

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА СКОРОСТЬ ВЕТРА

Млявая Галина Владимировна

Институт экологии и географии Академии наук Молдовы

Referat

În acest articol prezentăm o analiză a influenței reliefului și rugozității suprafeței terestre asupra parametrilor vitezei vântului. Se propune un șir de relații cu ajutorul cărora se poate determina profilul vertical al vântului în funcție de densitatea covorului de vegetație.

Cuvinte cheie: viteza vântului, rugozitatea reliefului, suprafață subiacentă, covor de vegetație.

Depus la redacție 02 aprilie 2014

Adresa pentru corespondență: Mleavaia Galina, Institutul de Ecologie și Geografie al Academiei de Științe a Moldovei, str. Academiei, 1, MD-2028 Chișinău, Republica Moldova; E-mail: galinamleavaia@yahoo.com; tel.: (+373 22) 73 96 18

Введение

Компоненты земной поверхности, осуществляющие тепло- и влагообмен с атмосферой и оказывающие влияние на ее состояние, представляют собой подстилающую поверхность. Климат в большой степени зависит от характера подстилающей поверхности. Ее свойства определяют циркуляцию атмосферы, как на глобальном, так и на региональном уровнях. Например: лес уменьшает суточную амплитуду температуры почвы, а значит, окружающего воздуха; снег уменьшает потери тепла почвой за счет высокой отражательной способности; ветер, как один из главных климатообразующих факторов, оказывает влияние на погоду, участвует в создании мезоклимата.

Материалы и методы

Важным аспектом исследования характеристик ветра является изучение свойств подстилающей поверхности, влияющих на аэродинамическую структуру воздушного потока. В качестве предмета исследования была выбрана скорость ветра и ее зависимость от неоднородности рельефа. В данной статье, на основе проведенного анализа существующих методов определения профиля ветра, представлен ряд формул, с помощью которых определяются значения скорости ветра у земной поверхности в зависимости от плотности элементов покрова и шероховатости. Приводится обобщенная классификация неровностей рельефа и соответствующие ей размеры шероховатости.

Результаты и обсуждение

В низких слоях атмосферы основными факторами, воздействующими на неравномерное распределение скорости ветра, являются неоднородный рельеф, тип почвы, растительность и строения.

Существуют следующие основные показатели влияния топографии на параметры ветра в местах их измерения:

- рельеф окружающей территории;
- шероховатость подстилающей поверхности;
- эффекты экранирования (затенения) зданиями и сооружениями.

Основным динамическим параметром подстилающей поверхности, является ее шероховатость (Z_0). Коэффициент шероховатости Z_0 характеризует степень расчлененности местности непосредственно вблизи пункта измерений. Фактически Z_0 – это высота, на которой скорость ветра становится равной 0, если профиль скорости имеет логарифмический характер изменения. Элемент шероховатости характеризуется высотой h и поперечным сечением S . Для элементов шероховатости, распределенных более или менее равномерно по площади, вводится дополнительный параметр - площадь A_h , приходящаяся на один элемент. Тогда Z_0 описывается следующим соотношением:

$$Z_0 = 0,5 \times (h \times S / A_h) \quad (1)$$

Это соотношение справедливо при $A_h \leq S$. При сравнимых величинах A_h и S соотношение дает завышенные значения Z_0 вследствие того, что воздушный поток как бы приподнимается над близлежащими элементами шероховатости [12].

Ниже уровня шероховатости среднее поступательное движение потока воздуха отсутствует, так как он подвергается воздействию сил давления, возникающих около элементов шероховатости. Над слоем шероховатости могут присутствовать слои “проницаемой шероховатости” различной высоты h_p , которые содержат случайно или закономерно распределённые препятствия, оказывающие сопротивление потоку воздуха. К слоям проницаемой шероховатости в основном относят различные растительные сообщества (фитоценоз) или их совокупность – растительный покров (РП), а также слои техногенного происхождения. При движении воздуха в слое проницаемой шероховатости сила, действующая на единицу площади элементов РП, определяется касательным напряжением трения τ , пропорциональным квадрату скорости u^2 . Следовательно, увеличение плотности препятствий увеличивает и сопротивление потоку, т.е. ведет к заметному уменьшению средней скорости ветра по сравнению со слоями, не содержащими препятствий [3, 5].

В слое постоянных потоков, т.е. выше РП профили скорости ветра описываются логарифмическим распределением. В случае отсутствия слоя растительности на земной поверхности, когда плотность растительного покрова $\bar{S}=0$, слой динамической шероховатости растительного покрова $Z_{0pn}=0$ и смешанный слой r , примыкающий к почве равен уровню шероховатости почвы Z_0 ($r = Z_0$), профиль скорости ветра имеет вид:

$$\frac{\bar{u}\{z \leq z_r\}}{\bar{u}\{z \geq z_r\}} = \frac{\ln(z / z_0)}{\ln(z_r / z_0)} \quad (2),$$

где z – высота измерения скорости ветра (от поверхности почвы), z_r – уровень высоты измерения скорости ветра.

Вертикальный профиль скорости ветра в растительном покрове подчиняется экспоненциальному распределению. При условии $r < Z > h_{pn}$, скорость ветра определяется отношением:

$$\frac{\bar{u}\{z \leq h_{pn}\}}{\bar{u}\{z \geq h_{pn}\}} = \frac{\ln(z / r)}{\ln(\bar{h}_{pn} / r)} * \Phi_u \quad (3),$$

где Z – высота от поверхности почвы, h_{pn} – высота растительности, \bar{h}_{pn} – средняя высота растительности, Φ_u – экспоненциальная функция, зависящая от плотности и глубины слоя растительного покрова.

С помощью Φ_u можно оценить потери энергии ветра за счет торможения:

$$\Phi_u = \exp\left[-\frac{\bar{S}(h_{pn} - Z)}{h_{pn}}\right] = \exp\left[-S'(\bar{h}_{pn} - Z)\right] \quad (4),$$

где \bar{S} - плотность растительного покрова, S^1 - плотность растительной массы [10].

Согласно литературным источникам [6, 8, 9,], шероховатость Z_0 зависит от площади поверхности с растительным покровом (табл. 1).

Таблица 1. Шероховатость подстилающей поверхности с растительным покровом.

Тип поверхности; u-скорость ветра, м/с	Шероховатость подстилающей поверхности Z_0 , см	Относительная площадь растительного покрова (листовой индекс LAI=A)
Скошенная трава высота до 3см	0,7	A=3
Равнина, редкая трава ≤ 10 см	0,65	1,5
Скошенная трава высота 4,5см при $u=6-8$ м/с	1,7	7
Степь с невысокой густой травой до 5см	2,5	6
Полупустыня с отдельными кустарниками до 30см	3,5	1,5
Высокая трава высотой 60см при $1,5 \leq u \leq 6$ м/с	3,7-9,0	$2 < A < 6$
Равнина с редкой травой высотой ≤ 60 см	5,0	1,5
Равнина с густой травой высотой ≤ 60 см	9,5	6
Кукуруза высотой 2-2,5м	25-50	$2 < A < 5$
Лиственные леса высотой 10-15м	100-200	$3 < A < 10$

Когда растительный покров отсутствует LAI=0, профиль ветра определяется только шероховатостью $Z_0=0,02$ см. В слое растительности скорость ветра быстро затухает. В плотных растительных сообществах, например, когда LAI ≥ 5 движение воздуха практически отсутствует. Например, если растительный покров высотой $3 \text{ см} \leq h_{\text{pn}} \leq 60 \text{ см}$ имеет листовой индекс $1,5 \leq \bar{S} \leq 7$, то уровень шероховатости будет находиться в пределах $0,5 \text{ см} \leq Z_{0\text{pn}} \leq 9 \text{ см}$. Над верхней границей растительного покрова, где отсутствуют какие-либо препятствия, функция $\Phi_u(S', \bar{h}_{\text{pn}}, Z) = 1$ и $Z > h_{\text{pn}}$, вертикальное распределение скорости ветра возвращается к логарифмическому распределению:

$$\frac{\bar{u}}{\bar{u}} \left\{ \begin{matrix} z \leq h_{\text{pn}} \\ z \geq h_{\text{pn}} \end{matrix} \right\} = \frac{\ln(z/r)}{\ln(\bar{h}_{\text{pn}}/r)} \quad (5),$$

На рис.1. показаны типичные профили ветра в слоях проницаемой шероховатости.

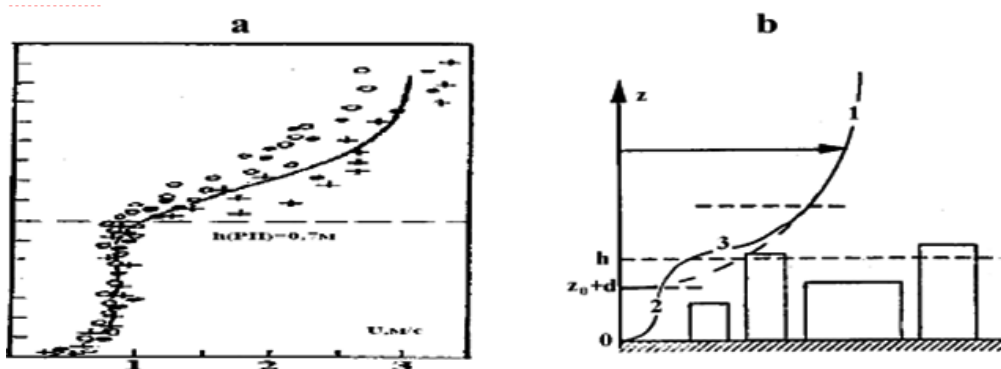


Рис. 1. Профили скорости ветра: а) в посеве кукурузы высотой 0,7 м [4]; б) в городской застройке [1].

Как правило, скорость невозмущенного ветрового потока на достаточно большой высоте, где исключено влияние поверхностного трения, значительно больше, чем у поверхности или на стандартной высоте расположения анемометра, где обычно измеряется скорость ветра. Так на высоте около 1 км рельеф практически не влияет на скорость ветра.

Скорость ветра в значительной степени снижается из-за неоднородности рельефа. Влияние на скорость ветра орографических элементов, находящихся на открытом ландшафте, заключается в том, что у их вершины ветер ускоряется, а у подножья и в долинах замедляется. Имеющиеся препятствия специалисты оценивают, используя классификацию неровности рельефа [2, 7, 11], (табл.2).

Более высокий класс неровности рельефа означает большее количество препятствий на поверхности и, соответственно, большее замедляющее влияние на скорость ветра. Пример классификации территорий по классу шероховатости можно увидеть на рис.2 а и б.

Таблица 2. Классификация неровностей поверхности и рельефа.

№	Вид поверхности	Класс неровности рельефа К	Размер шероховатости Z_0
1.	Водная поверхность (море, озеро) Снежная поверхность	0	0,02см 0,05-0,1см
2.	Полностью открытый рельеф с гладкой поверхностью (взлетные полосы, ровные поля, скошенная трава)	0,5	0,24-0,5см
3.	Открытые области с небольшими лесозащитными полосами (равнины или небольшие холмы, пашня, травяные поля). Могут быть небольшие фермерские постройки, отдельно стоящие деревья или кустарники.	1	1-3см
4.	Ровная, слегка холмистая местность, сельскохозяйственные угодья (поле с высокой растительностью, пшеничное поле) с несколькими зданиями и навесами высотой до 8м, расположенными друг от друга на расстоянии около 1250м	1,5	5см

5.	Ровная или слегка холмистая территория, хозяйственные земли с разбросанными областями построек и небольшими лесозащитными полосами, среднее расстояние между которыми составляет 1000м.	2	10см
6.	Сельскохозяйственные угодья с большим количеством зданий или навесами высотой до 8 м, с деревьями, кустарниками, расположенными друг от друга на расстоянии около 250 м;	2,5	20-25см
7.	Территории с очень неровным рельефом, городские застройки, леса или сельскохозяйственные земли с многочисленными близкорасположенными лесозащитными полосами, среднее расстояние между которыми составляет несколько сотен метров. Болота с растительностью	3	40см 60 см
8.	Города с высокими зданиями	3,5	80-150см
9.	Большие города, мегаполисы с высокими зданиями и небоскребами	4	160-200см



Рис. 2а. Равнины, небольшие холмы (открытые области с небольшими лесозащитными полосами). Класс шероховатости 1, размер шероховатости $Z_0=0,03$ м. Источник <http://www.gfxstuff.ws/>.



Рис. 2б. Ровная, слегка холмистая территория с деревьями и постройками (хозяйственные земли с небольшими лесополосами, расстояние между которыми 1000м). Класс шероховатости 2, размер шероховатости $Z_0=0,10$ м. Источник <http://www.gfxstuff.ws/>

Скорость ветра в значительной степени замедляется из-за лесов и больших городов, в то время как водные пространства или, к примеру, территории аэропортов почти не оказывают замедляющего эффекта на скорость ветра.

Выводы

Исследование закономерностей изменения скорости ветра в зависимости от рельефа, типа местности и шероховатости подстилающей поверхности является необходимым при рассмотрении процессов, происходящих в системе «атмосфера-почва-растительность». Степень шероховатости зависит от вида поверхности и класса неровности рельефа. Уравнения для профиля ветра могут использоваться в прикладных целях при расчете рассеяния вредных веществ в атмосфере, при проведении противодиффузионных мероприятий, а также при расчете ветроэнергетического потенциала в конкретном месте.

Библиография

1. *Baldocchi D.* Biometeorology. Wind Turbulence. Canopy Air Space: Observation and Principles. - Berkley: University of California, 2008, 220 p.
2. *Britter R., Hanna S.* Flow and Dispersion in Urban Areas. - //Annual Review of Fluid Mechanics, 2003, V. 35, p. 469-496.
3. *Brutsaert W.* Evaporation into the Atmosphere. Theory, History and Applications. - D. Reidel Publ. Co, 1982, 320 p.
4. *Finnigan J.* Turbulens in Plant Canopies. - //Annual Review of Fluid Mechanics, 2000, V.32, p.519-571.
5. *Raupach M.* Canopy transport processes. - Flow and Transport in the Natural Environment: ed. W.L. Steffen and O.T., 1988, 220 p.
6. *Wieringa J.* Estimation of mesoscale and local-scale roughness for atmospheric transport modeling. -//Air.Pollut.modelandAppl. 1.Proc. 11th Int. Techn.Meet.Amsterdam, 1980,p.279-295.
7. *Дербенцева А.М.* Эрозия и охрана почв. – Владивосток: Изд-во Дальневосточного Университета, 2006, 85 с.
8. *Дубов А.С., Быкова Л.П., Марунич С.В.* Турбулентность в растительном покрове. - Л.: Гидрометеоиздат, 1978, 184 с.
9. *Орленко Л. Р.* Строение планетарного пограничного слоя. - Л.: Гидрометеоиздат, 1979, 270с.
10. *Степаненко С.Н., Волошин В. Г.* Профили скорости ветра в слое проницаемой шероховатости. - //Український гідрометеорологічний журнал. №6. Метеорологія та кліматологія. Раздел 2, Одесса: Изд-во Одесского гос. экологического ун-та, 2010, стр. 24-31.
11. *Струнин. М.А.* Турбулентность и турбулентный обмен в пограничном слое атмосферы над неоднородной поверхностью. - Автореферат на соискание степени доктора физико-математических наук. Москва, 2006, 42 с.
12. Технический кодекс установившейся практики. Методология оценки ветропотенциала. – Минск: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 2009, 15 с. Интернет ресурс. Доступ: <http://www.tnra.by/tnpa/TnraFiles/pdf>