

**С.С. Петросян, Д.А. Ильюшенко, Е.В. Барышникова, Е.Г. Хитров**

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ  
КОЛЕСНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ТРАКТОРОВ  
С ПАЧКОВЫМ ЗАХВАТОМ  
С ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫМИ УСЛОВИЯМИ**

*Введение.* Колесные машины, в частности, тракторы с пачковым захватом (скиддеры), широко используются в отечественной практике заготовки древесины. Современная высокопроизводительная техника позволяет достичь высоких технико-экономических показателей лесосечных работ. Вместе с тем тяжелые машины нарушают структуру лесного почвогрунта; по этой причине исследователи уделяют значительное внимание вопросам воздействия движителей лесных машин на поверхности движения. Глубина колеи, образующейся после первого прохода, является одним из самых информативных показателей воздействия машины на лесную экосистему [Бурмистрова, 2021; Хитров, 2020б; Хитров, 2020в]. Известно сравнительно мало исследований, результаты которых раскрывают характер воздействия движителей скиддеров на почвогрунт. Для дальнейшего совершенствования процесса трелевки древесины колесными тракторами с пачковым захватом необходимы разработки, позволяющие проводить оценку их экологической совместимости с почвенно-грунтовыми условиями, чему и посвящено данное исследование.

*Методика исследования.* Используются сведения об эксплуатационных характеристиках скиддеров Tigercat, John Deere, Weiler, полученные с официальных сайтов производителей [Tigercat, 2022; John Deere, 2022; Weiler, 2022]. Оценка глубины колеи выполнена с использованием положений механики грунтов и теории движения автомобильного транспорта в условиях бездорожья. Математическая модель образования колеи реализована численно. При обработке результатов моделирования использованы методы аппроксимации данных.

*Результаты исследования.* В табл. 1 представлены некоторые эксплуатационные характеристики колесных тракторов с пачковым захватом, будем ориентироваться на них при проведении расчетов.

Таблица 1

**Эксплуатационные характеристики колесных тракторов  
с пачковым захватом [Tigercat, 2022; John Deere, 2022; Weiler, 2022]**

**Performance characteristics of modern wheeled skidders**

Производитель	Модель	$k$	$M_0$ , кг	$N$ , кВт	Станд. шины (передняя ось)	$S_0$ , м <sup>2</sup>
Tigercat	620H	4	19595	195	30,5Lx26	1,39
Tigercat	630H	4	20275	203	30,5Lx26	1,58
Tigercat	632H	4	21860	212	35,5Lx24	1,76
Tigercat	625H	6	22950	198	30,5Lx32	1,77
Tigercat	635H	6	25130	220	35,5Lx24	1,95
Weiler	S250	4	20346	151	30,5L-32	1,46
Weiler	S350	4	20814	168	30,5L-32	1,67
Weiler	S450	4	21923	186	35,5L-32	1,93
Weiler	S550	4	22378	205	35,5L-32	2,21
John Deere	648 L-II	4	19054	177	30,5-32	1,24
John Deere	748 L-II	4	19713	196	30,5-32	1,48
John Deere	768 L-II	6	23697	210	30,5-32	1,77
John Deere	848 L-II	4	22384	210	35,5-32	1,77
John Deere	948 L-II	4	22484	224	35,5-32	2,07

В таблице обозначено:  $k$  – число колес,  $N$  – мощность двигателя,  $M_0$  – масса машины,  $S_0$  – площадь сечения захвата.

Исследуем нагрузку на движитель со стороны пачки деревьев. Для этого сопоставим площадь сечения захвата скиддера с весом трелеваемых лесоматериалов.

Известна функция диаметра дерева в месте комлевого среза от объема хлыста [Grigorev, 2014]:

$$d = a_0 V^{a_1}, \quad (1)$$

где  $V$  – объем хлыста;  $a$  – коэффициенты, зависящие от породы (табл. 2).

Определим площадь сечения захвата при допущении о его круглой форме:

$$S_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}, \quad (2)$$

где  $d_0$  – диаметр сечения захвата.

Таблица 2

**Коэффициенты к расчету диаметра дерева в месте среза и плотность древесины в свежесрубленном состоянии [Кочегаров, 1990; Grigorev, 2014]**

**Coefficients for calculating a tree diameter; density of a freshly cut wood**

Параметр	Сосна	Ель	Осина	Береза
$a_0$	0,4547	0,4535	0,451	0,4289
$a_1$	0,3718	0,4254	0,3863	0,3764
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	850	780	950	880

Площадь поперечного сечения дерева в месте захвата определим при том же допущении:

$$S^* = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (3)$$

тогда суммарная площадь сечений деревьев, захваченных скиддером:

$$S = nS^* = n \frac{\pi d^2}{4}, \quad (4)$$

где  $n$  – число деревьев в захвате.

Геометрические построения показывают, что при  $d = 1/2d_0$  в захвате будет находиться два дерева, тогда соотношение  $S/S_0 = 0,5$ ; при  $d = 1/3d_0$  в захвате будет находиться 7 деревьев  $S/S_0 = 7/9$ ; очевидно, что соотношение  $S/S_0 = 1$  лишь при  $d \rightarrow 0$ . Тогда:

$$\frac{S}{S_0} = 1 - 2 \left( \frac{d}{d_0} \right)^2, \quad (5)$$

или, с учетом (3), (4):

$$\frac{nS^*}{S_0} = 1 - 2 \frac{S^*}{S_0}, \quad (6)$$

$$n = \frac{4S_0}{\pi d^2} - 2. \quad (7)$$

Формула (7) позволяет приближенно оценить число деревьев в захвате в зависимости от площади его сечения и диаметра дерева в месте среза.

Объем трелюемой пачки деревьев найдем по формуле

$$V_p = nV, \quad (8)$$

вес трелеваемой пачки определим по уравнению

$$G_p = nV_p = nrgV, \quad (9)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения.

Известно, что при трелевке пачки деревьев доля веса пачки, приходящаяся на трактор, определяется по формуле [Кочегаров, 1990]:

$$G_T = k_T G_p, \quad (10)$$

где  $k_T$  – коэффициент, учитывающий распределение веса пачки между трактором и волоком, которые, аппроксимируя данные [Кочегаров, 1990], определим по формуле

$$k_T = b_0 V^{b_1}, \quad (11)$$

где  $b$  – числовые коэффициенты (при трелевке за комли  $b_0 = 0,6093$  и  $b_1 = -0,096$ ).

Нами установлено, что результаты расчетов по формулам (1), (7)–(11) при  $V = 0,1–0,6 \text{ м}^3$ ,  $S_0 = 1,2–2,3 \text{ м}^2$  с высокой точностью аппроксимируются следующими функциями:

$$G_T = S_0 (24,21 + 6,376V), \quad (12)$$

$$V_p = S_0 (3,795 + 2,292V). \quad (13)$$

В уравнении (12)  $G_T$  (кН).

Результаты расчетов по формулам (12), (13) проиллюстрированы на рис. 1.

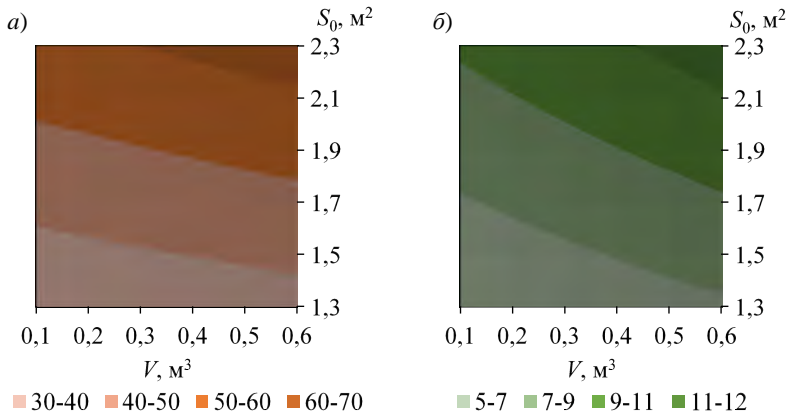


Рис. 1. Зависимость веса пачки, приходящегося на трактор (а), и объема трелеваемой пачки (б) от объема хлыста и площади сечения захвата

Fig. 1. Dependence of the bundle weight per tractor (а) and the bundle volume (б) on the tree volume and the grapple opening area

Учитывая полученные результаты, определим минимальное значение несущей способности почвогрунта, при котором обеспечивается условие экологической совместимости движителя скиддера. Примем допустимое значение глубины колеи, образующейся при первом проходе машины по волоку,  $h_{\text{доп}} = 0,2$  м [Бурмистрова, 2021; Хитров, 2020б; Хитров, 2021б] (без учета воздействия на почвогрунт волочащейся пачки).

Известно уравнение, позволяющее определить среднее давление колесного движителя на почвогрунт  $p$  (МПа) [Хитров, 2021б]:

$$p = 0,918B^{-0,193} D^{0,301} p_w^{0,12} q_s^{0,423} NGP^{0,588}, \quad (14)$$

где  $B$  – ширина движителя;  $D$  – диаметр колеса;  $p_w$  – внутренне давление в шине, МПа;  $q_s$  – несущая способность почвогрунта, МПа, при глубине колеи не более 0,2 м;  $NGP$  – условное давление движителя на почвогрунт, МПа [Хитров, 2021б]:

$$NGP = \frac{2(G_0 + G_T)}{kBD}, \quad (15)$$

где  $G_0$  – вес скиддера:

$$G_0 = M_0 g, \quad (16)$$

где  $M_0$  – масса скиддера.

Известно уравнение, основанное на теории проф. Я.С. Агейкина, позволяющее рассчитать глубину колеи при первом проходе машины [Хитров, 2020б]:

$$h = \frac{p_s}{p_s - p} \cdot \frac{JpaB}{E \sqrt{1 - \frac{Jp}{E}}} \arctg \frac{H - h}{aB \sqrt{1 - \frac{Jp}{E}}}, \quad (17)$$

где  $p_s$  – несущая способность почвогрунта;  $E$  – модуль общей деформации грунта;  $J, a$  – параметры пятна контакта;  $H$  – глубина распространения деформаций почвогрунта [Хитров, 2020б]:

$$H = 2B, \quad (18)$$

$$J = \frac{0,03 + 0,5 \frac{D}{B}}{0,6 + 0,215 \frac{D}{B}}, \quad (19)$$

$$a = 0,64 \frac{H + B}{H}. \quad (20)$$

С учетом принятых предпосылок к расчету ( $h \leq 0,2$  м), примем

$$p_s \approx q_s, \quad (21)$$

модуль общей деформации оценим по формуле [Хитров, 2019; Хитров, 2020д; Khitrov, 2018; Khitrov, 2019a; Khitrov, 2019б]:

$$E = 10,73 p_s. \quad (22)$$

Результаты численного решения уравнения (17) относительно  $q_s = q_{s,\min}$  проиллюстрированы на рис. 2.

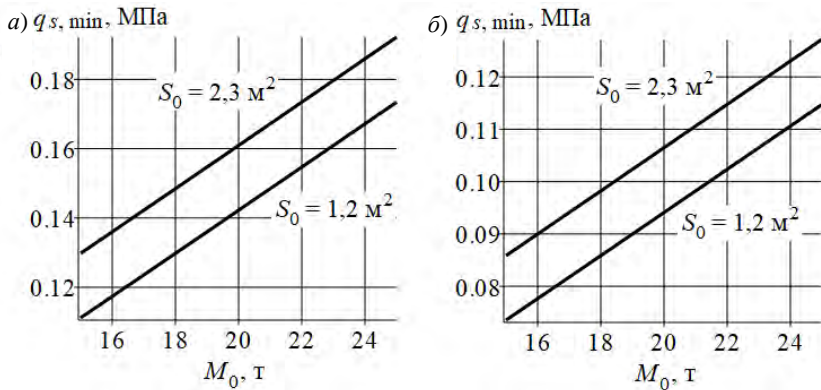


Рис. 2. Минимальная несущая способность почвогрунта, при которой обеспечивается экологическая совместимость движителя скиддера

Fig. 2. Minimal bearing capacity of the soil, which ensures the environmental compatibility of the skidder mover

Результаты численного решения уравнения (17) при  $B = 0,8-0,9$  м,  $D = 1,8$  м,  $p_w = 0,15-0,55$  МПа,  $M_0 = 15-25$  т,  $S_0 = 1,2-2,3$  м<sup>2</sup>,  $k = 4$  с высокой точностью аппроксимируются линейной функцией

$$q_{s,\min} = 0,124 - 0,191B + 0,0920p_w + 0,00582M_0 + 0,0158S_0 + 0,00600V \quad (23)$$

в тех же диапазонах варьирования переменных факторов, но при  $k = 6$

$$q_{s,\min} = 0,0819 - 0,126B + 0,0608p_w + 0,00385M_0 + 0,0104S_0 + 0,00397V. \quad (24)$$

Для упрощения сбора полевых данных о несущей способности почвогрунта  $q_s$  можно воспользоваться зависимостью [Хитров, 2017; Хитров, 2021б; Khitrov, 2019б]:

$$q_s = 0,2197CI, \quad (25)$$

где  $CI$  – конусный индекс почвогрунта (определяется ручным пенетрометром по стандартизованной методике).

Тогда с учетом (25) результаты расчетов можно представить графиками на рис. 3.

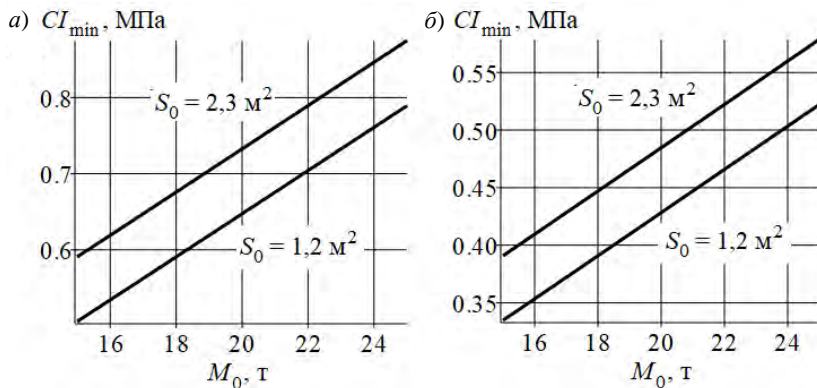


Рис. 3. Минимальный конусный индекс почвогрунта, при котором обеспечивается экологическая совместимость движителя скиддера

Fig. 3. Minimal soil cone index that ensures the environmental compatibility of the skidder mover

**Выводы.** Получены зависимости, позволяющие на практике оценить экологическую совместимость скиддера с почвенно-грунтовыми условиями. При этом характеристиками машины являются: масса, число колес, ширина и диаметр колеса, давление в шине, площадь сечения захвата. Грунт характеризуется несущей способностью либо конусным индексом. Модели учитывают средний объем хлыста в трелюемой пачке лесоматериалов. По полученным уравнениям возможно решение обратной задачи: обоснование допустимой массы машины и площади сечения захвата с учетом характеристик движителя и почвенно-грунтовых условий.

В перспективе планируем исследовать характеристики большего числа моделей техники. Целью является разработка классификации колесных тракторов с пачковым захватом на основе кластеризации данных [Андронов, 2021; Егорин, 2021; Хитров, 2020а; Хитров, 2021а; Хитров, 2021б]. Полагаем, что уточнение существующей классификации техники позволит разработать рекомендации, совершенствующие процесс подбора и обоснования техники и технологии лесосечных работ с учетом природно-производственных условий.

**Вклад авторов.** Петросян С.С. – формулировка математических моделей, проведение расчетов и анализ их результатов (65%); Ильюшенко Д.А. – анализ справочных данных, проведение расчетов (15%), Барышникова Е.В. – анализ справочных данных, проведение расчетов (15%), Хитров Е.Г. – разработка программ для проведения расчетов, общее руководство работой (5%)

### Библиографический список

- Андронов А.В., Петросян С.С., Егорин А.А., Ильюшенко Д.А., Хитров Е.Г. Классификация форвардеров с использованием кластеризации данных об их эксплуатационных характеристиках // Resources and Technology. 2021. Vol. 18, no. 4. P. 1–16.
- Бурмистрова О.Н., Просужих А.А., Хитров Е.Г., Куницкая О.А., Лунева Е.Н. Теоретические исследования производительности форвардеров при ограничениях воздействия на почвогрунты // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021. № 3 (381). С. 101–116.
- Егорин А.А., Петросян С.С., Андронов А.В., Хитров Е.Г., Степанищева М.В. Анализ эксплуатационных характеристик современных харвестеров // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 4 (52). С. 127–131.
- Кочегаров В.Г., Бит Ю.А., Меньшиков В.Н. Технология и машин лесосечных работ. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 387 с.
- Хитров Е.Г., Хахина А.М., Лухминский В.А., Казаков Д.П. Исследование связи конусного индекса и модуля деформации различных типов грунтов // Resources and Technology. 2017. Vol. 14, no. 4. P. 1–16.
- Хитров Е.Г., Котенев Е.В., Андронов А.В., Тарадин Г.С., Божбов В.Е. Теоретический расчет несущей способности связного грунта по конусному индексу и механическим свойствам // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. № 226. С. 111–123.
- Хитров Е.Г., Андронов А.В., Ильюшенко Д.А. Характеристики современных лесозаготовительных машин (v2.0) // Свидетельство о регистрации базы данных 2020620805, 19.05.2020. Заявка № 2020620541 от 26.03.2020.
- Хитров Е.Г., Котенев Е.В., Андронов А.В., Чжан С.А., Никифорова В.А. Исследование экологичности и вопросы сертификации движителей лесных машин // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 2 (46). С. 100–105.
- Хитров Е.Г., Андронов А.В., Хахина А.М., Григорьев Г.В. Математические модели взаимодействия движителей машин с грунтами (обзор) // Resources and Technology. 2020. Vol. 17, no. 4. P. 15–64.
- Хитров Е.Г., Просужих А.А., Рудов С.Е., Куницкая О.А., Григорьев И.В. Исследование взаимосвязей свойств почвогрунтов как опорных поверхностей движения лесных машин // Resources and Technology. 2020. Vol. 17, no. 2. P. 45–79.
- Хитров Е.Г., Андронов А.В., Егорин А.А., Петросян С.С. Мультифакторная классификация современных форвардеров // Свидетельство о регистрации базы данных 2021623079, 21.12.2021. Заявка № 2021623059 от 14.12.2021.
- Хитров Е.Г., Андронов А.В., Егорин А.А., Петросян С.С. Мультифакторная классификация современных харвестеров // Свидетельство о регистрации базы данных 2021623080, 21.12.2021. Заявка № 2021623058 от 14.12.2021.
- Хитров Е.Г., Андронов А.В., Хахина А.М., Григорьев Г.В. Комплексная оценка показателей взаимодействия движителей машин с лесными грунтами на базе методов теории движения транспорта в условиях бездорожья // Resources and Technology. 2021. Vol. 18, no. 1. P. 1–52.



*Grigorev I., Ivanov V., Gasparian G., Nikiforova A., Khitrov E.* Softwood harvesting and processing problem in Russian Federation // 14th INTERNATIONAL MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC GEOCONFERENCE SGEM 2014. Sofia, 2014. С. 443–446.

*Khitrov E., Ivanov V., Stepanishcheva M., Kochnev A.* Linking the deformation moduli and cone indices of forest and peatland soils // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. Conference proceedings. 2018. С. 297–304.

*Khitrov E.G., Andronov A.V.* Bearing floatation of forest machines (theoretical calculation) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 108, Development, Research, Certification. Сер. «108th International Scientific and Technical Conference of the Association of Automotive Engineers "Intelligent Car Systems: Development, Research, Certification». 2019. С. 012020.

*Khitrov E.G., Andronov A.V., Martynov B.G., Spiridonov S.V.* Interrelations of various soil types mechanical properties // Journal of Physics: Conference Series. 2019. С. 012032.

Tigercat company official website: <https://www.tigercat.com/products/skidders/> (дата обращения: 25.02.2022).

Weiler company official website: <https://www.weilerforestry.com/equipment/wheel-skidders/s250> (дата обращения: 25.02.2022).

John Deere company official website: <https://www.deere.com/en/skidders/> (дата обращения: 25.02.2022).

## References

*Andronov A.V., Petrosian S.S., Egorin A.A., Iliushenko D.A., Khitrov E.G.* Klassifikatsiia forvarderov s ispolzovaniem klasterizatsii dannykh ob ikh ekspluatatsionnykh kharakteristikakh [Classification of forwarders using clustering of data on their operational characteristics]. *Resources and Technology*, 2021, vol. 18, no. 4, pp. 1–16. (In Russ.)

*Burmistrova O.N., Prosuzhikh A.A., Khitrov E.G., Kunitskaia O.A., Luneva E.N.* Teoreticheskie issledovaniia proizvoditelnosti forvarderov pri ogranicheniakh vozdeistviia na pochvogrunt [Theoretical studies of the performance of forwarders with limited impact on soils]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal*, 2021, no. 3 (381), pp. 101–116. (In Russ.)

*Egorin A.A., Petrosian S.S., Andronov A.V., Khitrov E.G., Stepanishcheva M.V.* Analiz ekspluatatsionnykh kharakteristik sovremennykh kharvesterov [Analysis of the performance characteristics of modern harvesters]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2021, no. 4 (52), pp. 127–131. (In Russ.)

*Kochegarov V.G., Bit Iu.A., Menshikov V.N.* Tekhnologiia i mashini lesosechnykh работ [Technology and machines of logging operations]. М.: Lesnaia promyshlennost, 1990. 387 p. (In Russ.)

*Khitrov E.G., Khakhina A.M., Lukhminskii V.A., Kazakov D.P.* Issledovanie svyazi konusnogo indeksa i modulia deformatsii razlichnykh tipov gruntov [Investigation of the relationship between the cone index and the modulus of

deformation of various types of soils]. *Resources and Technology*, 2017, vol. 14, no. 4., pp. 1–16. (In Russ.)

*Khitrov E.G., Kotenev E.V., Andronov A.V., Taradin G.S., Bozhbov V.E.* Teoreticheskii raschet nesushchei sposobnosti sviaznogo grunta po konusnomu indeksu i mekhanicheskim svoistvam [Theoretical calculation of the bearing capacity of cohesive soil from the cone index and mechanical properties]. *Izvestiia Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, 2019, iss. 226, pp. 111–123. (In Russ.)

*Khitrov E.G., Andronov A.V., Iliushenko D.A.* Kharakteristiki sovremennykh lesozagotovitelnykh mashin (v2.0) [Characteristics of modern forest machines (v2.0)] // Database registration certificate 2020620805, 19.05.2020. Application No. 2020620541 dated 26.03.2020. (In Russ.)

*Khitrov E.G., Kotenev E.V., Andronov A.V., Chzhan S.A., Nikiforova V.A.* Issledovanie ekologichnosti i voprosy sertifikatsii dvizhitelei lesnykh mashin [Research of environmental friendliness and issues of certification of movers of forest machines]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2020, no. 2 (46), pp. 100–105. (In Russ.)

*Khitrov E.G., Andronov A.V., Khakhina A.M., Grigorev G.V.* Matematicheskie modeli vzaimodeistviia dvizhitelei mashin s gruntami (obzor) [Mathematical models of the interaction of machine propulsors with soils (review)]. *Resources and Technology*, 2020, vol. 17, no. 4, pp. 15–64. (In Russ.)

*Khitrov E.G., Proszhikh A.A., Rudov S.E., Kunitskaia O.A., Grigorev I.V.* Issledovanie vzaimosviazei svoistv pochvogruntov kak opornykh poverkhnostei dvizheniia lesnykh mashin [Study of the relationship between the properties of soils as supporting surfaces for the movement of forest machines]. *Resources and Technology*, 2020, vol. 17, no. 2, pp. 45–79. (In Russ.)

*Khitrov E.G., Andronov A.V., Egorin A.A., Petrosian S.S.* Multifaktornaia klassifikatsiia sovremennykh forvarderov [Multifactor classification of modern forwarders]. Database registration certificate 2021623079, 12/21/2021. Application No. 2021623059 dated 12/14/2021. (In Russ.)

*Khitrov E.G., Andronov A.V., Egorin A.A., Petrosian S.S.* Multifaktornaia klassifikatsiia sovremennykh kharvesterov [Multifactor classification of modern harvesters]. Database registration certificate 2021623080, 12/21/2021. Application No. 2021623058 dated 12/14/2021. (In Russ.)

*Khitrov E.G., Andronov A.V., Khakhina A.M., Grigorev G.V.* Kompleksnaia otsenka pokazatelei vzaimodeistviia dvizhitelei mashin s lesnymi gruntami na baze metodov teorii dvizheniia transporta v usloviakh bezdorozhia [Comprehensive assessment of indicators of the interaction of machine propulsors with forest soils based on the methods of the theory of traffic in off-road conditions]. *Resources and Technology*, 2021, vol. 18, no. 1, pp. 1–52. (In Russ.)

*Grigorev I., Ivanov V., Gasparian G., Nikiforova A., Khitrov E.* Softwood harvesting and processing problem in Russian Federation. *14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 2014. Sofia, 2014, pp. 443–446.

*Khitrov E., Ivanov V., Stepanishcheva M., Kochnev A.* Linking the deformation moduli and cone indices of forest and peatland soils [Linking the deformation moduli and

cone indices of forest and peatland soils]. *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018*. Conference proceedings. 2018. pp. 297-304. (In Russ.)

*Khitrov E.G., Andronov A.V.* Bearing floatation of forest machines (theoretical calculation). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 108, Development, Research, Certification. Ser. «108th International Scientific and Technical Conference of the Association of Automotive Engineers “Intelligent Car Systems: Development, Research, Certification”»*, 2019. 012020.

*Khitrov E.G., Andronov A.V., Martynov B.G., Spiridonov S.V.* Interrelations of various soil types mechanical properties. *Journal of Physics: Conference Seriepp.* 2019. 012032.

Tigercat company official website: <https://www.tigercat.com/products/skidders/> (date of access: 25.02.2022]

Weiler company official website: <https://www.weilerforestry.com/equipement/wheel-skidders/s250> (date of access: 25.02.2022).

John Deere company official website: <https://www.deere.com/en/skidders/> (date of access: 25.02.2022).

*Материал поступил в редакцию 28.02.2022*

---

**Петросян С.С., Ильюшенко Д.А., Барышникова Е.В., Хитров Е.Г.**

Оценка экологической совместимости колесных трелевочных тракторов с пачковым захватом с почвенно-грунтовыми условиями // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 238. С. 124–136.* DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.124-136

Тяжелые лесные машины нарушают структуру почвогрунта, по этой причине исследователи уделяют значительное внимание вопросам воздействия движителей лесных машин на поверхности движения. Глубина колеи, образующейся после первого прохода, является одним из самых информативных показателей воздействия машины на лесную экосистему. Вместе с тем известно сравнительно мало исследований, результаты которых раскрывают характер воздействия движителей колесных тракторов с пачковым захватом на почвогрунт. Для дальнейшего совершенствования процесса трелевки древесины колесными тракторами с пачковым захватом необходимы разработки, позволяющие проводить оценку их экологической совместимости с почвенно-грунтовыми условиями. В данном исследовании использованы сведения об эксплуатационных характеристиках скиддеров Tigercat, John Deere, Weiler, полученные с официальных сайтов производителей. Оценка глубина колеи выполнена с использованием положений механики грунтов и теории движения автомобильного транспорта в условиях бездорожья. Математическая модель образования колеи реализована численно. При обработке результатов моделирования использованы методы аппроксимации данных. В результате получены зависимости, позволяющие на практике оценить экологическую совместимость скиддера с почвенно-грунтовыми условиями. При этом характеристиками машины являются: масса, число колес,

ширина и диаметр колеса, давление в шине, площадь сечения захвата. Грунт характеризуется несущей способностью либо конусным индексом. Модели учитывают средний объем хлыста в трелемой пачке лесоматериалов. По полученным уравнениям возможно решение обратной задачи: обоснование допустимой массы машины и площади сечения захвата с учетом характеристик движителя и почвенно-грунтовых условий.

Ключевые слова: масса трактора, площадь сечения захвата, среднее и номинальное давление движителя на грунт, глубина колеи, несущая способность почвогрунта, конусный индекс почвогрунта.

**Petrosian S.S., Piushenko D.A., Baryshnikova E.V., Khitrov E.G.** Evaluation of ecological compatibility of wheeled skidders with forest soil. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoy Akademii*, 2022, iss. 238, pp. 124–136 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.124-136

Heavy forest machines disrupt the forest soil structure, for this reason, researchers pay considerable attention to the impact of forest machines on the movement surface. The rut depth after the first pass of the machine is one of the most informative indicators of the ecological impact. At the same time, relatively few studies are known, the results of which reveal the impact of wheeled skidders on the soil. To improve the process of skidding, further developments are needed to assess skidders environmental compatibility with forest soil conditions, which is the subject of our work. When performing the work, information about performance characteristics of skidders Tigercat, John Deere, Weiler, obtained from the official websites of manufacturers, was used. The rut depth was estimated using the principles of soil mechanics and the theory of off-the-road locomotion. The mathematical model of rut formation is implemented numerically. When processing the simulation results, data approximation methods were used. As a result of the study, models were obtained that allow in practice to assess the ecological compatibility of the skidder with forest soil conditions. The models use following characteristics of the machine: weight, number of wheels, width and diameter of the wheel, tire pressure, grapple opening area. The soil is characterized by its' bearing capacity or cone index. The models take into account the average volume of a tree skidded in the bundle. According to the obtained models, it is possible to solve an inverse problem: justification of the permissible mass of the machine and the grapple opening area, taking into account the characteristics of the mover and the soil conditions.

Key words: tractor mass, grapple opening area, average and nominal ground pressure, rut depth, soil bearing capacity, soil cone index.

---

**ПЕТРОСЯН Сергей Суменович** – соискатель кафедры технологии лесозаготовительных производств Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5493-1092>.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: petrosyan1974@yandex.ru

**PETROSYAN Sergei S.** – applicant of the Department of Logging Technology of St.Petersburg State Forest Technical University. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5493-1092>.

194021. Institutskii per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: [petrosyan1974@yandex.ru](mailto:petrosyan1974@yandex.ru)

**ИЛЮШЕНКО Дмитрий Александрович** – доцент кафедры технологии лесозаготовительных производств Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7758-5110>.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: [yegorkhitrov@gmail.com](mailto:yegorkhitrov@gmail.com)

**ILIUSHENKO Dmitrii A.** – PhD (Technical), associate professor of the Department of Logging Technology of St.Petersburg State Forest Technical University. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7758-5110>.

194021. Institutskii per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: [dilium@yandex.ru](mailto:dilium@yandex.ru)

**БАРЫШНИКОВА Елена Вячеславовна** – доцент кафедры водоснабжения и использования водных ресурсов Новочеркасского инженерно-мелиоративного института Донского государственного аграрного университета, кандидат технических наук. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1463-1319>.

346428, Пушкинская ул., д. 111, г. Новочеркасск, Ростовская область, Россия. E-mail: [barsoft@mail.ru](mailto:barsoft@mail.ru)

**BARYSHNIKOVA Elena V.** – PhD (Technical), associate professor of the Department of Water Supply and Use of Water Resources of the Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute of the Don State Agrarian University. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1463-1319>.

346428. Pushkinskaya str. 111. Novocherkassk. Rostov region. Russia. E-mail: [barsoft@mail.ru](mailto:barsoft@mail.ru)

**ХИТРОВ Егор Германович** – профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4569-9508>.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: [yegorkhitrov@gmail.com](mailto:yegorkhitrov@gmail.com)

**KHITROV Egor G.** – DSc (Technical), professor of the Department of Logging Technology of St.Petersburg State Forest Technical University. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4569-9508>.

194021. Institutskii per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: [yegorkhitrov@gmail.com](mailto:yegorkhitrov@gmail.com)