 1985 гг. на территории Лениногорской водно-балансовой станции (бассейн р. Шаравка) также проводились эксперименты по определению задержания осадков древесной растительностью.

Для проведения указанных экспериментов в зимний период на склоне выбирался участок леса с наиболее характерным составом пород деревьев и кустарников. На участке намечалась площадка размером не менее 50×50 м. Этот участок был выбран недалеко от прогалины (15×15 м), распо-

ложенной на той же высот. На площадке и на прогалине производились снегосъемки. При этом на прогалине высота снега определялась в 20 точках, а его плотность - в пяти точках. На площадке они измерялись соответственно через 1 и 5 м на пяти линиях, расположенных вдоль склона. Всего на площадке было произведено 250 измерений высоты снега и 50 - плотности. При определении высоты и плотности снега в журнале снегосъемки делались отметки о породе деревьев, под которыми производились измерения. Температура воздуха при снегосъемках определялась по данным метеорологической станции Лениногорск.

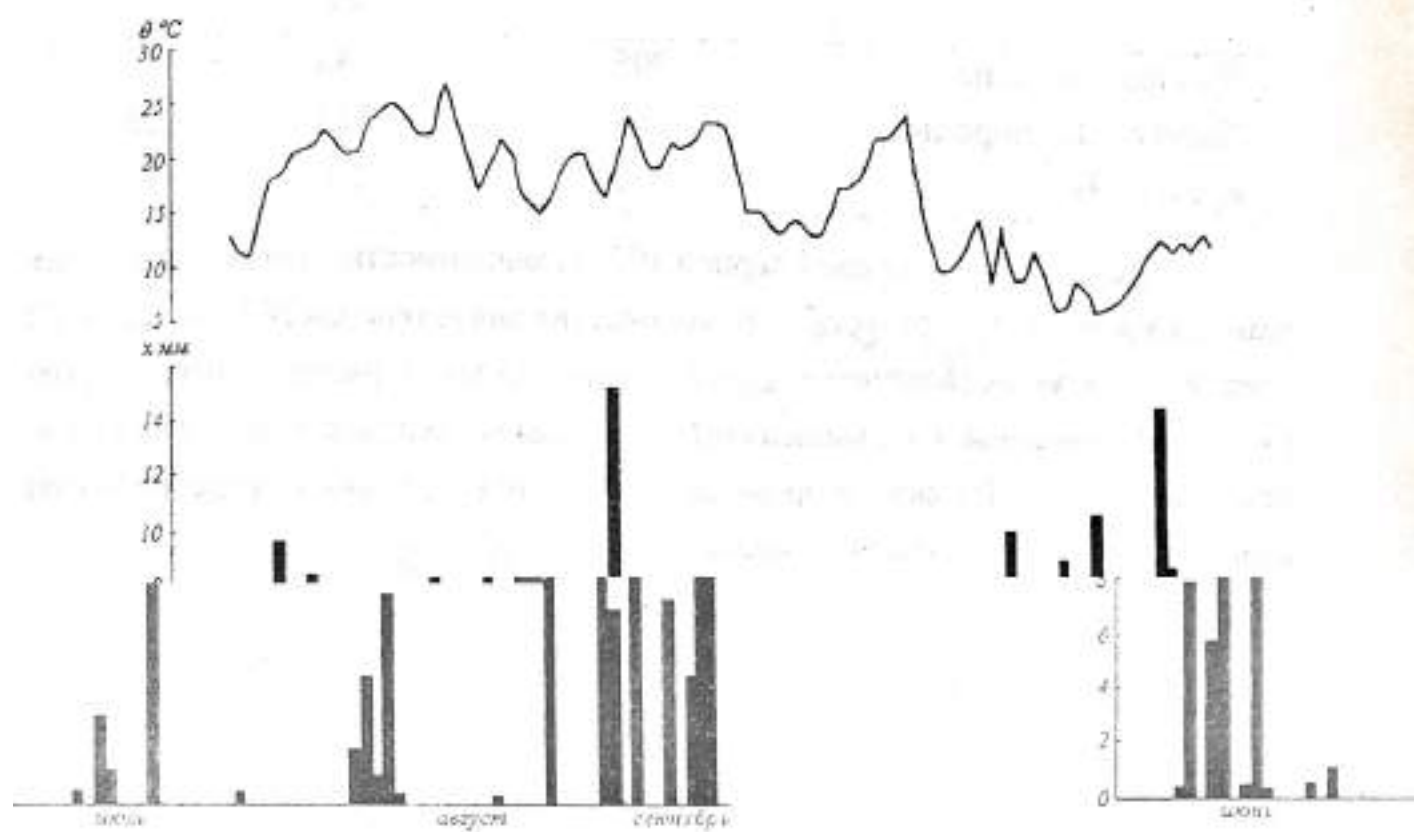


Рис. 1. Хронологический график атмосферных осадков по периоду проведения работ по определению их влияния на растительность, 1974 г.

Рис. 1. Хронологический график атмосферных осадков по периоду проведения работ по определению их влияния на растительность, 1974 г.

а грунт под различными видами деревьев установленными осадкомерами, представляющих собой оцинкованные напольные ведра. В качестве эталонной площадки использовался осадкомер, установленный на открытой площадке. Осадки измерялись сразу же после их выпадения. Результаты проведенных экспериментов показали, что в зимний период осадки задерживаются и расходуются на образование твердых осадков. Задержание осадков под деревьями и кустарником значительно меньше. В летний

В летнее время не выпадали осадки. В качестве эталонной площадки использовался осадкомер, установленный на открытой площадке. Осадки измерялись сразу же после их выпадения. Результаты проведенных экспериментов показали, что в зимний период осадки задерживаются и расходуются на образование твердых осадков. Задержание осадков под деревьями и кустарником значительно меньше. В летний

период (табл.1) хвойными породами деревьев в среднем задерживается около 30 % жидких осадков, а лиственными породами - около 15 %. Кустарниками задерживается около 10 % выпадающих жидких осадков.

Таблица 1

Задержание жидких осадков растительностью в бассейне р. Шаравки за 1982 - 1984 гг.

Вид растительности	Сумма выпавших осадков	Сумма задержанных осадков	
		мм	%
Хвойные породы	795	245	31
Лиственные породы	763	115	15
Кустарник	512	54	11

Полученные за теплый период 1974 г. зависимости слоя осадков, задержанных кронами пихт от их общего количества для площадок №1 (рис.2а) и №2 (рис.2б) в пределах заполнения регулирующей емкости растительного покрова (4 - 5 мм) - линейны. При выпадении значительных осадков в течение длительного времени их задержание продолжается и выше указанных пределов за счет влаги, испарившейся с растительного покрова.

Зависимости задержанных осадков от их общего количества для много-часовых дождей 30 - 31.08.74 и 8 - 9.09.74, показаны на рис.3а и рис.3б.

На этих рисунках видно, что при выпадении значительных осадков задержание продолжается и после того, как его величина достигает предельных размеров регулирующей емкости. Однако в этом случае оно осуществляется с меньшей интенсивностью, чем при наличии свободной емкости растительного покрова. Это связано с тем, что освобождение указанной емкости лимитируется интенсивностью испарения задержанной влаги.

За холодный период 1973 г. зависимость слоя задержанных осадков от их общего количества существенно не линейна (рис. 4) и может быть аппроксимирована кривой экспоненциального вида.

С целью проверки адекватности предложенной модели были проведены расчеты задержания осадков кронами пихт для площадок № 1 ÷ 4 за теплый период 1974 г. При моделировании использовались данные наблюдений за температурой воздуха на метеорологической станции Лениногорск. Максимально возможное испарение определялось с помощью следующего выражения [4]:

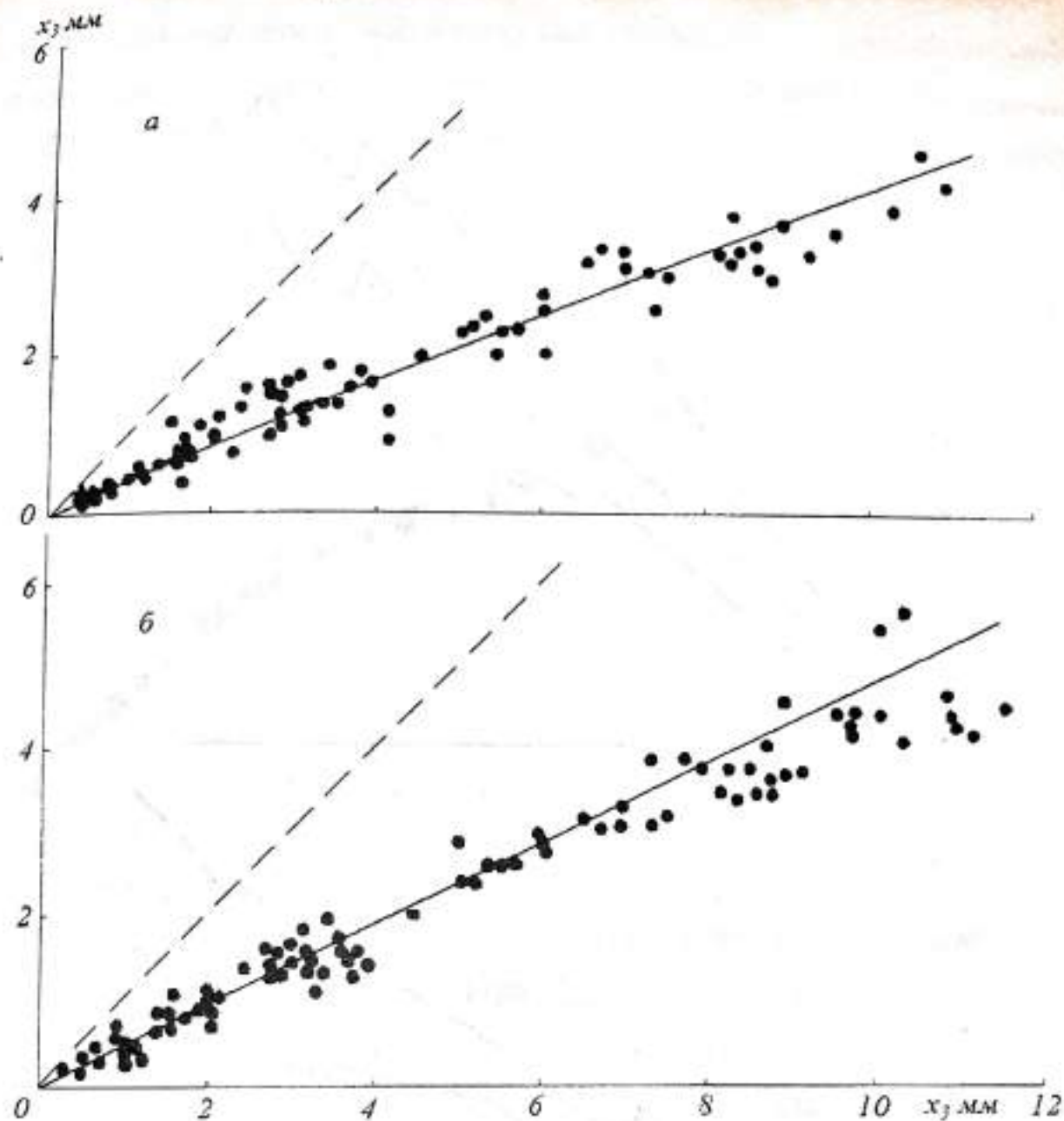


Рис. 2. Зависимость слоя осадков, задержанных кронами пихт в теплый период 1974 г. x_3 от общего количества x . а - площадка 1, б - площадка 2.

$$E_0 = (A + B \cdot \theta) \exp 0,118Z, \quad (18)$$

где θ - температура воздуха в $^{\circ}\text{C}$; Z - высота местности, км; A и B - эмпирические параметры, для Западного Алтая равные соответственно 0,60 и 0,28 для суточных интервалов времени.

Параметры V_{\max} и α определялись с помощью графиков, аналогичных приведенным на рис. 2 и рис. 4. Остальные параметры определялись с помощью оптимизации. Расчет задержания осадков осуществлялся по суточным интервалам времени, а для отдельных многочасовых дождей - по 30-минутным интервалам времени.

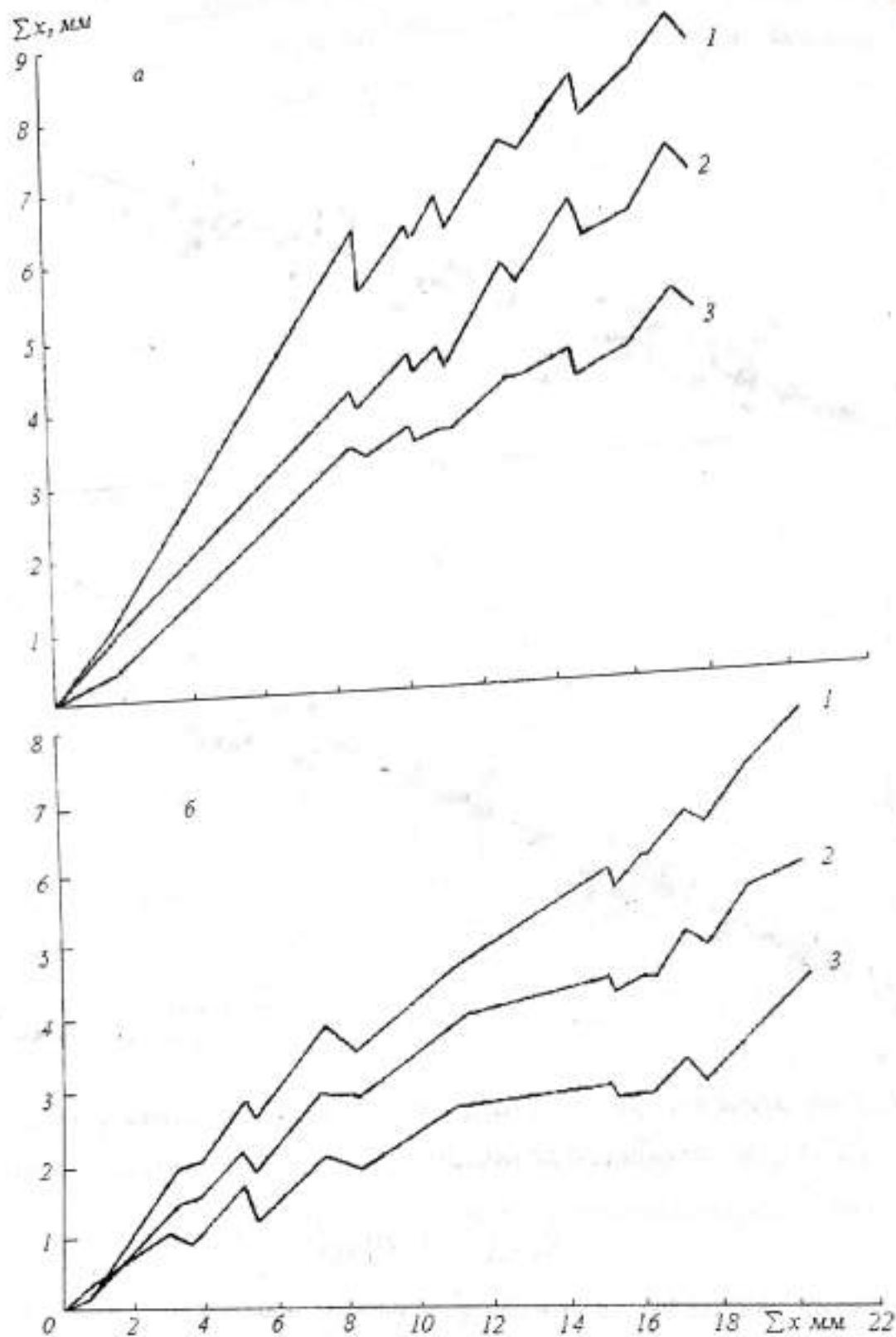


Рис. 3. Задержание влаги древесной растительностью (пихта) на экспериментальных площадках от слоя осадков выпавших 30.08.1974 г (а) и 8-9.09.1974 г (б). 1 – пл. 2; 2 – пл. 3; 3 – пл. 4.

В табл. 2 приведены значения параметров задержания осадков древесной растительностью (пихта), использованные при моделировании указанного процесса по суточным интервалам времени.

Следует отметить, что между параметрами V_{max} и α существует определенная связь. Для площадок № 1 ÷ 4 приближенное соотношение $\alpha = 0,08V_{max}$ может быть использовано при оценке и уточнении параметров модели.

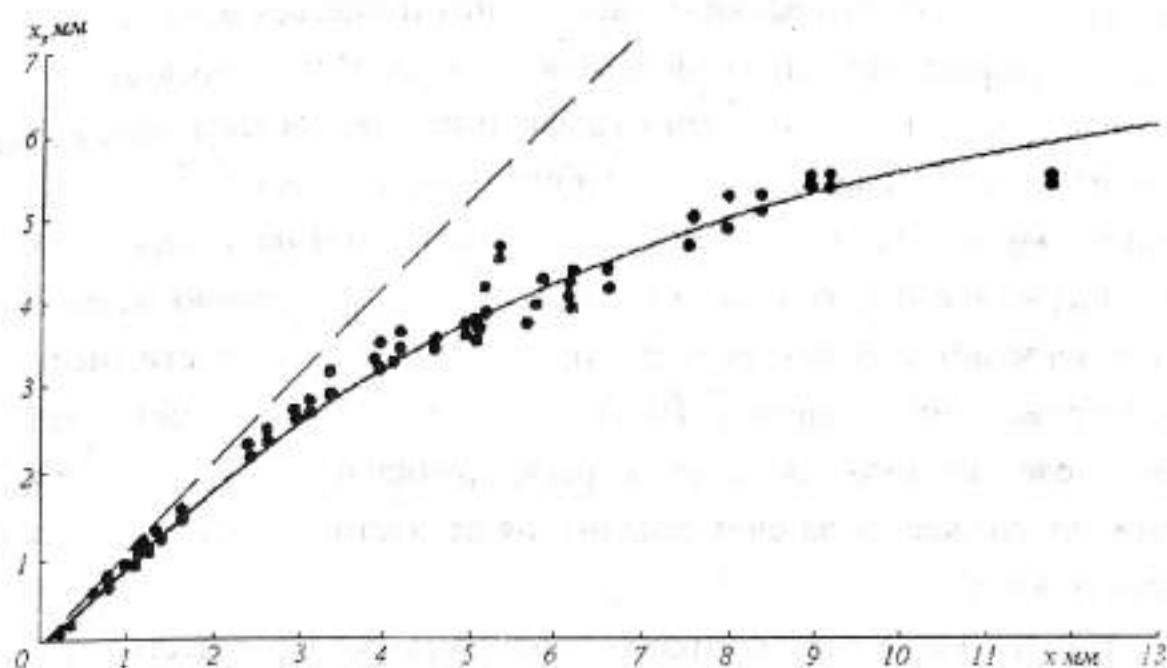


Рис. 4. Зависимость слоя осадков, задержанных кронами пихт в холодный период 1972 г. x_2 от их общего количества x (площадки № 1, № 2).

В среднем значение параметра V_{max} для различных пород деревьев Западного Алтая в теплый период года характеризуется величинами: хвойные - 3,5 - 4,5 мм; лиственные - 3,0 - 4,0 мм; кустарник - 1,5 - 1,7 мм. В холодный период года параметр V_{max} несколько меньше: для хвойных пород он равен 3,0 - 3,5 мм; для лиственных пород и кустарников - около 1,5 мм. Коэффициент α в летний период изменяется от 0,2 - 0,3 (лиственные леса и кустарники) до 0,4 (хвойные леса).

Таблица 2

Параметры модели задержания осадков древесной растительностью (пихта)

Параметры	Номер площадки			
	1	2	3	4
V_{max}	5	6	5	3
α	0,4	0,48	0,40	0,24
k_1	0,2	0,2	0,2	0,2
k_5	2	2	2	2

При выполнении расчета задержания осадков для отдельных многочасовых дождей по тридцатиминутным интервалам времени проводилось некоторое уточнение параметров V_{max} и k_5 . Это связано с небольшим разбросом указанных параметров для отдельных дождей, обусловленном изменением водоотталкивающих свойств игл и листьев в процессе фазового развития растений или воздействия предшествующих осадков.

На рис. 5а и 5б приведены графики изменения слоя жидких осадков, выпавших в первой декаде сентября 1974 г, а также наблюдаемых и рассчитанных значений их задержания кронами пихт на площадках № 2 и № 4. Задержание осадков на этих площадках существенно различается. Это различие обусловлено размерами регулирующей емкости растительного покрова этих площадок. На графиках видно, что через некоторое время после полного заполнения регулирующей емкости задержание осадков продолжается за счет заполнения ее части, освободившейся при испарении влаги.

Приведенные графики показывают хорошее соответствие рассчитанных и наблюдаемых значений задержанных осадков. Это указывает на то, что с помощью предлагаемой модели осуществляется достаточно адекватное описание рассматриваемого процесса.

Кроме этого, для проверки адекватности модели, были использованы более двухсот суточных значений выпавших осадков и величин их задержания кронами пихт. Как отмечалось выше, эти материалы были получены летом 1974 г в результате выполнения экспериментальных работ по определению задержания осадков древесной растительностью (пихта) на площадках № 1 ÷ 4 (Западный Алтай). В результате моделирования рассматриваемого процесса по суточным интервалам времени были рассчитаны за летний период 1974 г значения задержания осадков кронами пихт на указанных четырех площадках.

Как известно, для определения адекватности предлагаемой модели рассматриваемому процессу кроме графических сопоставлений могут быть использованы такие статистические оценки, как отношение средней ошибки расчета элемента S к его среднему квадратическому отношению σ , а также коэффициент корреляции r и его вероятная ошибка. Соответствие рассчитанных и измеренных значений осадков, задержанных кронами пихт, характеризуется отношением $S/\sigma = 0,27$ и коэффициентом корреляции $r = 0,96 \pm 0,005$, а значений осадков, поступивших под кроны

деревьев, - отношением $S/\sigma = 0,15$ и коэффициентом корреляции $r = 0,99 \pm 0,002$. Приведенные оценки показывают, что предложенная модель может быть успешно использована для описания процесса задержания осадков растительным покровом.

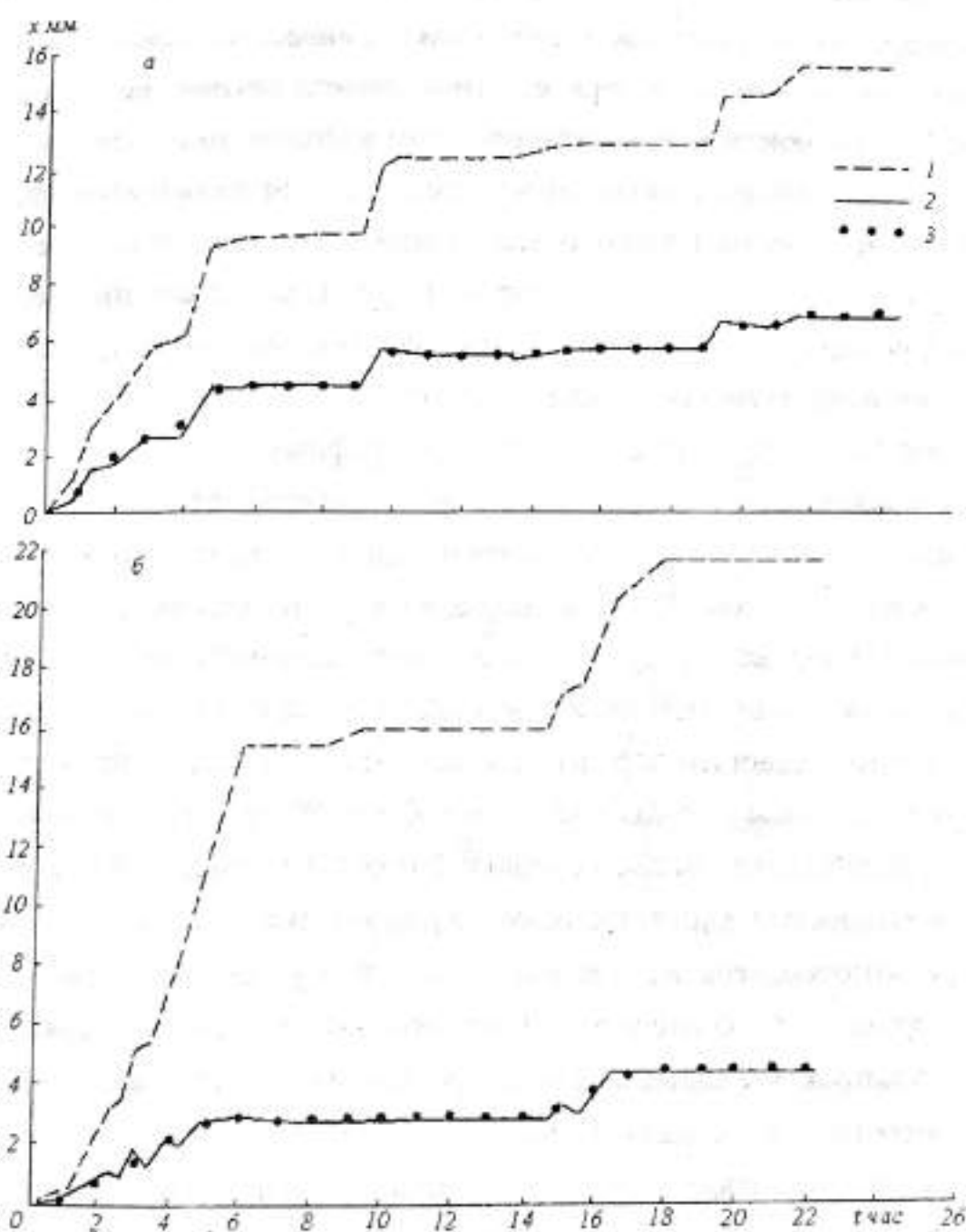


Рис. 5. Изменение слоя жидких осадков, выпавших на площадку № 2 1 - 2.09.1974 г. (а) и на площадку № 4 8 - 9.09.1974 г. (б) и их задержания кронами пихт. 1 - слой измеренных выпавших осадков, мм; 2 - слой измеренных задержанных осадков, мм; 3 - слой рассчитанных задержанных осадков, мм.

Значительные трудности при расчете задержания осадков древесной растительностью в речных бассейнах обусловлены сложностью опре-

деления его сомкнутости проективного покрытия - ρ . Для решения этой задачи могут быть использованы материалы космических съемок или аэрофотосъемок земной поверхности масштаба 1:5000 и крупнее, а также крупномасштабные топографические карты.

Определение сомкнутости (отношения площади проекции крон ко всей площади леса) с помощью материалов космической съемки или аэрофотосъемки поверхности водосбора в летний период обычно не вызывает затруднений. Оно производится статистическим методом, то есть путем подсчета числа точек, в которых наблюдается совмещение проекции крон древесной растительности и узлов прямоугольной сетки и общего числа точек (узлов сетки) в контуре. В этом случае сомкнутость вычисляется как отношение числа точек, в которых наблюдается указанное совпадение, к общему числу узлов сетки в данном контуре или речном бассейне.

Оценка сомкнутости с помощью топографических карт является более сложным и менее точным. Как известно, лес - древесная растительность высотой более 4-х метров и сомкнутостью крон свыше 0,2 выделяется на картах зеленой фоновой окраской [1]. Леса подразделяются на хвойные, лиственные и смешанные. На картах порода леса показывает условный пояснительный знак (фигурка хвойного или лиственного дерева), стоящий внутри контура вместе с названием преобладающей породы деревьев (осина, береза, сосна и т.п.). Если деревья определенной породы составляют более 80 % всех деревьев, то лес обозначается одним знаком преобладающей породы. Смешанный лес обозначается двумя подписями и соответственно двумя знаками (хвойные и лиственные деревья), из которых верхняя подпись и левый знак указывает преобладающую породу. Справа от пояснительного знака породы приводится характеристика древостоя в метрах: в числителе дроби - средняя высота деревьев H_c , в знаменателе - средняя толщина стволов на высоте груди человека D_c , справа от дроби - среднее расстояние между деревьями L_c . Леса с сомкнутостью крон менее 0,2 (редколесье) обозначаются условным знаком в виде небольших черных кружков на светлом фоне. Располагая сведениями, приводимыми на крупномасштабных топографических картах и зависимостями между толщиной (диаметром) ствола на высоте груди человека D_c и диаметром крон деревьев D_k , можно рассчитать сомкнутость древесной растительности.

Параметры древесной растительности D_c и D_k могут быть также определены при проведении экспедиционных исследований. Для решения этой задачи в среднегорной зоне бассейна реки Ульбы (Западный Алтай) экспедици-

онным гидрологическим отрядом КазНИГМИ на выбранных репрезентативных участках были произведены определения высоты и диаметра стволов различных пород деревьев: осины, березы и пихты, а также диаметра их крон. Определение указанных параметров древесной растительности производилось в соответствии с приемами лесной таксации. Высота деревьев рассчитывалась по данным измеренных углов наклона визирных линий и горизонтальных проложений. Определение диаметров стволов деревьев и проекций крон на земную поверхность производилось по двум взаимно перпендикулярным направлениям: в результате из двух полученных измерений принималось среднее. В табл. 3 приведены статистические характеристики (среднее и среднее квадратическое отклонение) параметров древесной растительности Западного Алтая.

Таблица 3

Статистические характеристики древесной растительности в бассейне р. Ульбы

Высота H_g			Диаметр ствола D_c			Диаметр кроны D_k		
\bar{H}_g	σ	C_v	\bar{D}_c	σ	C_v	\bar{D}_k	σ	C_v
Осина (количество измерений – 70)								
19,7	5,73	0,29	0,26	0,091	0,35	6,34	1,76	0,28
Береза (количество измерений – 86)								
16,3	3,56	0,22	0,30	0,085	0,28	5,37	1,52	0,28
Пихта (количество измерений – 88)								
14,7	4,92	0,33	0,19	0,077	0,41	2,56	0,92	0,36

Ниже приведены корреляционные матрицы указанных выше характеристик древесной растительности Западного Алтая.

Таблица 4

Корреляционные матрицы характеристик деревьев различных пород

	D_c	L	D_k
Осина			
D_c	1,00	0,39	0,86
L		1,00	0,27
D_k			1,00
Береза			
D_c	1,00	0,14	0,87
L		1,00	0,03
D_k			1,00
Пихта			
D_c	1,00	0,64	0,88
L		1,00	0,58
D_k			1,00

Данные, приведенные в табл. 3 показывают, что в рассматриваемом районе наибольшую высоту имеют осина (средняя высота деревьев около 20 м), а наименьшую - пихта (средняя высота деревьев около 15 м). Высота берез в среднем составляет около 16 м. Коэффициент изменчивости высоты деревьев составляет 0,22 - 0,33. Наибольший диаметр стволов имеет береза - в среднем около 0,30 м, наименьший - около 0,19 м. Диаметр ствола осины в среднем составляет 0,26 м. Коэффициент изменчивости диаметра ствола у пихты составляет 0,41. Наименьшее его значение - у березы: 0,28. Для осины его значение составляет 0,35. Наибольший диаметр имеет крона осины, в среднем около 6,5 м, наименьший - пихта, в среднем около 2,5 м. Диаметр кроны березы составляет около 5,5 м. Приведенные данные показывают, что диаметры кроны лиственных деревьев в 2,1 - 2,5 раза больше диаметра кроны пихты. Коэффициент вариации диаметра кроны у пихты достигает 0,36; а у березы и осины составляет 0,28. Данные табл. 4 показывают, что между диаметром кроны деревьев D_k и диаметром их стволов имеются наиболее тесные связи, характеризующиеся коэффициентами корреляции 0,86 - 0,88. Между высотой деревьев и диаметром их кроны D_k связи очень слабые, за исключением пихты (коэффициент корреляции 0,58).

В табл. 5 приведены соотношения отдельных характеристик древесной растительности Западного Алтая.

Таблица 5

Соотношения отдельных характеристик древесной растительности Западного Алтая

Осина		Береза		Пихта	
D_k / D_c	\bar{D}_k / \bar{L}	D_k / D_c	\bar{D}_k / \bar{L}	D_k / D_c	\bar{D}_k / \bar{L}
24,4	0,32	17,9	0,33	13,5	0,17

Используя эти соотношения и располагая сведениями о диаметре стволов \bar{D}_c или средней высоте \bar{L} деревьев различных пород, а также средним расстоянием между ними, приведенными на топографических картах, можно приблизительно определить средний диаметр их кроны, а затем и сомкнутость древесной растительности.

Если принять, что среднее расстояние между деревьями характеризует средний диаметр круга, в котором располагается одно дерево, то сомкнутость древесного покрова на участке можно приблизительно опреде-

лить как квадрат отношения среднего диаметра кроны к среднему расстоянию между деревьями. Расчет сомкнутости растительного покрова и задержания осадков древесной растительностью целесообразно производить в пределах отдельных высотных зон речных бассейнов и на склонах различной экспозиции.

В заключение следует отметить, что разработанные алгоритмы позволяют адекватно описать процесс задержания осадков древесной растительностью и определить его характеристики по суточным и более коротким интервалам времени. В результате проведенных исследований установлена линейная зависимость задержанных жидких осадков от их общей величины для древесной растительности (пихта). Задержание твердых и жидких осадков происходит, как правило, по экспоненциальному закону. На основе анализа экспериментальных данных впервые для Западного Алтая установлены значения параметров задержания осадков для различных древесных пород и кустарников. Разработана схема определения сомкнутости (проективного покрытия) растительного покрова в условиях ограниченной информации. Предложенная модель задержания осадков растительным покровом может быть успешно использована при воднобалансовых исследованиях и разработке методов моделирования и расчета речного стока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бубнов И.А. и др. Военная топография / Бубнов И.А., Кремп А.И., Калинин А.К., Шленников С.А. - М.: Воениздат, 1964. - 350 с.
2. Булавко А.Г. водный баланс речных водосборов (основные закономерности, методы расчета и проблемы преобразования). - Л.: Гидрометеиздат, 1971. - 304 с.
3. Бефани А.Н. Расчет задержания осадков растительностью // Метеорология, климатология и гидрология. - Киев, 1975. - С. 97 - 104.
4. Голубцов В.В., Ли В.И. Схема расчета динамики баланса влаги зоны активного влагообмена горных бассейнов // Труды КазНИГМИ. - 1973. - Вып. 50. - С. 58 - 72.
5. Голубцов В.В., Ли В.И. О расчете задержания осадков растительным покровом // Труды КазНИГМИ. - 1975. - Вып. 48. - С. 65 - 69.
6. Голубцов В.В., Ли В.И., Ивкина Н.И. Оценка параметров модели задержания осадков растительным покровом // Труды КазНИГМИ. - 1989. - Вып. 104. - С. 9 - 13.
7. Колесник П.И. Задержание атмосферных осадков растительным покровом // Метеорология, климатология и гидрология. - 1968. - Вып. 3. - С. 86 - 99.

8. Китредж Д. Влияние леса на водный баланс водосборов. - Киев: Наукова Думка, 1968. - 456 с.
9. Кучмент Л.С. Модели процессов формирования речного стока. - Л.: Гидрометеиздат 1980. - 44 с.
10. Линслей Р.К., Колер М.А., Паулос Д.Л.Х. прикладная гидрология. - Л.: Гидрометеиздат, 1962. - 760 с.
11. Литовченко А.Ф., Мочалов В.П. Перехват осадков травянистой и кустарниковой растительностью // География. - Алма-Ата, 1970. - Вып. 2. - С. 74 - 82.
12. Лучшева А.А. Осадки под пологом леса // Труды ВНИИЛХ. - 1940. - Вып. 18. - С. 113 - 148.
13. Матвеев П.И. Задержание жидких осадков пологом елового леса в Тянь-Шане // Труды КиргЛОС. - 1965. - Вып. 4. - С. 55 - 63.
14. Молчанов А.А. Гидрологическая роль леса. - М.: Изд-во АН СССР, 1960. - 454 с.
15. Мочалов В.П., Литовченко А.Ф. О необходимости учета перехвата атмосферных осадков растительностью при проведении воднобалансовых исследований // Сб. Биологи и география. - Алма-Ата, 1968. - Вып. V. - С. 230 - 236.
16. Побережский Л.Н., Трофимов Г.Н. Перехват атмосферных осадков растительностью и его учет при воднобалансовых исследованиях // Труды САРНИГМИ. - 1972. - Вып. 62(77). - С. 46 - 53.
17. Соседов И.С. Исследование баланса снеговой влаги на горных склонах в Заилийском Алатау. - Алма-Ата: Наука, 1967. - 108 с.
18. Соседов И.С., Филатова Л.Н., Киктенко О.В. и др. Температурный и водный режим горных склонов. - Алма-Ата: Наука, 1983. - 92 с.
19. Слейчер Р. Водный режим растений. - М.: Мир, 1970. - 365 с.
20. Таранков В.И. Задержание осадков на кронах в хвойно-широколиственных лесах Южного Приморья // Сообщения ДВ филиала СО АН СССР. - Владивосток, 1964. - Вып. 23. - С. 13 - 18.
21. Федоров С.Ф., Рогоцкая Р.Е. О задержании жидких осадков пологом хвойного леса // Труды ГТИ. - 1971. - Вып. 198. - С. 142 - 153.
22. Хильми Г.Ф. Теоретическая биогеофизика леса. - М.: Изд-во АН СССР, 1957. - 122 с.
23. Цыгельная И.Д., Голубев Г.Н. Условия формирования склонового стока в лесо-луго-степном поясе северного склона хребта Терской Алатау. - Фрунзе: Изд-во АН КиргССР, 1963. - 188 с.
24. Эйтинген Г.Р. Задержание осадков пологом леса // Лес и степь. - 1951. - № 8. - С. 62 - 71.
25. Grouse R.P. Methods of measuring and analysing rainfall interception by grass // Bulletin of International Association of Scientific Hydrology. - 1966. - Vol. 2. - № 2. - P. 110 - 120.
26. Horton R.E. Rainfall interception // Monthly Weather Rev. - 1919. - Vol. 47. - P. 399 - 417.

27. Leonard R.E. Albedo of interceded snow // Mathematical Symposium on Forest Hydrology. - New York, 1967. - P. 991 - 995.
28. Rutter A.J. A predictive model of rainfall interception forests // Agric. Meteorol. - 1971. - Vol. 9. - P. 103 - 106.
29. Rutter A.J. et. Al. A predictive model of rainfall interception in forest // Agric. Meteorol. - 1972. - P. 367 - 384.
30. Zinke P.Y. forest interception studies in the United States // International Symposium on Forest Hydrology. - New York, 1967. - P. 151 - 159.

Қазақстан Республикасының Ғылым және Білім
Министрлігінің
Қазақский научно-исследовательский институт
мониторинга окружающей среды и климата

ЖАУЫН-ШАШЫНДАРДЫҢ ӨСІМДІКТЕРМЕН ТҮТЫЛУЫН АНЫҚТАУ

Геогр. ғылымд. канд. В.В. Голубцов

Жауын-шашындардың өсімдіктермен тұтылу процесінің үлгісі қарастырылады. Қазақстандық Алтай аймағындағы орманды аумақтар үшін үлгі мөлшерлері анықталған. Ағаш өсімдіктердің статистикалық сипаттамалары мен оның кірісуін (проективтік жабуын) анықтау әдісі беріледі. Атмосфералық жауын-шашындардың тұтылуын үлгілеу уақыттың тәуліктік және одан да қысқа интервалдары бойынша жасалды. Ұсынылып отырған үлгінің сәйкестілігі бағалары алынды.