

УДК 630\*182.21

## Исследование модуля деформации лесной почвы в сосновых древостоях с учетом действия боковых корней

В.Е. Бобжов<sup>1а</sup>, А.В. [Калистратов<sup>1b</sup>](mailto:geo-lta@mail.ru), М.В. Степанищева<sup>2с</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер. 5, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия

<sup>а</sup>[geo-lta@mail.ru](mailto:geo-lta@mail.ru), <sup>б</sup>[vtl-lta@mail.ru](mailto:vtl-lta@mail.ru), <sup>с</sup>[ivanovva55@mail.ru](mailto:ivanovva55@mail.ru)

Статья получена 20.03.2014, принята 20.04.2014

*В статье представлены результаты лабораторных опытов по определению модуля деформации образцов лесного почвогрунта, пронизанного боковыми корнями сосны обыкновенной. Образцы для исследований получали методом режущего кольца из монолитов размером 10x10x20 см, взятых с лесопокрываемых участков Ленинградской области. Отбирали монолиты с различной влажностью в диапазоне от 10 до 50 %. Вначале определяли модуль деформации каждого образца почвы по стандартной методике ГОСТ, затем весовым методом определяли влажность образца, и далее – массу сухих корней в образце. После, по справочным данным о массе корней на гектаре лесопокрываемой площади, в зависимости от бонитета насаждений проводили оценку модуля деформации лесного почвогрунта. По результатам исследований определен доверительный интервал изменения модуля деформации почвогрунта с учетом действия корневой системы и предложено уравнение для приближенной оценки модуля деформации почвогрунта в одновозрастных полных насаждениях сосны различного бонитета (возраст 120 лет) в зависимости от его влажности.*

**Ключевые слова:** корневая система, модуль деформации, влажность.

## Study of the modulus of forest soil deformation for pine stands by taking the lateral roots influence into account

V.E. Bobzhov<sup>1а</sup>, A.V. Kalistratov<sup>1b</sup>, M.V. Stepanisheva<sup>2с</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg State Forestry Engineering University under name of S.M. Kirov, 5 Institutsky lane, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Bratsk State University, 40 Makarenko St., Bratsk, Russia

<sup>а</sup>[geo-lta@mail.ru](mailto:geo-lta@mail.ru), <sup>б</sup>[vtl-lta@mail.ru](mailto:vtl-lta@mail.ru), <sup>с</sup>[ivanovva55@mail.ru](mailto:ivanovva55@mail.ru)

Received 20.03.2014, accepted 20.4.2014

*The article presents the results of laboratory experiments to determine the modulus of deformation of samples of forest soils penetrated by lateral roots of Scots pine. The test samples were taken from monoliths and had sizes 10x10x20 cm, forest areas were Leningrad region. The monoliths were of various humidity, ranging from 10 to 50 %. Initially, deformation modulus of each soil sample has been determined by the standard method of All-Union State Standards, then moisture content has been determined gravimetrically and then the mass of dry roots in a sample has also been found. After that, by the reference data on the mass of roots per hectare of forest-covered area (depending on the site quality stands), the modulus of forest soil deformation has been evaluated. According to the research, changes of the confidence interval of the modulus of forest soil deformation have also been determined by taking the influence of the root system into account. Also an equation for an approximate estimate of the modulus of forest soil deformation in stands of pine for different site class (120 years old) depending on the humidity has been presented.*

**Keywords:** root system, modulus of deformation, humidity.

**Введение.** Ранее неоднократно отмечалось, что для дальнейшего развития и уточнения многих моделей взаимодействия лесных машин с почвогрунтами лесосек необходим учет армирующего действия корневой системы деревьев [1 – 3]. В настоящей статье приводятся зависимости, полученные на основании статистической обработки экспериментальных данных по определению модуля деформации образцов лесного почвогрунта с включениями боковых и придаточных корней сосны обыкновенной, отобранных с лесопокрываемых участков Ленинградской области. После обработки результатов опытов с использованием

полученной зависимости предложена формула для оценки модуля деформации почвогрунта с учетом армирующего действия корневой системы, полученная с использованием справочных данных [4] о массе корней на гектаре лесопокрываемой площади в сосновых древостоях в зависимости от бонитета насаждений.

**Материалы и методы.** Опыты по определению модуля деформации проводились по стандартной методике ГОСТ на образцах, полученных методом режущего кольца из монолитов почвогрунта 10x10x20 см, отобранных с лесопокрываемых участков с различным числом деревьев на

гектар. Влажность образцов почвогрунта определяли после проведения испытаний на модуль деформации, ее значение варьировалось в пределах от 10 до 50 %. Всего было исследовано 397 образцов почвогрунта. Масса сухих корней в исследованных образцах определялась после сепарации материала высушенных образцов и составляла от 7,77 до 46,25 г (образцы цилиндрической формы с диаметром 50 мм и высотой 50 мм). При оценке модуля деформации почвогрунта в зависимости от бонитета насаждений использованы статистические данные о массе корней на 1 га лесопокрытой площади, приведенные в справочнике [3].

**Результаты исследований.** В табл. 1 представлены результаты корреляционного анализа опытных данных.

Таблица 1

*Коэффициент корреляции свойств образцов при исследовании модуля деформации почвы в зависимости от влажности образца и массы сухих корней*

|     | $W$     | $m$    | $E$     |
|-----|---------|--------|---------|
| $W$ | –       | 0,0571 | –0,9044 |
| $m$ | 0,0571  | –      | 0,1204  |
| $E$ | –0,9044 | 0,1204 | –       |

В табл. 1 использованы обозначения:  $W$  – влажность образца,  $m$  – масса сухих корней в образце,  $E$  – модуль деформации образца.

Оценка значимости коэффициента корреляции

показала, что величина  $E$  [МПа] находится в зависимости с влажностью  $W$  [%] и массой корней  $m$  [г], при этом с увеличением влажности модуль деформации снижается (коэффициент корреляции отрицательный), а с увеличением массы корней – увеличивается (коэффициент корреляции положительный); это качественно подтверждает полученные ранее данные о влиянии корневой системы на деформативные свойства лесного почвогрунта.

Предварительные расчеты показали, что наилучшее согласование с опытными данными дает использование зависимости для модуля  $E$ , в общем виде выражаемой следующим уравнением:

$$E = a_0 m^{a_1} \exp(a_2 W). \quad (1)$$

В этом случае по результатам статистической обработки опытных данных при помощи метода наименьших квадратов связь модуля деформации с влажностью и массой сухих корней в образце почвогрунта можно представить в виде формулы:

$$E = 6,59 m^{0,24} \exp(-0,0629 \cdot W). \quad (2)$$

Зависимость (2) удовлетворительно согласуется с опытными данными, что подтверждается высоким значением коэффициента детерминации ( $R^2 = 0,961$ ), максимальное отклонение расчетных значений  $E$  по формуле (2) от опытных составляет 13 %.

Для более полного учета изменчивости свойств почвогрунта оценим доверительные интервалы для параметров, входящих в модель (1). Результаты оценки представлены в табл. 2.

Таблица 2

*Доверительные интервалы для параметров модели (1) ( $p = 95$  %)*

| Параметр | Значение | Стандартная ошибка | Доверительный интервал ( $p = 95$ %) |                 |
|----------|----------|--------------------|--------------------------------------|-----------------|
|          |          |                    | Нижняя граница                       | Верхняя граница |
| $a_0$    | 6,58772  | 0,261177           | 6,07425                              | 7,10118         |
| $a_1$    | 0,240398 | 0,0114132          | 0,21796                              | 0,262836        |
| $a_2$    | –0,06294 | 0,000813259        | –0,06454                             | –0,06134        |

Очевидно, что такой показатель, как масса корней в образце, неудобен для оценки деформативных свойств почвогрунта не столько ввиду того, что он варьируется в широком диапазоне даже в пределах одного участка. На наш взгляд, этот показатель не нагляден для практика.

С учетом того, что в качестве универсального показателя, характеризующего содержание фитомассы деревьев на участке, выступает бонитет насаждения, используем эту величину в дальнейших расчетах.

Обратимся к статистическим данным о массе корней, распределенных на 1 га лесопокрытой площади сосновых насаждений, представленным в табл. 3.

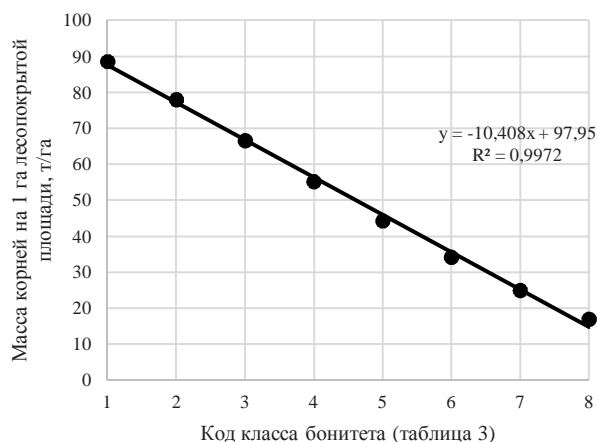
График на рис. 1, построенный с использованием данных табл. 3, подтверждает тесную связь массы корней на 1 га площади и класса бонитета леса, таким образом, этот показатель можно использовать при определении модуля деформации лесной почвы.

*Масса корней на 1 га лесопокрытой площади в зависимости от бонитета сосновых насаждений (однообразные полные сосновые насаждения, возраст 120 лет) [4]*

Таблица 3

| Класс бонитета | Код класса бонитета | Масса корней на 1 га площади, $m$ |
|----------------|---------------------|-----------------------------------|
| Ів             | 1                   | 88,6                              |
| Іа             | 2                   | 78                                |
| І              | 3                   | 66,6                              |
| ІІ             | 4                   | 55,2                              |
| ІІІ            | 5                   | 44,3                              |
| ІV             | 6                   | 34,2                              |
| V              | 7                   | 25                                |

|                |                     |  |
|----------------|---------------------|--|
| Класс бонитета | Код класса бонитета | Масса корней на 1 га площади, <i>m</i> |
| Va             | 8                   | 17                                     |



**Рис. 1.** Зависимость массы корней на 1 га лесопокрытой площади в зависимости от класса бонитета

Для перехода от массы корней в образце почвогрунта *m* [г] к массе корней на 1 га *q* [т/га] используем следующую формулу:

$$q = \frac{mH}{250h_{\text{ОБР}}d_{\text{ОБР}}^2} \approx \frac{m}{0,49}, \quad (3)$$

где *h*<sub>ОБР</sub> – высота образца почвогрунта, *d*<sub>ОБР</sub> – диаметр образца почвогрунта, *H* – средняя толщина слоя почвогрунта с корневой системой.

Тогда уравнение (2) можно записать относительно *q* в следующем виде:

$$E = 6,59(0,49q)^{0,24} \exp(-0,0629 \cdot W) = 5,55q^{0,24} \exp(-0,0629 \cdot W). \quad (4)$$

В итоге с использованием значений коэффициентов модели (1) на границах доверительных интервалов (табл. 2) и данных табл. 2, 3, по формуле (4) получим оценку модуля деформации лесной почвы в сосновых насаждениях в зависимости от их бонитета и влажности почвогрунта.

Отметим, что процентное отличие значений оценки модуля деформации по табл. 4 от значений оценки по формуле (4) составляет 14-27 %.

Считаем перспективными дальнейшие исследования влияния корневой системы древостоев других пород (например, ели), а также проверку точности полученной оценки сопоставлением с результатами полевых испытаний.

Таблица 4

Оценка модуля деформации почвогрунта в сосновых насаждениях (полные, одновозрастные, возраст 120 лет)

|         |      |
|---------|------|
| Бонитет | W, % |
|---------|------|

|     |                      |                     |                     |                     |                     |
|-----|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|     | 10                   | 20                  | 30                  | 40                  | 50                  |
| Ia  | <u>7,25</u><br>10,36 | <u>3,8</u><br>5,61  | <u>1,99</u><br>3,04 | <u>1,05</u><br>1,65 | <u>0,55</u><br>0,89 |
| Ib  | <u>7,05</u><br>10,02 | <u>3,7</u><br>5,43  | <u>1,94</u><br>2,94 | <u>1,02</u><br>1,59 | <u>0,53</u><br>0,86 |
| I   | <u>6,81</u><br>9,62  | <u>3,57</u><br>5,21 | <u>1,87</u><br>2,82 | <u>0,98</u><br>1,53 | <u>0,52</u><br>0,83 |
| II  | <u>6,54</u><br>9,15  | <u>3,43</u><br>4,96 | <u>1,8</u><br>2,68  | <u>0,94</u><br>1,45 | <u>0,49</u><br>0,79 |
| III | <u>6,23</u><br>8,64  | <u>3,27</u><br>4,68 | <u>1,71</u><br>2,53 | <u>0,9</u><br>1,37  | <u>0,47</u><br>0,74 |
| IV  | <u>5,89</u><br>8,07  | <u>3,09</u><br>4,37 | <u>1,62</u><br>2,37 | <u>0,85</u><br>1,28 | <u>0,45</u><br>0,69 |
| V   | <u>5,5</u><br>7,43   | <u>2,89</u><br>4,02 | <u>1,51</u><br>2,18 | <u>0,79</u><br>1,18 | <u>0,42</u><br>0,64 |
| Va  | <u>5,06</u><br>6,72  | <u>2,65</u><br>3,64 | <u>1,39</u><br>1,97 | <u>0,73</u><br>1,07 | <u>0,38</u><br>0,58 |

### Выводы

Значение модуля деформации лесного почвогрунта находится в зависимости от его влажности и массы корней в единице объема, при этом с увеличением влажности модуль деформации снижается (коэффициент корреляции отрицательный), а с увеличением массы корней – увеличивается (коэффициент корреляции положительный), табл. 1.

1. Удовлетворительное согласование с данными лабораторных опытов дает использование аппроксимирующей зависимости для модуля деформации в виде показательной функции, уравнение (1). При этом максимальное отклонение расчетных значений от опытных составляет 13 %, коэффициент детерминации  $R^2 = 0,961$ .

2. Для оценки значения модуля деформации почвогрунтов в сосновых одновозрастных древостоях (возраст 120 лет) в зависимости от массы корней на 1 га площади предлагается формула (4).

3. Следует учитывать, что доверительный интервал для оценки модуля деформации составляет 14-27 % (табл. 4).

4. Перспективой дальнейших исследований должна явиться проверка полученной оценки, например, сопоставлением с результатами полевых испытаний свойств почвогрунта.

### Литература:

1. Григорьев И.В., Шапиро В.Я., Рудов С.Е., Жукова А.И. Модель процесса циклического уплотнения грунта в полосах, прилегающих к трелевочному волоку // Вестн. КрасГАУ. 2010. № 2. С. 8-14.

2. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Лепилин Д.В., Жукова А.И. Моделирование уплотнения почвогрунта в боковых полосах трелевочного волока с учетом изменчивости трассы движения // Уч. записки Петрозавод. гос. ун-та. Сер. Естественные и технические науки. 2010. № 6. С. 61-64.

3. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Жукова А.И. Оценка процессов деформирования почвы при циклическом уплотнении // Изв. вузов. Лесной журн. 2008. № 4. С. 44-51.

4. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Нильссон С., Булуй Ю.И. Таблицы и модели роста и продуктивности основных лесообразующих пород. М.: Федер. агентство лесного хоз-ва, Междунар. ин-т прикладного системного анализа, 2008. 886 с.

### *References*

1. Grigorev I.V., Shapiro V.Ya., Rudov S.E., Zhukova A.I. Model of the process of technical compaction of ground in the zones near forest tracks // Vest. KrasGAU. 2010. № 2. P. 8-14.

2. Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Lepilin D.V., Zhukova A.I. Modelling of ground compaction in the lateral zone of a forest track by taking the trace change into account // Uch. zapiski Petrozavod. gos. un-ta. Ser. Estestvennye i tehicheskie nauki. 2010. № 6. P. 61-64.

3. Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Zhukova A.I. Assessment of the processes of ground deformation under cyclic compaction // Izv. vuzov. Lesnoj zhurn. 2008. № 4. P. 44-51.

4. Shvidenko A.Z., Shepashenko D.G., Nilsson S., Buluj Yu.I. Tables and models of growth and productivity of basic forest forming species. M.: Feder. agentstvo lesnogo hoz-va, Mezhdunar. in-t prikladnogo sistemnogo analiza, 2008. 886 p.

