

УДК 629.113

А.В. Папунин, В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков

О ВЛИЯНИИ ЛАНДШАФТА МЕСТНОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И НА ПРОХОДИМОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматривается подвижность транспортно-технологических машин по снегу. Даны математические зависимости для определения изменения глубины и плотности снежного покрова в течение зимы. Приведены значения эмпирических коэффициентов характерных для станции метеонаблюдения Нижегородской области «Семенов». Определены средние сроки лежания снега для этой станции, а также даны значения средних квадратичных отклонений. Определены основные факторы, влияющие на отклонение средних значений глубины снега и его плотности. Приведены средние значения и средние квадратичные отклонения коэффициентов учета ландшафта и растительности на примере поля, леса, поляны в лесу, ям и балок. Показано влияние преобладающих ветров на формирование снежного покрова. Исследования проведены при поддержке «грантов Президента РФ» № 14.124.13.1869-МК.

Ключевые слова: снег, плотность, высота, подвижность, транспортное средство, ландшафт.

Подвижность – это интегральное эксплуатационное свойство транспортно-технологических машин (ТТМ), определяющее её способность выполнять поставленную задачу с оптимальной адаптивностью к условиям эксплуатации и техническому состоянию самой машины, то есть возможность машины противостоять внешним и внутренним факторам, препятствующим выполнению поставленной задачи [1, 2].

Одной из составляющих подвижности является *проходимость*. При оценке проходимости по снегу определяющими факторами являются глубина и плотность снега, а также, как эти параметры меняются с течением снежного периода. В работах [3-9] дается достаточно подробное описание статистики распределения глубины и плотности снега в течение зимнего периода. Не маловажным является влияние особенностей ландшафта, растительности, господствующих ветров и прочих параметров. Например, в работе [10] говорится о том, что все это связано с многообразием факторов, таких как:

- абсолютная высота местности, удаленность от водоразделов и их ориентация по отношению к господствующим зимним ветрам;
- микро- и мезорельеф горного склона;
- ориентация и угол наклона земной поверхности;
- характер растительного покрова;
- видовой состав, возраст и полнота хвойных лесонасаждений;
- ветровой режим;
- интенсивность прямой и суммарной солнечной радиации;
- сумма и распределение по сезону твердых осадков; преобладание осенней или весенней циклонической деятельности;
- температура и влажность воздуха, суточный и сезонный ход этих показателей;
- температура снежной поверхности и толщи снега, их суточный и сезонный ход.

Взаимодействие и взаимовлияние этих факторов снегонакопления порождает зимние геосистемы со сложной структурой, обладающей пространственно-временной изменчивостью. Рассмотрим это на примере данных по станции метеонаблюдения «Семенов» Нижегородской области.

Средние значения глубины снежного покрова можно определить по зависимости

$$H = \sum_{i=0}^4 a_i t_{\text{усл}}^i, \text{ см,}$$

где a_i – эмпирические коэффициенты; $t_{\text{усл}}^i$ – текущая условная продолжительность зимнего сезона с установившимся снежным покровом в декадах ($t_{\text{усл}}^i = (0,15)$). ($a_0 \cdot 10^3 = 2784,15 \text{ см}$, $a_1 \cdot 10^3 = 12054,21 \frac{\text{см}}{\text{дек}}$, $a_2 \cdot 10^3 = -2010,93 \frac{\text{см}}{\text{дек}^2}$, $a_3 \cdot 10^3 = 204,38 \frac{\text{см}}{\text{дек}^3}$, $a_4 \cdot 10^3 = -7,76 \frac{\text{см}}{\text{дек}^4}$).

Зависимости для определения границ 5 и 95% вероятностей глубин снежного покрова определяется по формуле

$$H_{5(95)} = H \mp e^{0,5} \zeta \sigma_H,$$

где $\zeta = T_{\text{усл}}^{-1}(e - 2)t_{\text{усл}} + 1$ – эмпирический коэффициент; σ_H – среднее квадратичное отклонение для наблюдаемой территории (для станции метеонаблюдения «Семенов» $\sigma_H = 7,78 \text{ см}$); $T_{\text{усл}}$ – условная продолжительность зимнего сезона с установившимся снежным покровом ($T_{\text{усл}} = 15$).

Средние значения плотности снежного покрова определяются по зависимости

$$\rho = \sum_{i=0}^4 b_i t_{\text{усл}}^i,$$

где b_i – эмпирические коэффициенты. ($b_0 \cdot 10^3 = 13594,04 \frac{100\text{г}}{\text{см}^3}$, $b_1 \cdot 10^3 = 1960,2 \frac{100\text{г}}{\text{см}^3 \text{дек}}$, $b_2 \cdot 10^3 = -201,91 \frac{100\text{г}}{\text{см}^3 \text{дек}^2}$, $b_3 \cdot 10^3 = 9,89 \frac{100\text{г}}{\text{см}^3 \text{дек}^3}$, $b_4 \cdot 10^3 = 0$).

Зависимости для определения границ 5 и 95% вероятностей плотностей снежного покрова определяется по формуле

$$\rho_{5(95)} = \rho \mp e^{0,5} \sigma_\rho,$$

где σ_ρ – среднее квадратичное отклонение для рассматриваемой территории (для станции метеонаблюдения «Семенов» $\sigma_\rho = 3,41 \frac{100\text{г}}{\text{см}^3}$).

Для связи реальных сроков залегания установившегося снежного покрова и условных предложена зависимость

$$t_{\text{усл}} = \frac{T_{\text{усл}}(t - 1)}{T - 1} + 1,$$

где t – текущая декада; T – число декад продолжительности залегания снежного покрова.

Также необходимо знать сроки начала установившегося снежного покрова. На основе анализа данных получаем, что датой начала T_H и окончания T_K установившегося снежного покрова для станции метеонаблюдения «Семенов» являются первая декада ноября и первая декада апреля со средними квадратичными отклонениями порядка $\sigma_{T_H} = 0,37 \text{ дек}$ и $\sigma_{T_K} = 0,22 \text{ дек}$. В соответствии с этими данными можно сказать, что средние сроки установившегося снежного покрова составляют порядка 16 декад, а 90% всех продолжительностей составляет 15-17 декад.

Для адекватности модели необходимо добавить соответствующие коэффициенты, учитывающие районирование местности [9]:

$$H_{\text{действ}} = H k_H^{\text{местн}}, \quad \rho_{\text{действ}} = \rho k_\rho^{\text{местн}},$$

где $H_{\text{действ}}$ и $\rho_{\text{действ}}$ – глубина и плотность снега с учетом особенностей ландшафта; $k_H^{\text{местн}}$, $k_\rho^{\text{местн}}$ – коэффициенты, учитывающие влияние ландшафта на глубину и плотность снега, полученные на основании экспериментальных данных.

На основании исследований, проведенных авторами работы, можно выделить некоторые характерные участки, на которых формирование снега происходит с учетом предложенных зависимостей и поправочных коэффициентов.

Таблица 3

Коэффициенты, учитывающие влияние ландшафта на глубину и плотность снега

Сравниваемые участки	$K_H^{\text{местн}}$	СКО*	$K_p^{\text{местн}}$	СКО
поле/ поле	1	-	1	-
поляна в лесу/ поле	1,1	0,125	0,9	0,15
лес/ поле	1,4 (1,85)**	0,3 (0,2)**	0,85	0,13
Ямы (балки)/поле (лес)***	1,4	0,2	1	-

* Среднее квадратичное отклонение.

** Значение в скобках получено также для леса, но, очевидно, имелись другие весомые факторы (данные о ветрах), повлиявшие на результат.

*** Если ямы и балки в поле, то относительно поля. Если ямы и балки в лесу, то относительно леса. Плотность аналогична полю или лесу.

Приведенный в статье анализ и значения позволяют прогнозировать основные характеристики снежного покрова, необходимые для оценки подвижности [1, 2] и проходимости транспортно-технологических средств на местности.

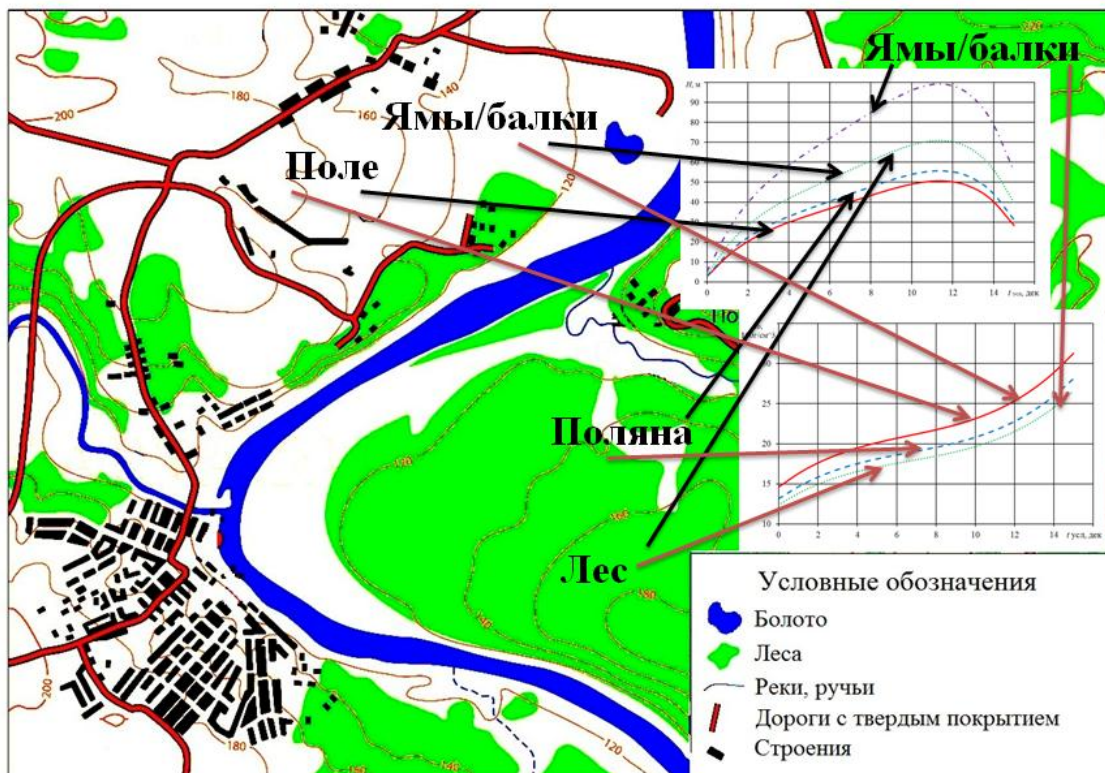


Рис. 1. Характерный участок с разными типами ландшафта, с примерами изменения глубины и плотности на поле, поляне, в лесу и оврагах

Как показали исследования из работ [11], а также проведенные авторами работы, важным является влияние направления господствующих ветров и позиционирования склонов естественных неровностей. По этой же причине, по мнению авторов статьи, идет такая градация высот снега в работе [11], в которой приводятся данные о влиянии ландшафта на глубину залегания снежного покрова. Например, на открытой ледяной поверхности озер высота снега в два раза меньше, а на руслах рек и зарослях камыша может быть в три раза больше, чем на открытой поверхности поля.

При движении машин по снегу одними из сложных участков являются переходы от участков леса к полю, так как в них скапливаются большие массивы снега. Хотя, как правило, с противоположной стороны лесополосы наблюдается иная картина. Там можно легко проехать. Это вызвано именно движением ветра и переносом снежных масс. Схема формирования снежного покрова показана на рис. 2.

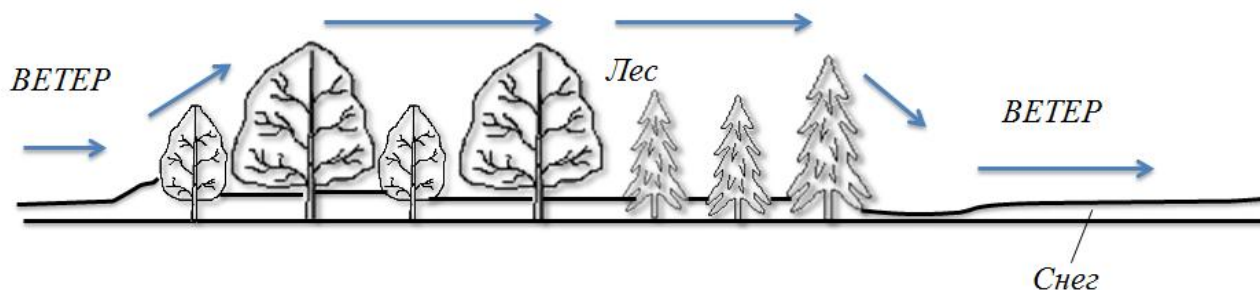


Рис. 2. Принципиальная схема формирования снежного покрова на характерных участках

В зимний период 2013–2014 гг. были проведены замеры глубин снега на характерных участках. Отметим что, для составления полноценной статистики и правильных выводов замеров, проведенных в течение одного сезона, не достаточно. Однако уже на этом этапе можно сделать выводы о правомерности предлагаемой теории.

Исследования показали значительный разброс полученных значений, а также то, что со стороны наноса снега его высота больше чем на открытых участках в 1-3 раза, а на противоположных участках высота снега до двух раз меньше, чем на открытых. Были получены данные, отличные от предлагаемой теории и дополняющие ее. Наблюдается некоторая тенденция зависимости разницы высот снега на характерных участках от средней высоты на открытых участках.

Исследования проведены при поддержке «Грантов Президента РФ» № 14.124.13.1869-МК.

Библиографический список

1. **Беляков, В.В.** Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №3. С. 145–174.
2. **Беляков, В.В.** Подвижность наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №4. С. 72–77.
3. **Макаров, В.С.** Статистический анализ характеристик снежного покрова // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1; URL: <http://www.science-education.ru/107-8289>.
4. **Макаров, В.С.** Оценка эффективности движения колесных машин на основании статистических характеристик снежного покрова / В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №1. С. 150–158.
5. **Макаров, В.С.** Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течение зимнего периода / В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №2. С. 155–160.
6. **Макаров, В.С.** Характер изменения снежного покрова как полотна пути с учетом неравномерности его залегания на местности/ В.С. Макаров [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4; URL: <http://www.science-education.ru/110-9696>.
7. **Макаров, В.С.** Многоуровневая модель снега как полотна пути для транспортно-технологических машин на примере территории Российской Федерации / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Фундаментальные исследования. 2013. № 10. С. 270–276.
8. **Беляков, В.В.** К вопросу выбора экспериментальных данных для составления статистических моделей снежного покрова как полотна пути для транспортно-технологических машин/ В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014. №1. С. 136–141.

9. **Макаров, В.С.** Анализ влияния местности на параметры снежного покрова / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований 2014, №8. С. 21–25.
10. **Макаров, В.С.** Снег как полотно пути для транспортных средств / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований 2014. №4. С. 21–24.
11. **Малюгин, Ю. Ф.** Факторы формирования снежного покрова в районах со сложной орографией (на примере Южного Сихотэ-Алиня): дисс.... канд. географических наук : 11.00.07. – М., 1985. – 168 с.
12. Снег: справочник: [пер. с англ. под ред. В.М. Котлякова] / под ред. Д. М. Грея, Д. Х. Мэйла. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 751 с.
13. **Кузьмин, П.П.** Формирование снежного покрова и методы определения снеготпасов / П.П. Кузьмин. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 169 с.

*Дата поступления
в редакцию 09.10.2014*

A.V. Papunin, V.S. Makarov, D.V. Zezyulin, V.V. Belyakov

ABOUT INFLUENCE OF TOPOGRAPHY ON CHARACTERISTICS OF SNOW COVER AND VEHICLES TRAFFICABILITY

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The article considers mobility of transport and technological machines in the snow. Mathematical dependences to determine the changes in the depth and density of the snow cover during the winter are given. The values of the empirical coefficients specific to meteorological station «Semenov» of Nizhny Novgorod region are given. The average time for snow occurrence and values of the mean square deviation are determined. The main factors affecting the deviation of the mean values of snow depth and density are determined. The average values and mean square deviations of the coefficients of accounting landscape and vegetation on the example of the fields, forests, meadows and woods in the pits and gullies are given. The average values and mean square deviations of the coefficients of accounting landscape and vegetation on the example of the fields, forests, meadows and woods in the pits and gullies are given. The influence of the prevailing winds on the formation of snow cover is shown. The Investigations were carried out with the support of «The grants of the President of the Russian Federation» № 14.124.13.1869-MK.

Key words: snow, density, height, mobility, vehicle, landscape.