

ленных различается незначительно (зона среднего воздействия) или недостоверно (зоны сильного и слабого воздействия). Сильноослабленные деревья сосны характеризуются существенным снижением этого показателя (различие по критерию Стьюдента достоверно при 1 %-м уровне значимости). Вместе с тем смоловыделительная способность деревьев всех трех категорий состояния заметно снижается по мере приближения к источнику выбросов, что может быть причиной увеличения численности подкорного клопа.

В целом можно предположить, что влияние уровня техногенного загрязнения на численность клопа опосредовано, в основном, изменением резистентности деревьев. В пределах категорий состояния деревьев дополнительным фактором, влияющим на экологическую плотность этого вида, является изменение питательной ценности кормового субстрата.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Давиденко Л. К. Повышение устойчивости сосновых культур к подкорному клопу в Бузулукском бору: Автореф. дис. . . канд. биол. наук.— М., 1974.— 19 с. [2]. Давиденко Л. К., Давиденко М. В. Состояние культур сосны и их устойчивость к подкорному клопу в условиях Бузулукского бора // Сб. работ по лесному хозяйству.— 1974.— Вып. 3.— С. 61—83. [3]. Давыдова А. В. Сосновый подкорный клоп в лесах Брянской области и меры борьбы с ним: Автореф. дис. . . канд. с.-х. наук.— Воронеж, 1956.— 20 с. [4]. Маратэ Ч. М., Харченко Н. А. Особенности развития очагов соснового подкорного клопа в культурах сосны обыкновенной, ослабленных копытными животными и пилильщиками / Воронеж. лесотехн. ин-т.— Воронеж, 1985.— 9 с.— Деп. в ЦБНТИлесхоз 12.08.85, № 415лх-85 деп. [5]. Положенцев П. А., Здрайковский Д. И. К характеристике деревьев сосны, пораженных подкорным клопом // Лесн. журн.— 1958.— № 3.— С. 17—24.— (Изв. высш. учеб. заведений). [6]. Практикум по агрохимии / Под ред. Б. А. Ягодина и др.— М.: Агропромиздат, 1987.— 511 с. [7]. Разумова В. Ф. Влияние повреждения подкорного соснового клопа (*Aradus cinnamomeus* Ranz.) на сосну // Зоол. журн.— 1960.— № 39, вып. 6.— С. 848—857. [8]. Dohmen G. P. Secondary effects of air pollution on enhanced aphid growth // Environ. Pollution.— 1985.— Vol. 39, N 3.— P. 227—234. [9]. Heliövaara K., Terho E., Koronen M. Parasitism in the eggs of the pine bark bug, *Aradus cinnamomeus* (Heteroptera, Aradidae) // Ann. entomol. fenn.— 1982.— Vol. 48, N 1.— P. 31—32. [10]. Heliövaara K., Väisänen R. Industrial air pollution and the pine bark bug, *Aradus cinnamomeus* Ranz. (Het., Aradidae) // J. appl. entomol.— 1986.— Vol. 101, N 5.— P. 469—478. [11]. Koziol M. J., Whatley F. R. Gaseous air pollutants and plant metabolism.— London: Butterworths, 1984.— 14.— 466 с. [12]. Roe J. H. J. Biol. Chem.— 1955.— N. 12.— P. 335. [13]. Sierpinski Z. Schädliche Insekten an jungen Kiefern beständen in Rauschadengebieten in Oberschlesien // Arch. Forstwesen.— 1966.— Bd 15, N. 10.— S. 1105—1114. [14]. Srivastava P. N. Nutritional physiology // Aphids: Biol., Natur. Eneihies and Contr.— Amsterdam, 1987.— Vol. A.— P. 99—121.

Поступила 3 июля 1989 г.

УДК 630\*181.43.001.57

### ЭКОЛОГИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕПОЖАРНОГО ОТПАДА И ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ЛИСТВЕННИЦЫ НА МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЕ

П. М. МАТВЕЕВ, В. А. УСОЛЬЦЕВ

Сибирский технологический институт  
Уральский лесотехнический институт

Возрастающая значимость экологической безопасности и устойчивости лесных биогеоценозов на многолетней мерзлоте к повреждающим воздействиям, а также неоднозначность мнений о роли лесных пожаров в восстановительной динамике таежных лесов обуславливают высокую актуальность прогнозирования послепожарного отпада и возоб-

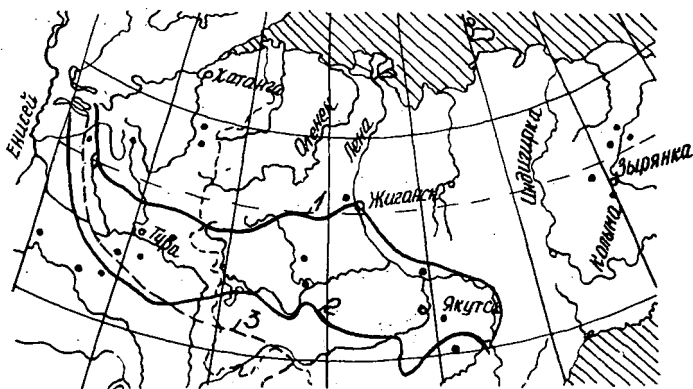


Рис. 1. Расположение участков пробных площадей по мерзлотным поясам: 1 — линия, разграничивающая седьмую и восьмую мерзлотные подзоны [2] и разделяющая северный и средний мерзлотные пояса; 2 — линия, разделяющая геофизиологические зоны сплошного и островного распространения многолетне-мерзлых пород [2] и она же, разделяющая средний и южный мерзлотные пояса; 3 — граница раздела ареалов лиственницы сибирской и даурской [5].

новления главного таежного лесообразователя — лиственницы на основе комплексного учета определяющих воздействий.

Исследования проведены в Красноярском крае и Якутской АССР на территории Среднесибирского плоскогорья, Лено-Алданского плато, Центральнаякутской равнины и юга Колымской низменности, подразделенной нами на три мерзлотных пояса (рис. 1). Исследования ограничены равнинными условиями низменностей и плоскогорий с долей участка лиственницы в составе от 7 до 10 единиц, проведены в древостоях старше 80 лет, когда конкурентные отношения деревьев уже ослаблены и естественный отпад незначителен. Древостои пройдены пожарами в июле — августе.

В исследуемом процессе послепожарного отпада деревьев (в процентах от общего запаса) в качестве определяющих факторов выбраны: мерзлотный пояс, в пределах каждого из поясов — группа типов леса, в пределах последней — интенсивность пожара и в пределах каждой градации интенсивности — древостои различного среднего диаметра (табл. 1). Послепожарное возобновление учтено по первым трем факторам.

Закладка и описание пробных площадей на выбранных участках (рис. 1), таксация древостоев, учет возобновления, наблюдения за особенностями распространения и развития пожаров и за параметрами их кромок выполнены на основе общеизвестных методических указаний и методик [3, 4, 6]. Интенсивность пожара устанавливали по средней высоте нагара на стволах деревьев: до 1,0 м — низкая; от 1,1 до 2,0 м — средняя; более 2,0 м — высокая. Число лет, прошедших со времени пожара, определяли по образцам, выпиленным из стволов на середине пожарных подсушин. На пробной площади учитывали и обследовали деревья всех пород, но поскольку реакция разных пород на один и тот же пожар различна, то для обеспечения сопоставимости вариантов в расчет прогностической модели включали данные только по отпаду лиственницы.

Математическое моделирование — основной метод реализации системного подхода в лесоводственных исследованиях. Одно из ограничений, предъявляемых к многомерным регрессионным моделям, — мультиколлинеарность факторов, которой в нашем примере удалось избежать: все четыре фактора ортогональны, т. е. действуют независимо один от другого и представлены в максимальном диапазоне варьиро-

Таблица 1  
 Распределение пробных площадей, заложенных при исследовании закономерностей  
 послепожарного отпада и возобновления лиственных, по определяющим факторам

Мерзлотный пояс	Группа типов леса												Итого
	лиственничная			зеленомошная			кустарничково-моховая			сфагновая			
	низкая	средняя	высокая	низкая	средняя	высокая	низкая	средняя	высокая	низкая	средняя	высокая	
<b>Отпад</b>													
Северный	5 12...16	2 14...16	5 10...18	5 14...22	3 20...22	5 10...22	4 10...14	6 10...14	6 10...14	2 6...7	4 8...10	47	
Средний	4 10...22	6 10...18	3 12...20	9 12...26	11 12...28	6 10...26	7 10...26	11 10...26	7 8...24	2 9...10	3 10...14	69	
Южный	6 12...24	6 12...24	5 12...24	20 6...26	13 6...26	8 12...28	4 8...24	5 8...24	4 10...22	4 8...16	3 8...14	78	
Итого	42			80			54			18			194
<b>Возобновление</b>													
Северный	2	2	—	2	2	4	1	3	3	—	2	21	
Средний	1	2	1	3	5	2	1	4	4	1	1	25	
Южный	1	3	3	5	5	3	3	3	3	—	1	30	
Итого	15			31			25			5			76

Примечание. В числителе — число пробных площадей; в знаменателе — диапазон средних диаметров древостоев, см.

вания каждого. Другое ограничение касается степени формализуемости исследуемых факторов. Ю. П. Адлер с соавторами [1] полагают, что «в ряде случаев граница между понятием качественного и количественного фактора весьма условна» (с. 48). Можно и интенсивность пожара выразить через высоту нагара на стволах, и мерзлотный пояс квантифицировать температурой и мощностью мерзлого слоя, но будут

ли такие оценки более точными и информативными? Набор типов леса от лишайниковой до сфагновой группы представляет экологический ряд, элементы которого нельзя произвольным образом поменять местами, а можно лишь сменить порядок на обратный. Во всех случаях мы имеем дело с типичными порядковыми переменными, которые широко применяются в лесоводстве (класс Крафта, разряд высот, класс бонитета), в том числе в процедуре многомерного регрессионного анализа [7, 9].

Регрессионные модели, отражающие зависимость послепожарного отпада и возобновления от названных факторов, могут играть роль прогностических, но без учета фактора времени или лага прогноза: имеются в виду конечные значения отпада и возобновления спустя 7-8 лет после пожара. Структура регрессионных моделей для послепожарного отпада и возобновления получена на основе содержательного анализа массива экспериментальных данных методом последовательного сокращения размерности [8]. В итоге для отпада получена регрессионная модель

$$\begin{aligned} \ln y_1 = & -7,3319 + 4,964 \ln x_1 + 2,2298 \ln x_2 + 6,535 \ln x_3 - \\ & - 2,8096 \ln x_4 - 0,7232 \ln^2 x_1 + 0,4896 \ln^2 x_1 \ln x_3 - \\ & - 3,3059 \ln x_1 \ln x_3 - 0,636 \ln x_2 \ln x_3 - 0,2229 \ln x_3 \ln x_4 + \\ & + 0,5407 \ln x_1 \ln x_3 \ln x_4 - 0,071 \ln^2 x_1 \ln x_3 \ln x_4; \quad R^2 = 0,938, \quad (1) \end{aligned}$$

где  $y_1$  — процент отпада деревьев;  
 $x_1$  — группа типов леса, с кодированием: лишайниковая — 10, зеленомошная — 20, кустарничково-моховая — 30, сфагновая — 40;  
 $x_2$  — мерзлотный пояс, с кодированием: южный — 10, средний — 20, северный — 30;  
 $x_3$  — интенсивность пожара, с кодированием: низкая — 10, средняя — 20, высокая — 30;  
 $x_4$  — ступень среднего диаметра древостоя, см.

Средняя квадратичная ошибка уравнения  $\pm 19\%$ . Наглядное представление об адекватности модели (1) дает рис. 2.

Для послепожарного возобновления по каждому мерзлотному поясу получены регрессионные модели

$$\begin{aligned} y_2 = & a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_1^2 + a_3 x_1^3 + a_4 x_3 + a_5 x_3^2 + a_6 x_3^3 + \\ & + a_7 x_1 x_3 + \dots + a_{14} x_1^2 x_3^3 + a_{15} x_1^3 x_3^3, \quad (2) \end{aligned}$$

где  $y_2$  — численность возобновления, тыс. экз./га;  
 $x_1$  и  $x_3$  — то же, что в уравнении (1).

Для приведения размерностей  $x$  и  $y$  к одному порядку значения переменных  $x_1$  и  $x_3$  в уравнении (2) уменьшены в 10 раз, т. е. приняты натуральные ряды чисел 1, 2, 3, 4. Модели (1) и (2) действительны в диапазоне значений факторов, приведенных в табл. 1. Характеристика моделей (2) дана в табл. 2.

Процент отпада закономерно увеличивается по мере снижения среднего диаметра древостоя, независимо от уровня прочих факторов (рис. 2).

По мере роста интенсивности пожара при прочих равных условиях все большая часть крупных деревьев уходит в отпад, и древостои разного среднего диаметра все более выравниваются в своей неспособности противостоять воздействию огня (снижаются углы наклона линий регрессии).

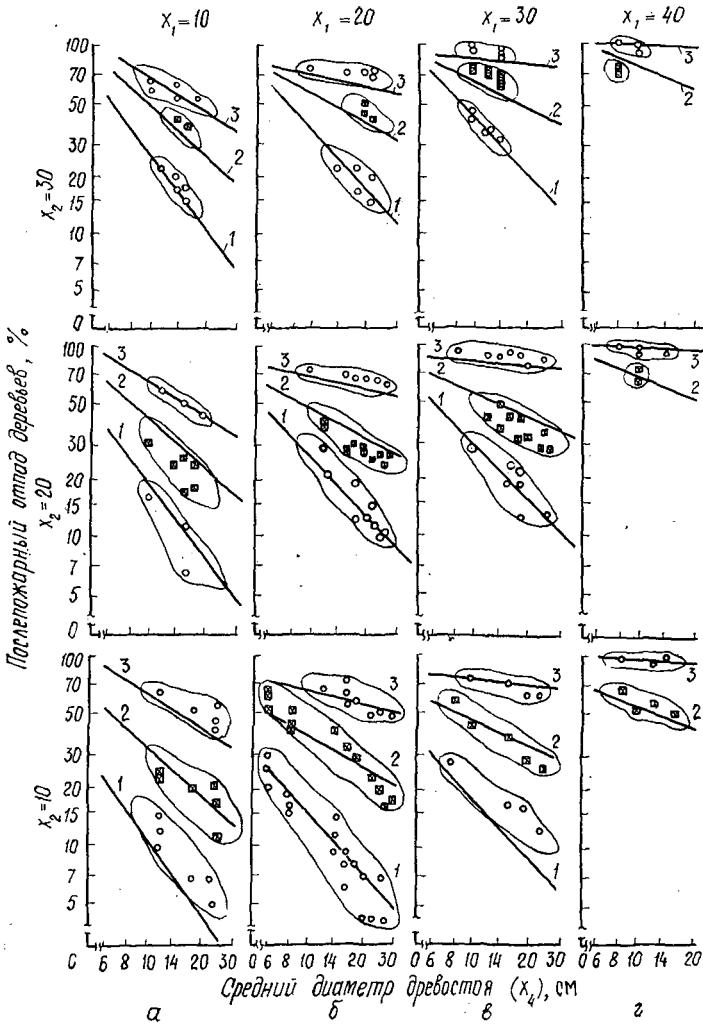


Рис. 2. Зависимость отпада деревьев от среднего диаметра древостоев по мерзлотным поясам: южный ( $x_2 = 10$ ), средний ( $x_2 = 20$ ) и северный ( $x_2 = 30$ ) и по группам типов леса: лишайниковая (а), зеленомошная (б), кустарничково-моховая (в) и сфагновая (г); 1, 2, 3 — интенсивность пожара соответственно низкая, средняя и высокая

При переходе от лишайниковой к сфагнуовой группе типов леса происходит аналогичный процесс: чем выше влагообеспеченность местообитания, тем больше отпад и тем сильнее сглаживаются различия в отпаде деревьев древостоев разного среднего диаметра. Однако причина здесь иная: в пределах одного мерзлотного пояса по мере роста влагообеспеченности местообитания повышается уровень мерзлого горизонта, корневая система становится все более поверхностной и менее защищенной от огня. Увеличение отпада по мере перехода от южного мерзлотного пояса к северному при прочих равных условиях объясняется той же причиной, что и при росте влагообеспечения: с увеличением мощности мерзлотного слоя, но при неизменной влагообеспеченности, повышается уровень залегания мерзлого горизонта с иными сопутствующими эффектами.

Таблица 2  
 Параметры уравнения (2)

Константы при независимых переменных	Мерзлотный пояс		
	северный	средний	южный
$a_0$	9,71	18,94	28,66
$a_1(x_1)$	-10,29	-16,49	-40,52
$a_2(x_1^2)$	1,92	2,85	15,13
$a_3(x_1^3)$	—	—	-1,71
$a_4(x_3)$	-88,06	13,47	—
$a_5(x_3^2)$	25,18	-21,33	-18,12
$a_6(x_3^3)$	—	1,64	1,22
$a_7(x_1x_3)$	135,16	-16,82	19,21
$a_8(x_1x_3^2)$	-39,01	32,05	20,57
$a_9(x_1^2x_3^2)$	15,50	-15,60	-8,25
$a_{10}(x_1^3x_3^2)$	-1,83	2,21	1,05
$a_{11}(x_1^2x_3)$	-53,17	13,34	-6,50
$a_{12}(x_1^3x_3)$	6,27	-2,44	0,45
$a_{13}(x_1x_3^3)$	—	-2,57	-1,51
$a_{14}(x_1^2x_3^3)$	—	1,23	0,61
$a_{15}(x_1^3x_3^3)$	—	-0,17	-0,076
$R^2$	0,939	0,978	0,976
Средняя квадратичная ошибка, %	36,0	30,5	32,3

При переходе от южного мерзлотного пояса к северному сокращение числа жизнеспособных деревьев снижает возможности обсеменения площадей, и возобновление падает. Этот процесс усиливается тем, что при расположении мерзлого горизонта близко к поверхности сгорание теплоизоляционного слоя напочвенного покрова и подстилки сопровождается интенсивным прогревом почвы, таянием частиц льда в ней и сокращением или прекращением потребления влаги частично или полностью отмершим древостоем. Это вызывает заболачивание, приводящее к гибели появившегося подроста. В пределах мерзлотного пояса максимум возобновления приходится на зеленомошники, которым соответствует оптимум лесорастительных условий (рис. 3). При переходе от них к сфагновой группе на закономерность увеличения отпада накладывается уже упомянутый процесс прогрессирующего послепожарного заболачивания, и возобновление резко снижается. В направлении от зеленомошной группы типов леса к лишайниковой снижение возобновления связано не с отпадом деревьев, а с легким механическим составом почв, верхние горизонты которых после пожаров иссушаются и обедняются элементами питания.

В зеленомошных и кустарничково-моховых типах леса южного мерзлотного пояса пик количества подроста приходится на древостой после пожаров высокой интенсивности, в значительной мере устраняющих конкуренцию древостоя за влагу и элементы питания и уничтожающих нижние ярусы и подстилку, препятствующие появлению и развитию семян. В лишайниковой группе этого же пояса пик возобновления приходится на древостой после пожаров средней и низкой интенсивности, в достаточной мере выжигающих напочвенный покров и вызывающих отпад 15...25 % деревьев. При переходе к среднему

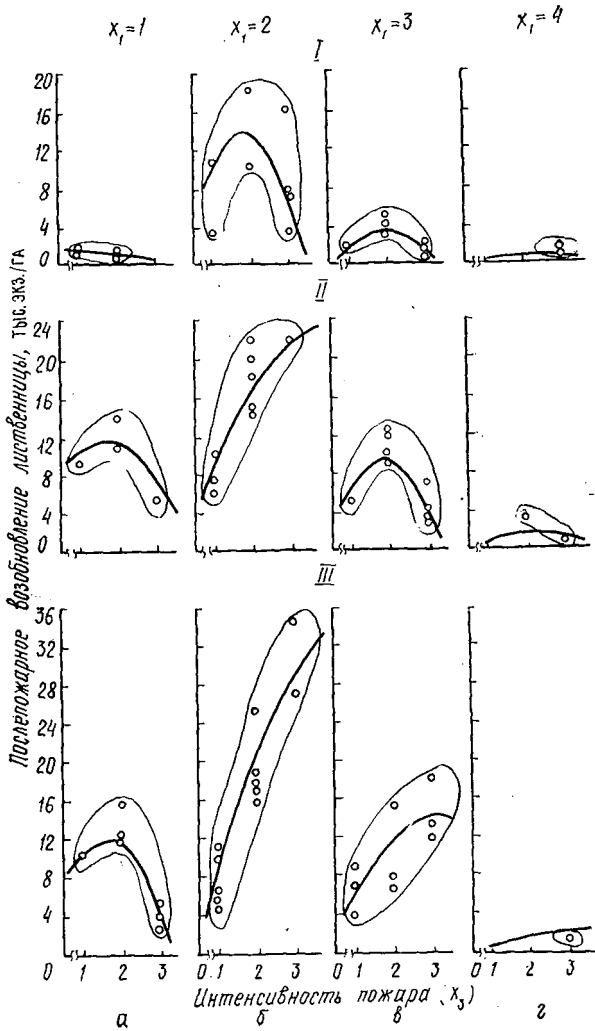


Рис. 3. Зависимость количества послепожарного подроста лиственницы от интенсивности пожара  $x_2$  (1 — низкая, 2 — средняя, 3 — высокая) и группы типов леса  $x_1$  (а — лишайниковая, б — зеленомошная, в — кустарничково-моховая, г — сфагновая) по мерзлотным поясам; I — северный, II — средний, III — южный

мерзлотному поясу в кустарничково-моховой группе типов леса пик возобновления смещается от пожаров высокой к пожарам средней интенсивности, поскольку большая минерализация почвы после сильных пожаров, близкий уровень залегания мерзлоты и заболачивание не вызывают увеличения количества послепожарного подроста, как это было в южном поясе. В северном мерзлотном поясе влияние названных факторов усиливается, в результате даже в зеленомошниках пик возобновления смещается от пожаров высокой к пожарам средней интенсивности при более низком уровне возобновления во всех группах типов леса в сравнении со средним и южным поясами.

Полученные регрессионные модели дают возможность прогнозировать конечные значения послепожарного отпада и возобновления с целью оценки ущерба от пожаров и перспектив восстановительной динамики лиственничников на многолетней мерзлоте.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.— М.: Наука, 1976.— 279 с. [2]. Кондратьева К. А., Кудрявцев В. А. Карта геокриологического районирования СССР.— М.: МГУ, 1977. [3]. Курбатский Н. П. Пожары тайги, закономерности их возникновения и развития: Дис... докт. с.-х. наук.— Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1964.— 600 с. [4]. Мелехов И. С. Влияние пожаров на лес.— М.: Гослестехиздат, 1948.— 124 с. [5]. Поздняков Л. К. Даурская лиственница.— М.: Наука, 1975.— 312 с. [6]. Сукачев В. Н., Зонн С. В. Методические указания по изучению типов леса.— М.: АН СССР, 1961.— 144 с. [7]. Тябер А. П. Принципы исследований строения древостоев по толщине деревьев // Лесн. журн.— 1980.— № 1.— С. 5—9.— (Изв. высш. учеб. заведений). [8]. Усолцев В. А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев.— Красноярск: Краснояр. ун-т, 1985.— 191 с. [9]. Яновский Л. Н., Моисеев В. С. Лесная таксация: Методические указания по учету древесной зелени.— Л.: ЛТА, 1985.— 39 с.

Поступила 8 июня 1989 г.

УДК 631.311.51

### ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ТИПА РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНОГО КАНАЛОКОПАТЕЛЯ

В. А. ЯКИМЧУК, В. В. ГОНЧАРОВ

ЛенНИИЛХ

Для прокладки осушительных каналов глубиной от 0,8 до 2 м как в нашей стране, так и за рубежом широкое применение нашли каналокопатели с двухфрезерными рабочими органами.

В СССР наиболее распространены двухфрезерные рабочие органы с плоскими фрезами. Такую конструкцию имеют рабочие органы каналокопателей ЭТР-125А, ЭТР-153, ЭТР-172 и др. Эти фрезы прорезают щели вдоль откосов канала, а клиновидный отвал, расположенный между фрезами, и рушители, установленные на фрезах, обрушивают центральную призму грунта на плоскость фрез. Такие рабочие органы имеют недостатки. Неравномерное обрушение грунта вызывает большие динамические нагрузки в трансмиссии каналокопателя. Клиновидный отвал, являясь пассивным элементом рабочего органа, создает соответствующее тяговое сопротивление. Этот рабочий орган неспособен разрабатывать древесные включения, что приводит к необходимости предварительной корчевки пней на трассе. Этот недостаток особенно сказывается при прокладке каналов в лесоболотных условиях, поскольку здесь наблюдается как большое количество пней, так и наличие грунта с низкой несущей способностью.

Указанные недостатки рабочих органов с плоскими фрезами могут быть устранены при использовании объемных фрез, которые разрабатывают грунт по всему сечению канала без обрушения, древесные включения разрабатываются одновременно с грунтом. Однако энергоемкость фрезерования грунта плоскими фрезами ниже, благодаря использованию эффекта обрушения [1—3].

При проведении теоретического анализа энергоемкости фрезерования грунта были сделаны следующие допущения:

- 1) грунт по всему сечению канала однороден;