

Т. Д. Лев

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Лысогорская, 12, Киев, 03028, Украина

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА ШЕРОХОВАТОСТИ ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ НА РАЗНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МАСШТАБАХ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА И ОСАЖДЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

В моделях атмосферного переноса загрязняющих веществ большое значение приобретает параметр шероховатости как динамическая характеристика подстилающей поверхности. Параметр шероховатости непосредственно влияет на процессы осаждения и задержания радиоактивных веществ, а следовательно на величины аэрозольного загрязнения растительности в острую фазу аварии и на загрязнение почвы и подстилающей поверхности при долгосрочных оценках загрязнения продуктов растительного происхождения. В работе проанализированы и систематизированы эмпирические данные о параметре шероховатости, полученные из разных источников с 1960 г. по настоящее время. В соответствии с особенностями подстилающей поверхности территории Украины данные о параметре шероховатости были отобраны и интерполированы в узлы регулярной сети для разных пространственных масштабов. С использованием актуального картографического материала и ГИС-технологий построены карты шероховатости для четырех сезонов года для всей территории Украины и предложены алгоритмы оценок параметров шероховатости на локальном уровне для районов зон влияния АЭС и урбанизированных территорий.

Ключевые слова: шероховатость, подстилающая поверхность, классификация, геоинформационный анализ, картографирование.

Вступление

В современных системах противоаварийного реагирования информационно-аналитическая поддержка принятия решений по реагированию на последствия радиационной аварии обеспечивается математическими моделями переноса, осаждения и перераспределения радиоактивных элементов в объектах окружающей среды в соответствии с пространственно-временными масштабами решаемых задач. Режим движения воздушного потока существенно зависит от его взаимодействия с подстилающей поверхностью, определяя режим микро- (до 10 км) и мезоциркуляционных (10 - 100 км) процессов в приземном и пограничном слоях атмосферы. Это сказывается на вертикальной структуре пространственных характеристик атмосферы: ветра, температуры, давления и турбулентности. Математические модели атмосферного переноса загрязняющих веществ [1 - 7] учитывают в той или иной мере процессы, происходящие в непосредственной близости к подстилающей поверхности и в пограничном слое атмосферы. Описание процессов динамического взаимодействия воздушных масс с подстилающей поверхностью, а также процессов тепло- и влагообмена в пограничном слое атмосферы проводится параметрически с использованием таких характеристик атмосферы, как скорость трения или динамическая скорость (U_*) и свойств подстилающей поверхности - средней высоты неровностей (h_0) и параметра шероховатости (z_0)¹.

Расчет величины параметра шероховатости для использования в моделях пограничного слоя атмосферы является сложной задачей. Это связано с тем, что параметр шероховатости зависит от турбулентности нижнего слоя атмосферы, где действует логарифмический закон распределения ветра по профилю и нижняя граница этого слоя значительно выше элементов шероховатости [1]. Поэтому определение параметров шероховатости требует или наблюдений за профилем ветра на достаточно высокой мачте для разных типов подстилающей поверхности (такие данные накапливаются разными исследователями), или наблюдений за турбулентностью (порывистостью) ветра с помощью открытого анемометра, расположенного выше средней высоты близлежащих препятствий. Практически оценка шероховатости подстилающей поверхности часто основана на обобщенных экспериментальных данных для разных типов местности и на разных пространственных масштабах, опубликованных в работах [9 - 18].

В данной работе была проведена систематизация и анализ современных опубликованных данных о параметре шероховатости для разных масштабов и типов природопользования. Выбран опти-

© Т. Д. Лев, 2018

¹ Параметр шероховатости или уровень шероховатости z_0 - динамическая характеристика неровностей подстилающей поверхности, влияющих на движение воздуха в приземном слое. Шероховатость имеет размерность длины, зависит от турбулентности воздушного потока и характера шероховатой поверхности и в общем тем больше, чем больше средняя высота неровностей. (Метеорологический словарь, 1974.)

мальный набор параметров для территории Украины, проведена интерполяция данных в ячейки регулярной сетки с целью использования в математических моделях атмосферного переноса и осаждения радиоактивных веществ на подстилающую поверхность. Систематизированные данные, использование ГИС-технологий и современного цифрового картографического материала позволило оценить пространственное распределение параметра шероховатости по территории Украины на разных масштабах с учетом современной структуры природопользования.

Материалы и методы исследования

В приземном слое воздуха профиль скорости ветра с учетом неровностей подстилающей поверхности при нейтральной стратификации представляется в виде [1 - 3]:

$$u = \frac{u_*}{\kappa} * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right), \quad (1)$$

где z - высота измерения скорости ветра; u_* - скорость трения, равная $\sqrt{\tau/\rho}$, τ - касательное напряжение, определяемое молекулярной вязкостью ρ ; z_0 - аэродинамический параметр длины шероховатости подстилающей поверхности, м (при $z = z_0$, средняя скорость ветра равна нулю); κ - постоянная Кармана.

При больших значениях шероховатости для квазиоднородной высокой растительности (высокая трава, лес) или для городской застройки вводится высота вытеснения (d), т.е. уровень, от которого следует отсчитывать логарифмический профиль ветра, и формула (1) будет иметь вид [2]

$$u = \frac{u_*}{\kappa} * \ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right), \quad (2)$$

Имеются два возможных способа экспериментального определения параметра шероховатости:

по коэффициенту сопротивления C_d (характеристика динамического взаимодействия с подстилающей поверхностью) с привлечением данных о динамической скорости u_* :

$$C_d = \frac{\kappa^2}{(\ln z / \ln z_0)^2}; \quad (3)$$

по профилям ветра - измерения скорости ветра на двух уровнях по отдельным высотам пограничного слоя из уравнения (1).

Обзор параметров шероховатости, охватывающий довольно большой диапазон типов местности и использующий только наблюдения, проведенные на достаточной высоте, опубликовал в 1960 г. А. Davenport [9]. Впоследствии в различных руководствах были опубликованы данные о параметре шероховатости, большинство из которых содержали немного новой информации, полученной после 1960 г. В 1986 г. Jon Wieringa опубликовал данные о шероховатости для однородных типов сельской местности, включая леса [11 - 15]. Он расширил классификацию [9] типами местности с низкой шероховатостью, включая водные поверхности. В девяностых годах исследователями Sue B. Grimmond и Tim R. Oke [14, 17] были проведены наблюдения и получены данные о шероховатости для городской территории. Подобным образом, были получены данные о шероховатости для неоднородной сельской местности и регулярных лесных массивов [15, 16]. Следовательно, к настоящему времени уже имеются обновленные данные классификации параметра шероховатости, полученные с помощью современных инструментов для разных видов реальной топографии местности.

Степень турбулентности увеличивается с увеличением шероховатости и параметр z_0 может быть получен из одноуровневых наблюдений за ветром на станции путем анализа порывистости ветра [11]. Такой анализ практически возможен, если данные о ветре содержат максимум порывов и данные о скорости и направлении ветра при порывах. Он учитывает, как рядом, так и далеко лежащие препятствия, растительность с подветренной стороны на расстоянии 3 км в секторе от 20 до 30 градусов шириной. Анализ полученных порывистостей для расчета значений z_0 в течение многих сотен азимутальных секторов для всех типов ландшафта дал прекрасную возможность оценить типичные значения шероховатости для различных классов землепользования для двух периодов: вегетационного и зимнего сезонов. Как было отмечено автором [12, 13], большинство опубликованных классификаций шероховатости удовлетворительно описывают неоднородные поверхности.

Результаты работы [19], выполненные исследователями для территории Украины показывают, что зимой и летом параметр шероховатости z_0 имеет похожее пространственное распределение. Но от января к июлю происходит существенное (примерно в два раза) возрастание величины мезошероховатости. Такое увеличение вызвано исчезновением снежного покрова и сезонным изменением растительности. Наибольшие значения z_0 достигаются на севере Украины. Величина z_0 принимает значения от 0,4 до 2,0 м в январе и от 1,0 до 2,5 м в июле. Области с высокими значениями z_0 соответствуют лесной зоне, с низкими значениями – лесостепи и степи.

Вблизи крупных городов наблюдается резкое увеличение z_0 по сравнению с прилегающими территориями. При этом в годовом ходе z_0 вблизи крупных городов испытывает меньшие изменения, чем в лесу или в степи. Таким образом, на формирование поля мезошероховатости вблизи крупных городов основное влияние оказывает городская застройка.

Полученная на основе многолетних наблюдений зависимость величины параметра шероховатости от типа подстилающей поверхности и от времени года была использована при разработке алгоритма его картографирования (пространственного распределения) по территории Украины на разных пространственных масштабах. При систематизации и классификации опубликованных данных о параметре шероховатости были учтены следующие требования [20]:

1 – количество классов подстилающей поверхности не должно быть больше, чем это необходимо для решаемой задачи;

2 – количество классов подстилающей поверхности должно быть достаточно большим, чтобы различия в шероховатости между примыкающими классами соответствовали точности, с которой решается задача атмосферного переноса для разных пространственно-временных масштабов.

Основным методом исследования является метод пространственного геоинформационного анализа (ГИС-анализа) совместно с опубликованными систематизированными эмпирическими данными о параметре шероховатости для разных типов природопользования на разных пространственных масштабах применительно к территории Украины. Используется метод интерполяции данных из нерегулярных (непрерывное изменение параметров) в регулярную область (дискретное множество точек), называемую сеткой с длиной шага в зависимости от масштаба решаемых задач.

Параметр шероховатости является интегральной величиной, зависящей от свойств местности. Для решения поставленной задачи, а именно учета шероховатости в моделях атмосферного переноса на разных пространственных масштабах, используется сеточный метод параметризации типа подстилающей поверхности для ячеек регулярной сетки соответствующего масштаба [4 - 6].

Рассматриваются три пространственных масштаба:

государственный масштаб с регулярной сеткой шагом 2×2 км;

региональный масштаб (регулярная сетка – 500×500 м);

локальный масштаб (регулярная сетка – 250×250 м).

Пространственный геоинформационный анализ территории с расчетом площадей разных типов природопользования и землепользования показал, что выбранные шаги сетки обеспечивают однородность территории в рамках ячеек сетки выбранных масштабов.

В исследовании использовался доступный картографический материал:

с сайта: <http://www.diva-gis.org/gdata> - административные границы Украины, рельеф, тип подстилающей поверхности по проекту GLC2000²;

растровая топографическая карта Украины М 1 : 100000 открытого доступа, помещенная на сайте “maps.vlasenko.net” (не привязанная к системе координат);

карта населенных пунктов (в виде полигонального и точечного покрытий) из БД «ADMTER» (ТОВ "ИС ГЕО") М 1 : 200000 с информационным содержанием: административный код и наименование пункта, зона радиоактивного загрязнения, область, район, численность и состав населения (городского и сельского) по состоянию на 1997 г., координаты центра полигона;

бассейновые карты на государственном и региональном уровнях, созданные в отделе радиационной экологии ИПБ АЭС НАН Украины (далее – ИПБ АЭС) на основе топографической карты М 1 : 100000 и данных портала "<http://river.land.kiev.ua/river-basins.html>”;

цифровая карта структуры землепользования для 30-км зоны Ровенской АЭС (РАЭС) и отдельного речного бассейна р. Вильшанка на локальном уровне [20];

цифровая карта урбанизированной местности М 1 : 10000 для г. Коростень Житомирской области [21].

² GLC2000 - Global Land Cover 2000 Project (Проект 2000 - Глобальное покрытие земли) - глобальный мониторинг растительности, связанный с картированием растительного и земельного покрова.

Картографирование «параметра шероховатости» для модели атмосферного переноса на разных пространственных масштабах

Основными факторами, определяющими шероховатость местности (z_0) для государственного и регионального масштабов (М 1 : 200000) является структура природопользования, определяемая типом подстилающей поверхности (вид и высота растительного покрова), а для локального масштаба (М 1 : 10000) – структура землепользования: вид угодий, высота и фаза развития растительности для сельской местности; высота зданий и расстояния между ними - для урбанизированной территории.

При оценке аварийной ситуации на радиационном объекте (АЭС) рассмотрение трех пространственных масштабов дает возможность использовать принцип "вложенности расчетных сеток", когда выделенная критическая территория по загрязненности будет оцениваться более детально при переходе к разным пространственным масштабам для принятия решений по защите населения и проведения реабилитационных работ на уровне административных единиц хозяйствования - области, района, сельсовета.

Для государственного масштаба был выбран шаг регулярной сетки ($\Delta x = 2$ км), обеспечивающий при средней скорости ветра 3-4 м/с и шаге 10 мин его осреднения однородную подстилающую поверхность при воздушном переносе и осаждении радиоактивных частиц из АЭС.

Алгоритм создания карты параметра шероховатости на государственном и региональном уровнях (М 1 : 200000). В качестве основы для создания карты шероховатости была использована карта подстилающей поверхности по результатам проекта GLC2000 (<http://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/products.php>). Впервые были изготовлены глобальные карты почвенно-растительного покрова с использованием Landsat (разрешения 30 м), тематического картографа (TM) и улучшенные данные тематического картографа Plus (ETM+) [5, 6]. В рамках проекта GLC2000 был создан глобальный классификатор-легенда, содержащий 23 типа подстилающей поверхности [22]. Для территории Украины выбирается 17 типов растительного покрова с детализацией по отдельным видам (табл. 1).

Таблица 1. Классификатор типов растительного покрова по проекту GLC2000 для территории Украины

Код покрытия	Глобальный классификатор растительного покрова согласно терминологии LCCS ³	Глобальный классификатор растительного покрова для территории Украины
02	Tree Cover, broadleaved, deciduous, closed	Деревья, широколиственные, лиственные, закрытая территория
04	Tree Cover, needle-leaved, evergreen	Лес, деревья, игольчатые, вечнозеленые
05	Tree Cover, needle-leaved, deciduous	Лес широколиственный
06	Tree Cover, mixed leaf type	Лес, смешанный тип листьев
09	Mosaic: Tree cover/Other natural vegetation	Мозаика: лес/другая растительность
10	Tree Cover, burnt	Выжженный лес
11	Shrub Cover, closed-open, evergreen	Кустарник, закрытый/открытый, вечнозеленый
12	Shrub Cover, closed-open, deciduous	Кустарник, закрытый/открытый, лиственный
13	Herbaceous Cover, closed-open	Травяной покров, закрыто-открытый
14	Sparse Herbaceous or sparse Shrub Cover	Редкая растительность или редкий кустарник
15	Regularly flooded Shrub and/or Herbaceous Cover	Регулярно затопляемые кустарники и/или травяной покров
16	Cultivated and managed areas	Культивируемые и управляемые районы
17	Mosaic: Cropland/Tree Cover/Other natural vegetation	Мозаика: пахотные/лес/другая растительность
18	Mosaic: Cropland/Shrub or Grass Cover	Мозаика: пахотные/кустарник или травяной покров
19	Bare Areas	Обнаженные участки
20	Water Bodies (natural & artificial)	Водоемы (природные и искусственные)
22	Artificial surfaces and associated areas	Искусственные поверхности и связанные с ними области

В соответствии с решаемыми задачами атмосферного переноса и осаждения радионуклидов на подстилающую поверхность по территории Украины в случае аварийной ситуации на АЭС на государственном уровне используются картографические материалы масштаба М 1 : 200000 с пересче-

³ LCCS - Land Coverage Classification System (Система классификации растительного покрытия земли).

том и интерполяцией исходной информации в ячейки регулярной сетки с шагом 2×2 км. Для такого пространственного разрешения с учетом специфики регионального природопользования Украины были выделены следующие классы подстилающей поверхности:

- Водоемы, озера.
- Агрolandшафт.
- Луговая и болотная растительность.
- Лес.
- Сельская застройка с огородами.
- Хутора, отдельные застройки.
- Городская застройка с производственными комплексами.

Глобальные данные проекта GLC2000 были перекодированы в предложенный классификатор ИПБ АЭС для решения радиоэкологических задач на государственном уровне. Для выделенных классов подстилающей поверхности была подготовлена информация о параметре шероховатости с использованием литературных источников о шероховатости для однородных поверхностей и проклассифицированных территорий [13, 14].

J. Wieringa анализируя и верифицируя полученные разными исследователями в разные годы данные о параметре шероховатости (таблицы II - VIII из работы [13]), для разных типов подстилающей поверхности, выбрал четыре хорошо известные классификации (Oke, 1978; Smedman, 1978; Cook, 1985; Troen, 1987), обобщил их и сделал следующий вывод.

Все классификации преувеличивают значения z_0 для гладкой местности в сравнении с классической классификацией A. Davenport (1960). Наиболее вероятна причина в том, что классификаторы использовали полевые данные с маленькими выборками (небольшие территории экспериментов).

Для сглаженной местности, лесов и малых городов классификации A. Davenport (1960) и Oke (1978) дают правдоподобные результаты, в то время как Cook (1985), Troen et al. (1987) недооценивают шероховатость примерно в два раза. Классификация A. Davenport представляется достаточно надежной, если более низкие значения z_0 присваиваются ее младшим классам, что было сделано в обновленных версиях (Wieringa, 1977, 1992, 2001). Обобщенные данные о параметре шероховатости для выбранных исследователей представлены в табл. 2.

Таблица 2. Шероховатость (м) для проклассифицированных Z_{0class} и однородных поверхностей Z_{0o}

Подстилающая поверхность	Z_{0o} (однородная поверхность)	Z_{0class} Oke (1978) (проклассифицированная поверхность)	Smedman (1978)	Cook (1985)	Troen (1987)
Ровный снег	0,0003	0,0002	0,0001	0,003	0,001
Ровная земля	0,0003	0,0003	0,005	0,003	0,0003
Необработанная земля	0,002	0,001 - 0,01	-	0,01	0,005
Сглаживание, Z_{0class}/Z_{0o}		1,1	(1)	8	2,2
Низкая трава	0,013	0,003 - 0,01	0,008	0,01	0,01
Высокая трава	0,034	0,04 - 0,10	0,02 - 0,05	0,01	-
Сельскохозяйственные культуры	0,1	0,04 - 0,20	0,05 - 0,10	0,03	0,05
Полусглаживание		1,1	0,7	0,5	0,6
Сосновый лес	1,2	1,0 - 6,0	0,4	0,3	0,30
Низкий кустарник	0,6	-	0,4 - 0,6	0,3	0,40
Городская территория	1,1	-	0,6 - 0,9	0,8	-
Скольжение		(2)	0,6	0,5	0,5

На основании данных табл. 2 и материалов работ [14 - 17] была составлена таблица классов подстилающей поверхности (табл. 3) для территории Украины на государственном и региональном масштабах с параметрами шероховатости Z_0 .

Данные табл. 3 преобразуются в классификатор (табл. 4), который используется для построения картографического покрытия «параметра шероховатости» для региональной модели атмосферного переноса и осаждения радиоактивных элементов "LEDI"⁴ для четырех сезонов года.

⁴ Модель "LEDI" разработана в отделе радиационной экологии ИПБ АЭС НАН Украины. Авторы Е. К. Гаргер, Н. Н. Талерко.

Таблица 3. Классы подстилающей поверхности и параметра шероховатости в зависимости от времени года

Номер класса	Класс подстилающей поверхности	Класс поверхности Davenport	Название поверхности	Высота объекта, м	Параметр шероховатости Z_0 , м	
1	10	1(sea)	Водоемы, озера	0		
	101		Плоское снежное поле			0,0001
	102		Водная поверхность			0,0002
2	20		Луговая и болотная растительность	0,4		
	201		Неровное снежное поле			0,0010
	202		Необработанная земля			0,002
	203		Короткая трава и мох			0,0300
	204		Высокая трава и вереск			0,0500
3	30	7(closed)	Сельская застройка с огородами	10		
	301		В зимнее время			0,5000
	302		В летнее время			1,1200
4	31		Хутора, отдельная застройка	6		
	311		В зимнее время			0,1000
	312		В летнее время			0,7500
5	32	Urban and Built-Up Land	Городская застройка	30		
	321		В зимнее время			1,5 - 2,0
	322		В летнее время			0,7
6	40	8(chaotic)	Лес	20		
	401		Лес зимой			0,5000
	402		Лес летом			1,5000
7	50	4(roughly open)	Агроландшафт	0,6		
	501		Неровное снежное поле			0,001 - 0,012
	502		Необработанная земля			0,001 - 0,004
	503		Низкие созревшие с/х культуры			0,04 - 0,09
	504		Высокие созревшие растения (зерновые)		0,12 - 0,18	

Таблица 4. Классификатор перехода от класса подстилающей поверхности к параметру шероховатости для разных сезонов года

№	Класс поверхности	Подстилающая поверхность	Высота объекта, м	Z_{01}	Z_{02}	Z_{03}	Z_{04}
1	10	Водная поверхность	0	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002
2	20	Луговая и болотная растительность	0,4	0,0010	0,0300	0,0500	0,0020
3	30	Сельская застройка с огородами	10	0,5000	1,1200	1,1200	0,5000
4	31	Хутора, отдельная застройка	6	0,3000	0,7500	0,7500	0,3000
5	32	Городская застройка	30	0,7000	1,3000	1,3000	0,7000
6	40	Лес	20	1,2000	1,5000	1,5000	1,2000
7	50	Агроландшафт	0,6	0,0070	0,0700	0,1800	0,0030

Z_{01} , Z_{02} , Z_{03} , Z_{04} – параметр шероховатости для зимы, весны, лета и осени соответственно, м.

Подготовленная сетка с шагом 2 км для выбранной территории была пересечена с оригинальным полигональным покрытием классов подстилающей поверхности в соответствии с проектом GLC2000 для получения данных по ячейкам регулярной сетки. Значение шероховатости в ячейке рассчитывалось с использованием данных табл. 4 путем присвоения параметра шероховатости по максимально занимаемой площади подстилающей поверхности в рамках ячейки сетки. На рис. 1 представлены данные о параметре шероховатости и классах подстилающей поверхности для ячеек регулярной сети по всей территории Украины. Представленные результаты показывают различные

физико-географические условия территорий АЭС: класс подстилающей поверхности, шероховатость местности, рельеф и т.п., которые необходимо учитывать при моделировании атмосферного переноса и осаждения радиоактивных веществ при нормальных и аварийных условиях работы АЭС.

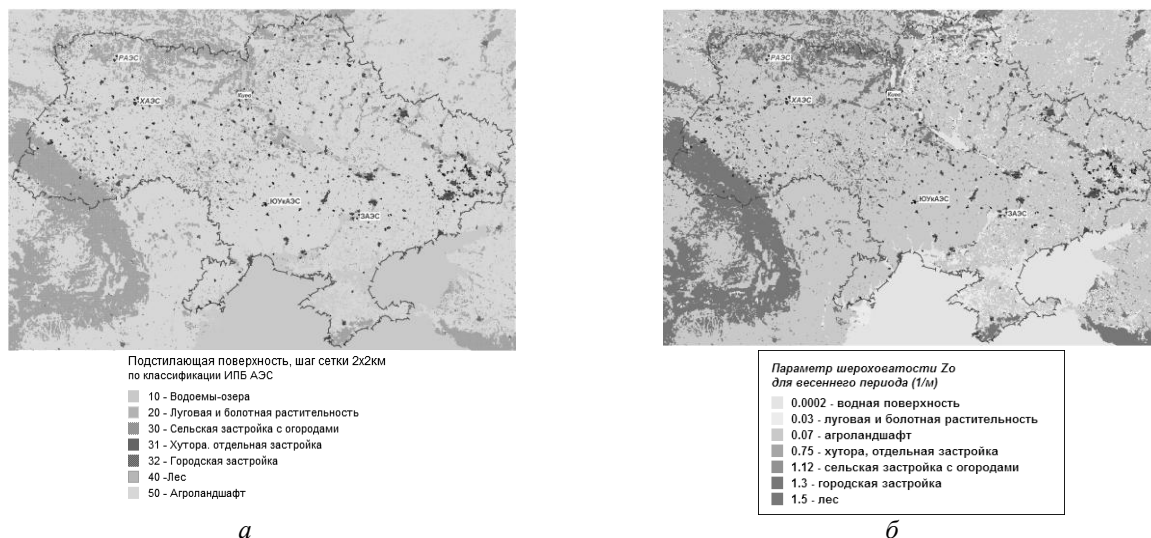


Рис. 1. Пространственное распределение подстилающей поверхности (а) и параметра шероховатости по территории Украины для весеннего периода (б) на национальном уровне (М 1 : 200000).

Статистический анализ оценки однородности классов подстилающей поверхности по территории Украины. Вопрос об однородности подстилающей поверхности (шероховатости) в ячейках регулярной сетки 10×10 км рассматривался в работе Wieringa [13], где отмечалось, что если, например, лес занимает более 50 % площади ячейки, то он увеличивает общую шероховатость ячейки и весовой вклад его в оценку параметра составляет 85 %. Вопрос об идентификации и параметризации данных в ячейки сетки продолжает быть актуальным, и предлагаются разные варианты идентификации типов подстилающей поверхности в ячейки сетки.

Данные о параметре шероховатости для тестовой территории были представлены в ячейках регулярной сетки с шагом 2 км, предполагая, что в рамках сетки 2×2 км подстилающая поверхность (параметр шероховатости) является однородной величиной. Для подтверждения данного предположения был проведен статистический анализ оценки однородности по территории с расчетом в каждой ячейке сетки процента площади каждого попавшего в сетку класса подстилающей поверхности (рис. 2).

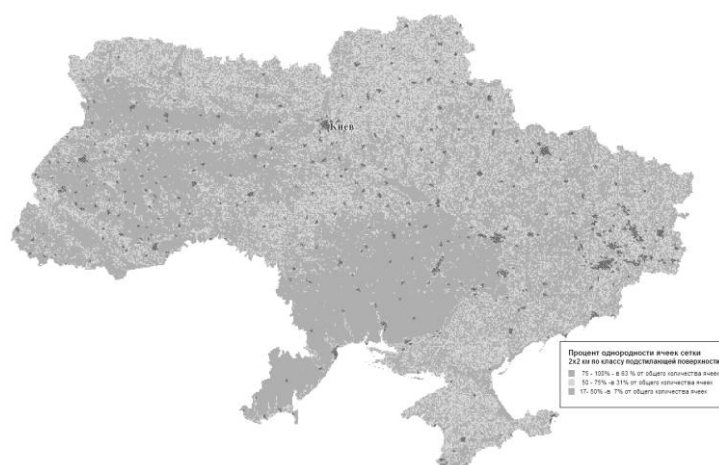


Рис. 2. Пространственное распределение по территории Украины процента однородности классов подстилающей поверхности.

Проведенная классификация территории по проценту однородности подстилающей поверхности внутри ячейки сетки, показала, что для всех классов в 63 % случаев от общего числа ячеек (151926 ячеек) адекватная идентификация класса подстилающей поверхности в рамках ячейки сетки обеспечена до 100 %.

Дополнительно проанализировано распределение процента однородности по классам подстилающей поверхности внутри ячейки сетки в сравнении с занимаемой площадью каждого класса по территории Украины. Данные сравнения, представленные на рис. 3, показывают, что наиболее однородная подстилающая поверхность в ячейке сетки характерна для агроландшафта, занимаемого до 70 % территории исследования, и для водных объектов, что важно для решения радиозологических задач с оценкой уровней загрязнения почвы и растительности в случае аварийной ситуации. Процент однородности класса поверхности агроландшафта в рамках ячейки сетки 2×2 км достигает 70 %. Для лесной и урбанизированной территорий 100%-ное совпадение обеспечено на 50 %. Для класса луговой и болотной растительности, вследствие ее узкого расположения вдоль рек, однородность свыше 50 % обеспечивается на 80 %. Таким образом, решение радиозологических задач на государственном уровне с последующим зонированием территории по выпадениям радионуклидов на подстилающую поверхность и по внешней дозе облучения обеспечивается применением регулярной сетки с шагом 2×2 км.

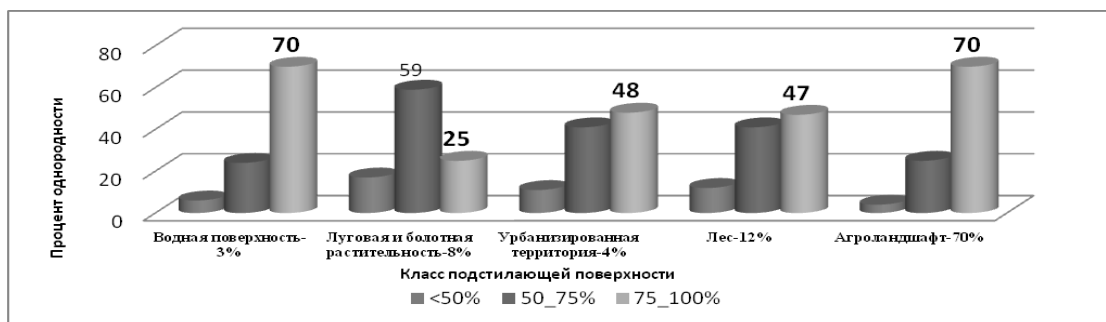


Рис. 3. Распределение процента однородности подстилающей поверхности в ячейках сетки по классам.

Данные о параметре шероховатости по ячейкам регулярной сетки для четырех сезонов года в текстовом формате совместно с данными о высоте местности, типе подстилающей поверхности и координатами центра ячейки сетки используются для расчетов полей осаждения радиоактивных элементов на подстилающую поверхность по модели атмосферного переноса и осаждения радиоактивных веществ из АЭС "LEDI".

Для оценки радиационной обстановки и степени превентивной радиозоологической критичности на региональном уровне рассматривалась тестовая территория радиоактивного загрязнения после аварии на Чернобыльской АЭС с использованием сетки 500×500 м. Пример оценки шероховатости на региональном уровне был проведен для бассейна основной реки площадью не более 2000 км^2 в масштабе $M 1 : 200000$ (бассейн р. Норын) и представлен на рис. 4.

Параметр шероховатости для ячеек региональной сетки оценивался по классу подстилающей поверхности, занимающей максимальную площадь в рамках ячейки 500×500 м. Представленная на рис. 4 более детальная картина о параметре шероховатости подстилающей поверхности используется в региональной модели атмосферного переноса и осаждения радионуклидов на подстилающую поверхность.

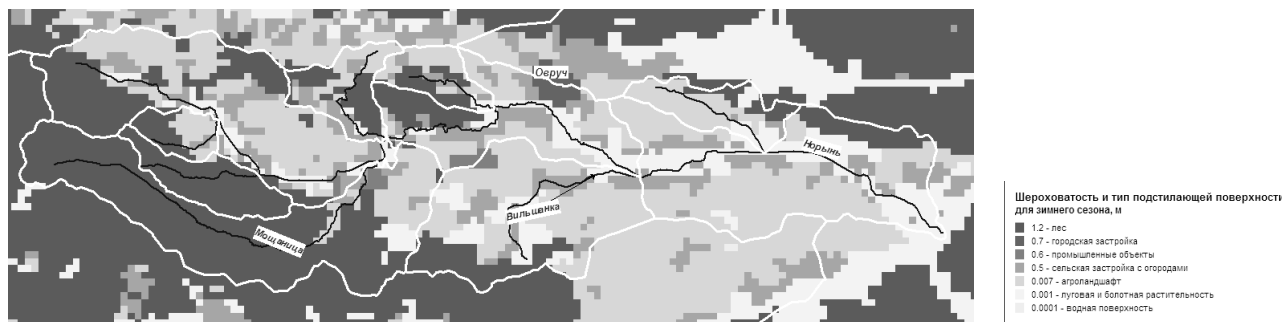


Рис. 4. Пространственное распределение параметра шероховатости на региональном уровне (территория бассейна р. Норын, площадь 1700 км^2 . Зима).

Алгоритм создания карты параметра шероховатости на локальном уровне $M 1:1000000$. На локальном уровне масштаба $M 1 : 100000$ параметр шероховатости был подготовлен с использованием карты структуры землепользования и стандартного списка культур и опубликованных литературных источников, включающих:

классы землепользования геологической службы США [6];

детализацию классов землепользования с использованием данных дистанционного зондирования и публикаций о свойствах растений [23].

Использовался классификатор Геологической службы США о параметре шероховатости, представленный в базе данных GLCC (USGS Land Use/Land Cover System Legend⁵). Классификация была получена на основании данных AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) с разрешением 1 км² [23, 24]. Шероховатость была присвоена каждому классу землепользования. Учитывая структуру регионального землепользования в Украине (площади сельскохозяйственных полей), для локального масштаба применялся шаг регулярной сетки 250 м. Класс подстилающей поверхности выбирался по максимуму занимаемой площади в рамках сетки.

Проведенный анализ опубликованных источников с учетом структуры землепользования позволил выделить для однородных территорий структуры землепользования в зависимости от фазы развития растений (высоты растений) более детальные классы параметра шероховатости (табл. 5).

Таблица 5. Параметр шероховатости для классов землепользования на локальном уровне, М 1 : 100000, м

Название поверхности землепользования	Высота объекта, м	Z ₀₁	Z ₀₂	Z ₀₃	Z ₀₄
Водоемы, водная поверхность	0	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002
Природные луга и сенокосы, природные травы	0,3	0,003	0,03	0,07	0,008
Культурные луга и сенокосы, сеяные травы	0,5	0,003	0,12	0,18	0,008
Пашня, зерновые	0,6	0,003	0,07	0,16	0,024
Сельская застройка с огородами (овощи и корнеплоды)	0,3	0,01	0,07	0,09	0,03
Город, застройка	20	0,4	0,9	0,9	0,4
Промышленные объекты, застройка	15	0,6	1,1	1,1	0,6
Лес, деревья	20	1,2	1,5	1,5	1,2

Детализация параметра шероховатости, типа подстилающей поверхности и тип культур позволяют получить подробную карту аэрального загрязнения растительности в острую фазу аварии и использовать ее для принятия решений по минимизации последствий аварийного выброса на сельскохозяйственных территориях (рис. 5).

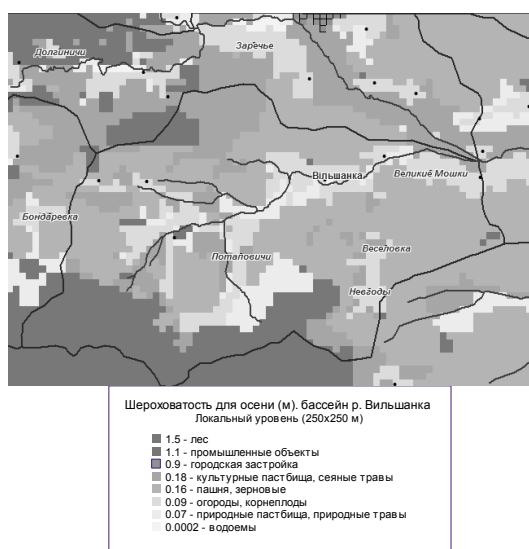


Рис. 5. Осень. Локальный уровень (М 1 : 10000). Пространственное распределение параметра шероховатости на локальном уровне (территория бассейна р. Вильшанка).

Оценка мезошероховатости территории АЭС

При моделировании переноса и осаждения радиоактивных элементов из АЭС в условиях мезометеорологических процессов (используется масштаб карты М 1 : 100000) идентификация видов подстилающей поверхности проводится с помощью следующего классификатора (табл. 6). Данные о

⁵ https://lta.cr.usgs.gov/glcc/eadoc2_0#igbp

типе растительного покрова для территорий агроландшафта и природных угодий были уточнены с использованием типов почв данной территории, ее увлажненности и справочных данных о произрастании растений в подобных условиях.

Таблица 6. Виды землепользования для 30-км зоны РАЭС

№	Высота объекта, м	Тип поверхности	Z ₀ (лето), м	Z ₀ (зима), м
1	0	Водоёмы, озера	0,001	0,0001
4	0	Отмели, острова	0,03	0,001
6	12	Города	1,5	0,5
7	6	Поселки городского типа	1,2	0,5
8	6	Деревни	1	0,1
10	0,6	Агроландшафт	0,2	0,01
11	0,4	Луговая и болотная растительность	0,2	0,001
12	20	Лес густой высокий	2	0,5
13	15	Лес редкий	1,5	0,5
15	5	Фруктовые сады	0,5	0,1
16	0,7	Кустарники	0,3	0,1
17	05	Камышовая растительность	0,1	0,001
18	0,3 - 0,5	Луговая травянистая растительность	0,2	0,001

Для оценок мезомасштабных характеристик шероховатости 30-км зоны АЭС была использована цифровая карта типов подстилающей поверхности (на примере РАЭС) в М 1 : 100000 [20]. В соответствии с установленными зависимостями между z_0 и h_0 (значения параметров приведены в табл. 6) была построена векторная карта шероховатости для территории АЭС (территория 10 км). Результаты представлены на рис. 6.

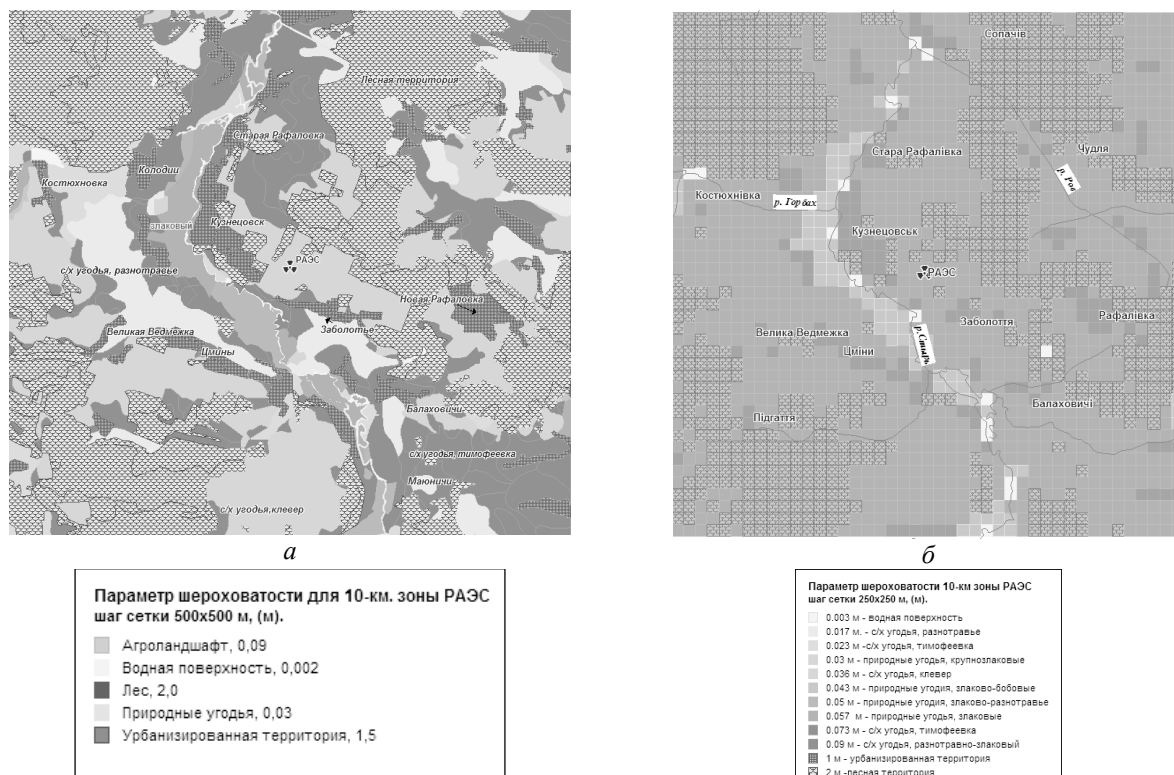


Рис. 6. Карта параметра мезошероховатости для 10-км зоны АЭС: а – регулярная сеть с шагом ячейки 500 м; б – регулярная сеть с шагом ячейки 250 м (М 1 : 100000).

Данные о шероховатости по ячейкам регулярной сетки с шагом 250 м получены с 75%-ной обеспеченностью при соотношении площади части пересеченного полигона к площади ячейки, равном 0,7.

Оценка шероховатости для урбанизированной территории

В результате аварии на ЧАЭС в 1986 г. в зону западного следа высокого радиоактивного загрязнения попал небольшой промышленный г. Коростень Житомирской области. Вследствие этого в городе были проведены детальное радиационное обследование и реабилитационные мероприятия. Городская застройка повлияла на распределение загрязнения в городе и сформировала поле радиоактивного загрязнения в соответствии с погодными условиями. Поэтому город является достаточно изученным и может быть объектом для создания современных ГИС-разработок.

Город Коростень Житомирской области является одним из трех городов областного подчинения в Украине. Используя полевые исследования и карту-схему города в масштабе М 1 : 10000, город структурно был разбит на несколько частей в соответствии с однородностью городской и промышленной застройки. Составлена ландшафтная карта по полевым исследованиям.

Тематические карты городского ландшафта и шероховатости в ячейках регулярной сетки представлены на рис. 7.

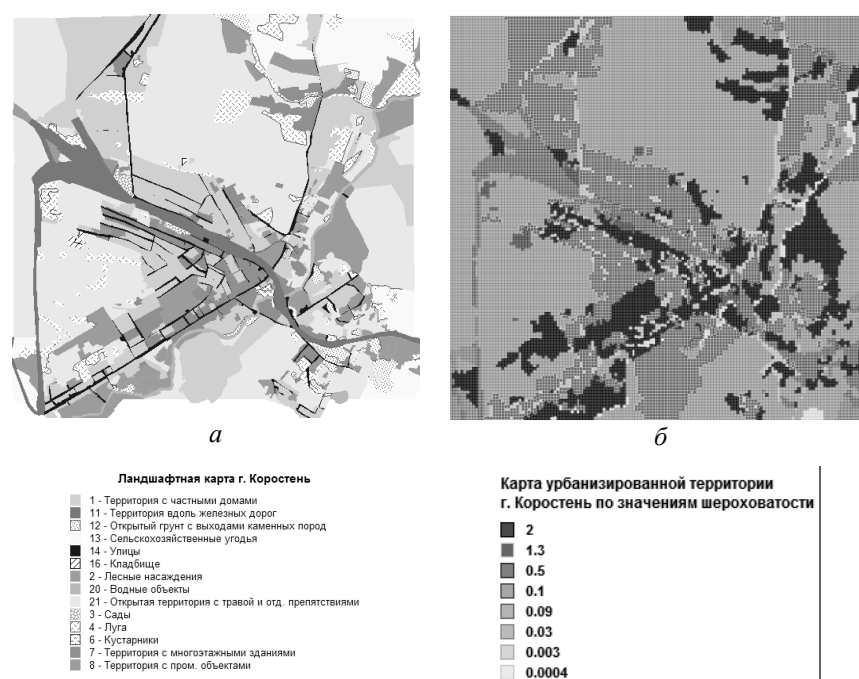


Рис. 7. Карта урбанизированного ландшафта (а) и шероховатости (б) г. Коростень.

Собранные эмпирические материалы для разных видов ландшафта, технология построения цифровой ландшафтной (шероховатости и высот объектов) карты и выбранный оптимальный шаг идентификации объектов городской застройки по ячейкам регулярной сетки могут быть основанием для построения цифровых карт промышленных населенных пунктов вблизи АЭС. Полученные цифровые карты с атрибутивной информацией могут быть использованы в качестве исходных данных для расчета характеристик ветра в пограничном слое атмосферы и для учета в моделях атмосферного переноса и осаждения радиоактивных веществ на подстилающую поверхность в условиях города [25 - 27].

Данные о городском ландшафте были систематизированы и выделены основные типы, представленные в табл. 7. В основном это открытая территория с травой (40 %), территория с частными домами (22 %), сельскохозяйственные угодья (15 %), лесные насаждения (9 %), территория с промышленными и многоэтажными зданиями (6 %) и т. д. Высота объектов городской застройки и тип подстилающей поверхности получены с помощью картосхемы г. Коростень М 1 : 10000 и полевых экспедиционных данных.

Характерные значения параметра шероховатости для различных естественных поверхностей городской застройки были выбраны с помощью литературных данных [17, 18] и представлены в табл. 7.

Диапазон изменений параметра шероховатости для небольшого промышленного города (площадь территории города 48,62 км²) от 0,03 м для открытой территории с травой до 2,0 м для территорий с многоэтажными домами и промышленными объектами.

Полученные данные по шероховатости урбанизированного ландшафта были протестированы с использованием эмпирической формулы (Kung E. C., 1961), полученной по измерениям профиля ветра над различными типами растительного покрова [1, 2]. Определение шероховатости для городской застройки проводилось с использованием формулы

$$\ln z_0 = -1,24 + 1,29 \ln h_0 \quad (4)$$

в соответствии с которой отношение z_0/h_0 принимает значения от 0,2 и 0,1 соответственно в случае высоких деревьев и травяного покрова до 0,03 при песочной шероховатости.

Данные расчета параметра шероховатости ($Modz_0$) для городской территории по значениям высот объектов застройки представлены в табл. 7. Для территории г. Коростень отношение z_0/h_0 принимает значения от 0,25 до 0,06. Среднее отклонение эмпиричных данных от расчетных значений составляет 0,015.

Таблица 7. Сравнительная таблица расчета параметра шероховатости для урбанизированной территории

Вид ландшафта	z_0 , м	h_0 , м	$Modz_0$, м	z_0/h_0
Открытая территория с травой	0,03	0,3	0,012	0,10
Лесные насаждения	2,00	20,0	2,740	0,20
Территория вдоль железных дорог	0,10	0,3	0,012	0,10
Сельскохозяйственные угодья	0,09	0,6	0,030	0,15
Луг	0,03	0,5	0,023	0,06
Территория с частными домами	1,50	6,0	0,580	0,15
Кустарниковая растительность	0,50	3,0	0,237	0,10
Улицы	0,02	0,1	0,003	0,17
Территория с промышленными зданиями	2,00	15,0	1,893	0,10
Территория с многоэтажными зданиями	2,00	17,0	2,224	0,25
Сады	0,50	5,0	0,459	0,08
Открытый грунт с выходами каменных пород	0,10	1,0	0,057	0,13
Водные объекты	0,002	0,02	0,004	0,12

Выводы

В результате выполненного исследования получена оценка параметра шероховатости по территории Украины на разных пространственных масштабах с использованием современного картографического материала и обобщенных эмпирических данных, выбранных для территории Украины. Построены цифровые карты параметра шероховатости для всей территории Украины с шагом 2 км, для территорий вокруг АЭС (РАЭС, ХАЭС, ЮУАЭС, ЗАЭС) с шагом 500 м. Предложены классификаторы типов подстилающей поверхности с переходом к параметру шероховатости для разных пространственных масштабов для решения экологических задач атмосферного переноса и осаждения загрязняющих веществ на подстилающую поверхность для четырех сезонов года. Полученные результаты были использованы для оценки радиэкологической критичности территории гидрографических районов Украины и могут быть применены как в системе ОВОС⁶, так и для оценки радиэкологической ситуации в комплексной системе прогнозирования радиационной обстановки, мониторинга агросферы, радиационного контроля качества сельскохозяйственной продукции и планирования контрмер при аварийных ситуациях на АЭС.

⁶ ОВОС - оценка воздействия на окружающую среду при эксплуатации АЭС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зилитинкевич С. С.* Динамика пограничного слоя атмосферы / С. С. Зилитинкевич. - Л. : Гидрометеорологическое издательство, 1970. - 292 с.
2. *Дубов А. С.* Турбулентность в растительном покрове / А. С. Дубов, Л. П. Быкова, С. В. Марунич. - Л. : Гидрометеоиздат, 1978. - 179 с.
3. *Бызова Н. Л.* Турбулентность в пограничном слое атмосферы / Н. Л. Бызова, В. Н. Иванов, Е. К. Гаргер. - Л. : Гидрометеоиздат, 1989. - 263 с.
4. *H. van Dop.* Terrain classification and derived meteorological parameters for interregional transport models / *H. van Dop* // *Atmospheric Environment*. - 1983. - Vol. 17, No. 6. - P. 1099 - 1105.
5. *Klaassen W.* Landscape variability and surface flux parameterization in climate models / W. Klaassen, M. Clausen // *Agricultural and Forest Meteorology*. - 1995. - Vol. 173. - P. 181 - 188.
6. *The Numerical Wind Atlas* / Helmut P. Frank et al. The KAMM/WAsP Method. Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark. June 2001. Risø-R-1252(EN).
7. *МБР.45090.40038* Методические указания. Расчет допустимых выбросов радиоактивных веществ с атомной станции в атмосферу. - М., 2004. - 49 с.
8. *Spatially-varying surface roughness and ground-level air quality in an operational dispersion model* / M. J. Barnes et al. // *Environmental Pollution*. - 2014. - Vol. 185. - P. 44 - 51.
9. *Davenport A. G.* Rationale for determining design wind velocities / A. G. Davenport // *J. Atm. Soc. Civ. Eng.* - 1960. - ST-86. - P. 39 - 68.
10. *Panofsky H. A.* Wind profiles and change of terrain roughness at Riso / H. A. Panofsky and E. L. Petersen // *Quart. J. R. Met. Soc.* - 1972. - Vol. 98. - P. 845 - 854.
11. *Wieringa J.* Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed averages / J. Wieringa // *Quart. J. R. Met. Soc.* - 1986. - Vol. 112. - P. 867 - 889.
12. *Wieringa Jon.* Updating the Davenport roughness classification / Jon Wieringa // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. - 1992. - Vol. 41-44. - P. 357 - 368.
13. *Wieringa Jon.* Representative roughness parameters for homogeneous terrain / Jon Wieringa // *Boundary Layer Meteorology*. - 1993. - Vol. 63. - P. 323 - 363.
14. *New revision of Davenport roughness classification* / Jon Wieringa et al. // 3rd European Conference on Wind Engineering, Eindhoven, Netherlands, July 2001.
15. *Agterberg R.* Mesoscale terrain roughness mapping of the Netherlands. Technical reports / R. Agterberg and J. Wieringa ; TR-115. KNMI. 1989. - 35 p.
16. *Bottema M.* Landscape roughness parameters for Sherwood forest - Experimental results / M. Bottema, W. Klaassen, W. P. Hopwood // *Boundary-Layer Meteorology*. - 1998. - Vol. 89. - P. 285 - 316.
17. *Grimmond C. S. B.* Aerodynamic Properties of Urban Areas Derived from Analysis of Surface Form / C. S. B. Grimmond and T. R. Oke // *Journal of Applied Meteorology*. - September 1999. - Vol. 38, No. 9. - P. 1262 - 1292.
18. *Симиу Э.* Воздействие ветра на здания и сооружения / Э. Симиу, Р. Сканлан ; пер. с англ. Б. Е. Маслова, А. В. Швецовоной. - М. : Стройиздат, 1984. - 361 с.
19. *Брюхань Ф. Ф.* Оценка мезошероховатости по данным радиовеетрового зондирования атмосферы над территорией СССР / Ф. Ф. Брюхань, Л. В. Пономаренко // *Метеорология и гидрология*. - 1989. - № 4. - С. 65 - 70.
20. *Лев Т. Д.* Информационно-аналитическое и картографическое обеспечение систем аварийного реагирования АЭС / Т. Д. Лев, О. Г. Тищенко, В. Н. Пискун // *Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля*. - 2011. - Вып. 16. - С. 17 - 26.
21. *Сценарий* для верификации математических моделей атмосферного переноса по данным измерений радиоактивных загрязнений в Коростене и Коростенском районе в результате аварии на ЧАЭС / Е. К. Гаргер и др. // *Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля*. - 2011. - Вып. 17. - С. 112 - 123.
22. *Land Cover Classification Legend* // <https://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/legend.php>.
23. *Bartholome E.* GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data / E. Bartholome, A. S Belward // *International Journal of Remote Sensing*. - 2005. - Vol. 26. - Iss. 9. - P. 1959 - 1977.
24. *Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM and ETM+ data* / Peng Gong et al. // *International Journal of Remote Sensing*. - 2013. - Vol. 34. - Iss. 7. - P. 2607 - 2654.
25. *Лев Т. Д.* Учет микроклиматических особенностей территории для оптимального расположения пунктов контроля аэрометеорологической информации при выбросах АЭС / Т. Д. Лев // *Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля*. - 2013. - Вып. 21. - С. 64 - 73.
26. *Степаненко С. Н.* Расчет скорости ветра в нижнем 300-метровом слое атмосферы по данным метеорологических наблюдений с учетом температурной стратификации и шероховатости поверхности / С. Н. Степаненко, В. Г. Волошин, В. Ю. Курышина // *Укр. гідрометеорол. журн.* - 2016. - № 17. - С. 23 - 30.
27. *Млявая Г. В.* Влияние параметров шероховатости подстилающей поверхности на скорость ветра / Г. В. Млявая // *Buletinul AŞM. Ştiinţele vieţii*. - 2014. - No. 2(323). - P. 181 - 187.

Лев Т. Д.

Институт проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Лисогірська, 12, Київ, 03028, Україна

**ОЦІНКА ПАРАМЕТРА ШОРСТКОСТІ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ НА РІЗНИХ ПРОСТОРОВИХ
МАСШТАБАХ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНЕСЕННЯ ТА ОСАДЖЕННЯ
ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН**

У моделях атмосферного переносу забруднюючих речовин важливе значення набуває параметр шорсткості як динамічна характеристика підстильної поверхні. Параметр шорсткості безпосередньо впливає на процеси осадження та затримання радіоактивних речовин, а отже, на величини аерального забруднення рослинності в гостру фазу аварії і на забруднення ґрунту та підстильної поверхні при довгострокових оцінках забруднення продуктів рослинного походження. У роботі проаналізовано та систематизовано емпіричні дані про параметр шорсткості, отримані з різних джерел із 1960 р. по теперішній час. Відповідно до особливостей підстильної поверхні території України дані про параметр шорсткості було відібрано й інтерпольовано у вузли регулярної мережі для різних просторових масштабів. Із використанням актуального картографічного матеріалу та ГІС-технологій побудовано карти шорсткості для чотирьох сезонів року для всієї території України та запропоновано алгоритми оцінок параметрів шорсткості на локальному рівні для районів зон впливу АЕС та урбанізованих територій.

Ключові слова: шорсткість, підстильна поверхня, класифікація, геоінформаційний аналіз, картографування.

T. D. Lev

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine, Lysogirska str., 12, Kyiv, 03028, Ukraine

**ESTIMATION OF THE PARAMETER OF THE ROUGHNESS OF THE TERRITORY OF UKRAINE
ON DIFFERENT SPACE SCALE FOR MODELS OF ATMOSPHERIC TRANSPORT AND DEPOSIT
OF POLLUTANTS**

In the models of atmospheric transport of pollutants, the roughness parameter, as a dynamic characteristic of the underlying surface, becomes important. The parameter of roughness directly affects the processes of deposition and retention of radioactive substances, and therefore the values of aerial contamination of vegetation in the acute phase of the accident and the contamination of the soil and the underlying surface for long-term forecasting of contamination plant and products. The paper analyzes and systematizes the empirical data on the roughness parameter obtained from different sources from 1960 to the present. In accordance with the features of the underlying surface of the territory of Ukraine, the data on the roughness parameter were selected and interpolated into cells of the regular network for different spatial scales. A statistical analysis of the assessment of the homogeneity of the underlying surface (roughness parameter) over the territory was carried out with the calculation in each grid cell of the percentage of the area of each class of the underlying surface that fell into the grid. The classification of the territory according to the percentage of uniformity of the underlying surface within the grid cell showed that for all classes in 63% of cases of the total number of cells adequate identification of the class of the underlying surface within the grid cell is provided to 100%. With the use of actual cartographic material and GIS technologies, roughness maps for 4 seasons of the year were built for the whole territory of Ukraine. Algorithms for estimating the roughness parameters at the local level for areas of influence zones of nuclear power plants and urbanized territories were proposed.

Keywords: roughness, underlying surface, classification, geoinformation analysis, mapping.

REFERENCES

1. Zylytynkevych S. S. Dynamics of the boundary layer of the atmosphere / S. S. Zylytynkevych. – Leningrad : Hydrometeorologicheskoe izdatel'stvo, 1970. - 292 p. (Rus)
2. Dubov A. S. Turbulence in vegetation / A. S. Dubov, L. P. Bykova, S. V. Marunych. - Leningrad : Hydrometeoizdat, 1978. - 179 p. (Rus)
3. Byzova N. L. Turbulence in the boundary layer of atmospheres / N. L. Byzova, V. N. Yvanov, E. K. Harher. - Leningrad : Hydrometeoizdat, 1989, 263 p. (Rus)
4. H. van Dop. Terrain classification and derived meteorological parameters for interregional transport models / H. van Dop // *Atmospheric Environment*. - 1983. - Vol. 17. No. 6. - P. 1099 - 1105.
5. Klaassen W. Landscape variability and surface flux parameterization in climate models / W. Klaassen, M. Claassen // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 1995. - Vol. 73. - P. 181 - 188.
6. *The Numerical Wind Atlas* / Helmut P. Frank et al. The KAMM/WAsP Method. Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark. June 2001. Risø-R-1252(EN).
7. MVR.45090.40038 Methodical instructions. Calculation of permissible emissions of radioactive substances from the nuclear power plant to the atmosphere. - Moskva, 2004. – 49 p. (Rus)

8. *Spatially-varying* surface roughness and ground-level air quality in an operational dispersion model / M. J. Barnes et al. // *Environmental Pollution*. – 2014. – Vol. 185. – P. 44 - 51.
9. *Davenport A. G.* Rationale for determining design wind velocities / A. G. Davenport // *J. Atm. Soc. Civ. Eng.* – 1960. – ST-86. – P. 39 - 68.
10. *Panofsky H. A.* Wind profiles and change of terrain roughness at Riso / H. A. Panofsky and E. L Petersen // *Quart. J. R. Met. Soc.* – 1972. – Vol. 98. – P. 845 - 854.
11. *Wieringa J.* Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed averages / J. Wieringa // *Quart. J. R. Met. Soc.* – 1986. – Vol. 112. – P. 867 - 889.
12. *Wieringa Jon.* Updating the Davenport roughness classification / Jon Wieringa // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. – 1992. – Vol. 41 - 44. – P. 357 - 368.
13. *Wieringa Jon.* Representative roughness parameters for homogeneous terrain / Jon Wieringa // *Boundary Layer Meteorology*. – 1993. – Vol. 63. – P. 323 – 363.
14. *New revision of Davenport roughness classification* / Jon Wieringa et al. // 3rd European Conference on Wind Engineering, Eindhoven, Netherlands, July 2001.
15. *Agterberg R.* Mesoscale terrain roughness mapping of the Netherlands. Technical reports / R. Agterberg and J. Wieringa ; TR-115. KNMI. 1989. – 35 p.
16. *Bottema M.* Landscape roughness parameters for Sherwood forest – Experimental results / M. Bottema, W. Klaassen, W. P. Hopwood // *Boundary-Layer Meteorology*. – 1998. – Vol. 89. – P. 285 – 316.
17. *Grimmonda C. S. B.* Aerodynamic Properties of Urban Areas Derived from Analysis of Surface Form / C. S. B. Grimmonda and T. R. Oke // *Journal of Applied Meteorology*. – September 1999. – Vol. 38, No. 9. – P. 1262 - 1292.
18. *Symyu Э.* The impact of wind on buildings and architecture / Э. Symyu, R. Skanlan ; Translation from English B. E. Maslova, A. V. Shvetsovoy. – Moskva : Stroyizdat, 1984. – 361 p. (Rus)
19. *Bryukhan' F. F.* Estimation of meso roughness from radio-atmospheric sounding of the atmosphere over the territory of the USSR / F. F. Bryukhan', L. V. Ponomarenko // *Meteorolohiya i hydrolohiya*. – 1989. – № 4. – P. 65 – 70. (Rus)
20. *Lev T. D.* Informational, analytical and cartographic support of NPP emergency response systems / T. D. Lev, O. H. Tyshchenko, V. N. Pyskun // *Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl)*. – 2011. – Iss. 16. – P. 17 - 26. (Rus)
21. *Scenario* for verification of mathematical models of atmospheric transport from measurements of radioactive contamination in Korosten and Korosten district as a result of the Chernobyl accident / E. K. Garger et al. // *Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl)*. – 2011. Iss. 17. – P. 112 - 123. (Rus)
22. *Land Cover Classification Legend* // <https://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/legend.php>.
23. *Bartholome E.* GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data / E. Bartholome, A. S. Belward // *International Journal of Remote Sensing*. – 2005. – Vol. 26. – Iss. 9. – P. 1959 – 1977.
24. *Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM and ETM + data* / Peng Gong et al. // *International Journal of Remote Sensing*. – 2013. – Vol. 34. – Iss. 7. – P. 2607 – 2654.
25. *Lev T. D.* Taking into account the microclimatic features of the territory for the optimal location of control points for aerial meteorological information for nuclear plant emissions / T. D. Lev // *Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl)*. – 2013. – Iss. 21. – P. 64 - 73. (Rus)
26. *Stepanenko S. N.* Calculation of wind speed in the lower 300-meter layer of the atmosphere according to meteorological observations taking into account the temperature stratification and surface roughness / S. N. Stepanenko, V. H. Voloshyn, V. Yu. Kuryshyna // *Ukr. hidrometeorol. Zhurnal*. – 2016. – № 17. – P. 23 - 30. (Rus)
27. *Mlyavaya H. V.* Influence of the roughness parameters of the underlying surface on the wind speed / H. V. Mlyavaya // *Buletinul AŞM. Ştiinţele vieţii*. – 2014. – No. 2(323). – P. 181 - 187. (Rus)

Надійшла 13.02.2018
Received 13.02.2018