

Исследование альbedo мрамора и песка

Б.М. Ибрахим^{1,*} Ю.П. Пытьев^{2,†} С.А. Аббуд^{1,‡} О.В. Фаломкина^{2,§}

¹Университет Тишин, факультет науки, кафедра физики. Сирия, Латакия, 1

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра математического моделирования и информатики Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

(Поступила в редакцию 07.06.2021; подписана в печать 24.11.2021)

В данной работе детально исследованы интенсивности солнечного излучения, падающего и отраженного от поверхностей мрамора и песка. Значения альbedo этих поверхностей вычислены на основе измерений интенсивностей излучений, выполненных с помощью люксметра.

Измерения проводились для поверхностей мрамора и песка в течение двух дней летних месяцев в двух точках в окрестностях г. Банияс на берегу Средиземного моря в провинции Тартус, в Сирии: в местечке Алькурдие ($35^{\circ}9'1''N, 36^{\circ}0'41''E$) и на станции «Банияс» ($35^{\circ}12'44''N, 35^{\circ}57'3''E$). По результатам измерений рассчитаны значения альbedo. Выполнено сравнение полученных результатов, построены графики, отражающие изменения альbedo как функции времени. Рассмотрены приложения полученных результатов в задачах локальной и глобальной коррекции изменений климата, пагубно влияющих на жизнь животных и растений.

PACS: 96.12.K, 96.90.X, 96.90.C.

УДК: 523.4.

Ключевые слова: интенсивность падающего солнечного излучения, интенсивность отраженного солнечного излучения, альbedo, применения полученных результатов (локальная коррекция климата, подготовка почвы, сохранение морских животных) и др.

ВВЕДЕНИЕ

Роль альbedo в энергетических процессах поверхности Земли

Альbedo (от латинского *albus*, «белый») материала — это диффузная отражательная способность поверхности материала, обусловленная потерей части интенсивности излучения, падающего на поверхность материала, благодаря процессу поглощения излучения в материале. В работе использовано понятие ламбертова (истинного, плоского) альbedo. Альbedo зависит линейно от интенсивности диффузно отраженного солнечного излучения и обратно пропорционально интенсивности падающего солнечного излучения. Альbedo A определяется следующей формулой [1–4]:

$$A = \frac{I_R}{I_T}, \quad (1)$$

где I_R и I_T суть соответственно интенсивности солнечного излучения, отраженного от поверхности материала и падающего на нее.

Альbedo играет важную роль в энергетическом равновесии поверхности Земли, так как часть падающего на Землю солнечного излучения отражается. С помощью альbedo можно уточнять информацию об оптических свойствах поверхностей материалов, таких, например, как цвет, пористость, текстура, температура, влажность и т. д. [1, 5].

Большое разнообразие оптических свойств поверхности Земли приводит к большому разнообразию значений альbedo. Известно, что значение альbedo поверхности Земли определяется отражающей способностью поверхностей естественных материалов (например, почвы, песка и растений), а также отражающей способностью искусственных материалов, созданных человеком [2]. В табл. 1 приведены значения альbedo для некоторых типов поверхностей [1, 6, 7].

Значения альbedo разных искусственных поверхностей существенно влияют на дневную температуру, поскольку внешние поверхности (тротуаров, зданий, и т. д.), поглощая солнечное излучение, разогреваются: поверхности с большими альbedo остаются холодными, температура окружающего их воздуха — низкой, и наоборот [7, 8].

Значения альbedo изменяются при изменении влажности поверхностей: чем больше влажность, тем сильнее поглощается солнечное излучение. Но у сухих поверхностей и поверхностей, состоящих из неоднородных по размеру частиц (как, например, песок), отражательная способность возрастает с ростом влажности, тем самым величина альbedo с увеличением влажности увеличивается.

Цвет поверхностей также играет важную роль в определении величины их альbedo. Поверхности темного цвета имеют слабую отражательную способность и низкие значения альbedo, а яркие поверхности — высокую отражательную способность и высокие значения альbedo. Следует обратить внимание на то, что химическая структура поверхности определяет её цвет: поверхности с включениями органических материалов характеризуются высокой способностью поглощения солнечного излучения и тем самым — низкими значениями альbedo [3, 9].

* bmibrahim@tishreen.edu.sy

† yuri.pytyev@physics.msu.ru

‡ samah.aboud.sy@gmail.com

§ olesya.falomkina@gmail.com

Таблица 1. Величины альbedo для некоторых видов поверхностей

Тип поверхности	Альbedo	Тип поверхности	Альbedo
Вода	0.03–1.00	Трава	0.10–0.25
Лёд	0.20–0.40	Лес	0.08–0.15
Свежий лёд	0.80–0.90	Свежий асфальт	0.04–0.05
Песок	0.15–0.45	Черный мрамор с белыми полосами	0.21
Влажный песок	0.20–0.30	Белый мрамор с черными полосами	0.38
Сухой песок	0.35–0.45	Темно-серый мрамор	0.16

Целью настоящей научной работы является изучение альbedo на примере поверхностей мрамора и песка посредством измерения интенсивности солнечного излучения, падающего и отраженного от этих поверхностей, в двух точках А и Б в окрестностях г. Банияс, который находится на берегу Средиземного моря. Измерения интенсивности солнечного излучения для мрамора (А) проводились в деревне Алькурдие на высоте 380 м от уровня моря (координаты (N 35° 9' 1", E 36° 0' 41")) . Солнечная батарея была расположена на расстоянии 1 м от поверхности зеркала. Измерения интенсивности солнечного излучения для песка (Б) проводились на берегу г. Банияс на высоте 1 м от уровня моря (N 35° 12' 44" , E 35° 57' 3"), солнечная батарея была также расположена на расстоянии 1 м от поверхности зеркала. На рис. 1 показана карта местности, где проводились измерения, и указаны точки А и Б.

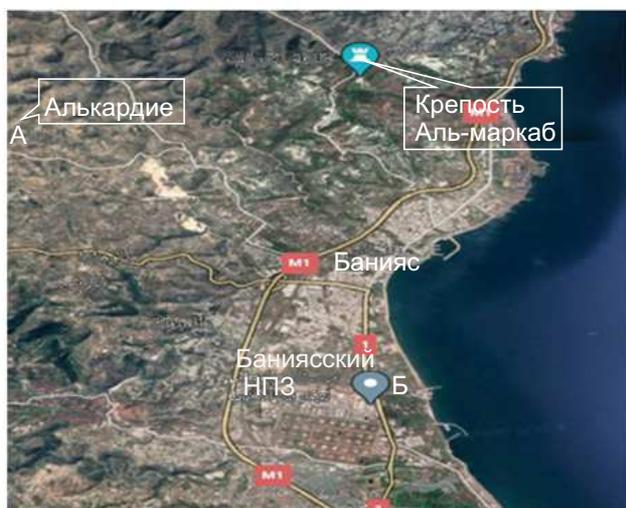


Рис. 1. Карта местности, где проводились измерения

Значения альbedo мрамора и песка были определены посредством дневных измерений интенсивностей падающего и отраженного солнечного излучения. Измерения проводились люксметром LX 2111 каждые 15 мин начиная с 7:30 утра до 17:00 вечера каждый день в июле месяце для мрамора и в августе для пес-

ка (в эти два месяца наблюдается наиболее сильное солнечное излучение). После этого с помощью формулы (1) были вычислены значения альbedo. На рис. 2 показан люксметр, которым проводились измерения, а на рис. 3 приведена схема измерения интенсивности солнечного излучения: 1 — солнечная батарея для измерения интенсивности падающего излучения на поверхности изучаемого материала, 2 — солнечная батарея для измерения интенсивности отраженного излучения от поверхности изучаемого материала, 3 — люксметры. Расчеты были выполнены в программе Excel, построены графики изменения альbedo.



Рис. 2. Люксметр LX 2111, с помощью которого проводились измерения



Рис. 3. Схема измерения интенсивности солнечного излучения

1. АЛЬБЕДО МРАМОРА

Измерения интенсивности солнечного излучения, падающего и отраженного от поверхности мрамора, выполнялись днем. Поверхность мрамора имела ярко-коричневый цвет с белыми полосами и площадь 1 м^2 . Альbedo было вычислено в солнечно-облачную погоду с влажностью 59–73%. Был определен интервал значений альbedo поверхности мрамора 0.266–0.352 с погрешностью 0.07%. Затем были рассчитаны [10, 11] среднее значение альbedo $A_{\text{mean}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i = 0.322$, среднеквадратичное отклонение $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_i - A_{\text{mean}})^2 = 0.000576$, стандартное отклонение $\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 0.024$ и коэффициент вариации C_V для данных по мрамору: $C_V = \frac{\sigma}{A_{\text{mean}}} \times 100\% = 7.453\%$.

В табл. 2 приведены: значения интенсивностей падающего и отраженного солнечного излучения для поверхности мрамора, значения альbedo, время измерений, угловая высота Солнца и погода в окрестности г. Баниас. Можно видеть, что значение альbedo в утренние часы и на закате достигало 0.266. Оно невелико из-за большого расстояния, которое проходит солнечный свет, и влияния процесса экстинкции интенсивности из-за влажности и вечернего загрязнения атмосферы, хотя максимальная величина альbedo равна 0.352 в 13:15.

На рис. 4, а и рис. 4, б показаны изменения альbedo мрамора с 7:30 до 12:00 и с 12:15 до 17:00 соответственно. На графиках видна связь между значениями альbedo, временем измерения и значениями коэффициента корреляции R^2 . Значения коэффициента парной линейной корреляции R^2 колеблются между 0.8856 и 0.8387, откуда следует, что имеет место тес-

ная линейная зависимость между значениями времени и альbedo.

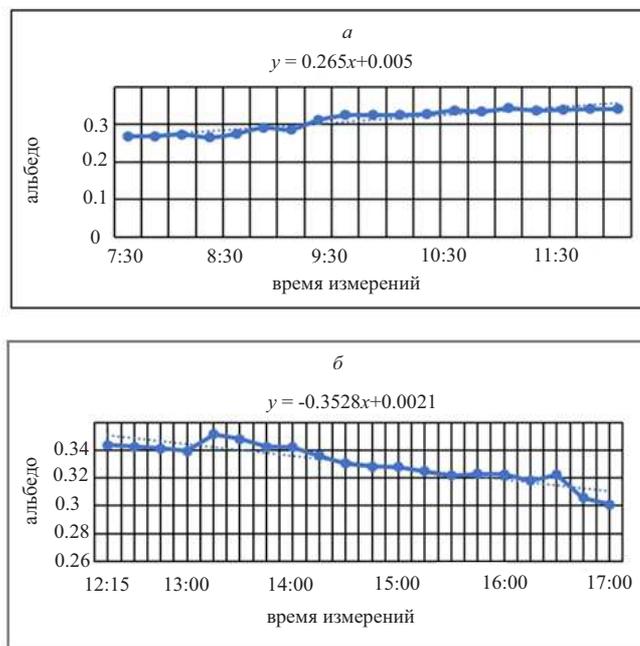


Рис. 4. Графики изменения альbedo мрамора в деревне Алькурдие с погрешностью 0,07% в первой половине дня (а), во второй половине дня (б)

2. АЛЬБЕДО ПЕСКА

На основании измерений интенсивности солнечного излучения, падающего и отраженного от поверхности песка на берегу моря рядом с г. Баниас, был определен интервал значений альbedo песка 0.1–0.156 при переменной облачности и влажности 57–88. Величины альbedo поверхности песка находились между 0.100 и 0.156 с погрешностью 0.01%. Также были вычислены [10, 11] среднее значение альbedo $A_{\text{mean}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i = 0.145$, среднеквадратичное отклонение $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_i - A_{\text{mean}})^2 = 0.000144$, стандартное отклонение $\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 0.012$ и коэффициент вариации C_V для данных по песку: $C_V = \frac{\sigma}{A_{\text{mean}}} \times 100\% = 8.276\%$.

В табл. 3 приведены значения интенсивности падающего и отраженного от поверхности песка солнечного излучения, значения альbedo, время измерений, угловая высота Солнца и погода в месте измерений. В табл. 3 видно, что значение альbedo в утренние часы и на закате достигало 0.1 и было небольшим из-за большого расстояния, которое проходит в атмосфере солнечный свет, и влияния процесса экстинкции солнечной интенсивности из-за влажности и вечернего загрязнения, хотя максимальная величина альbedo равна 0.156 в 16:00.

Таблица 2. Изменения альbedo мрамора в деревне Алькурдие на высоте 380 м от уровня моря 27.07.2019 с погрешностью 0.07 %

Время	Угловая высота солнца	Отраженная интенсивность (люкс)	Падающая интенсивность (люкс)	Альbedo	Погода	Облачный слой, %	Влажность, %
7:30	12	83	308	0.269	облачно	35	73
7:45	15.00	86	319	0.270	облачно	35	73
8:00	18.10	91	332	0.274	облачно	35	73
8:15	20.50	85	320	0.266	облачно	35	73
8:30	23.60	45	163	0.276	облачно	35	73
8:45	25.50	92	315	0.292	облачно	35	66
9:00	29.60	149	519	0.287	облачно	35	66
9:15	32.10	164	525	0.312	солнечно	35	66
9:30	34.30	216	664	0.325	солнечно	35	66
9:45	37.10	208	639	0.326	солнечно	35	66
10:00	40.00	220	674	0.326	солнечно	35	59
10:15	42.05	235	715	0.329	солнечно	35	59
10:30	44.10	252	745	0.338	солнечно	30	59
10:45	46.10	260	775	0.335	солнечно	30	59
11:00	48.30	276	803	0.344	солнечно	30	59
11:15	49.50	282	834	0.338	солнечно	30	59
11:30	51.00	298	876	0.340	солнечно	30	59
11:45	52.05	301	880	0.342	солнечно	30	59
12:00	53.10	304	888	0.342	солнечно	30	59
12:15	53.05	308	896	0.344	солнечно	30	59
12:30	53.00	309	902	0.343	солнечно	30	59
12:45	52.95	313	917	0.341	солнечно	30	69
13:00	52.90	305	898	0.340	солнечно	30	69
13:15	55.50	316	899	0.352	солнечно	30	69
13:30	49.50	306	879	0.348	солнечно	30	69
13:45	48.30	298	870	0.343	солнечно	30	69
14:00	47.70	294	859	0.342	солнечно	30	69
14:15	45.10	270	803	0.336	солнечно	30	69
14:30	43.40	273	826	0.331	солнечно	30	69
14:45	41.20	257	783	0.328	солнечно	30	69
15:00	39.10	248	756	0.328	солнечно	30	69
15:15	36.90	235	723	0.325	солнечно	30	69
15:30	34.20	218	677	0.322	солнечно	30	69
15:45	30.30	208	644	0.323	солнечно	30	69
16:00	28.50	192	595	0.323	солнечно	25	69
16:15	25.70	176	553	0.318	солнечно	25	69
16:30	22.30	169	524	0.323	солнечно	25	69
16:45	19.50	144	471	0.306	солнечно	25	69
17:00	16.90	128	425	0.301	солнечно	25	73

На рис. 5, а и рис. 5, б представлены изменения альbedo песка с 7:30 до 12:00 и с 12:15 до 17:00 соответственно. Как и в случае измерений альbedo мрамора, на графиках видно, что значения альbedo песка и время измерений связаны линейно. Было найдено,

что коэффициент корреляции R^2 принимает значения от 0.6579 до 0.8544, откуда следует, что имеет место тесная линейная зависимость между значениями времени и альbedo.

Таблица 3. Изменение значений альbedo песка в окрестности г. Банияс на высоте 1м от уровня моря 28.08.2019 с погрешностью 0.01 %

Время	Угловая высота солнца	Отраженная интенсивность (люкс)	Падающая интенсивность (люкс)	Альbedo	Погода	Облачный слой, %	Влажность, %
7:30	13.20	6	60	0.100	облачно	35	64
7:45	18.30	8	73	0.110	облачно	35	64
8:00	22.80	13	109	0.119	облачно	35	64
8:15	26.10	31	256	0.121	облачно	35	64
8:30	29.70	25	188	0.133	облачно	35	64
8:45	31.60	43	316	0.136	солнечно	35	64
9:00	34.50	50	348	0.144	солнечно	35	64
9:15	37.50	59	399	0.148	солнечно	35	57
9:30	40.05	68	453	0.150	солнечно	35	57
9:45	43.30	74	493	0.150	солнечно	35	57
10:00	46.10	81	537	0.151	солнечно	35	57
10:15	48.10	87	573	0.152	облачно	35	62
10:30	50.02	92	611	0.151	облачно	35	62
10:45	53.00	97	643	0.151	облачно	35	62
11:00	56.20	99	662	0.150	облачно	35	62
11:15	57.30	103	693	0.149	облачно	35	62
11:30	58.60	108	722	0.150	облачно	35	62
11:45	60.10	110	735	0.150	облачно	35	62
12:00	63.10	112	752	0.149	облачно	35	62
12:15	63.25	112	765	0.146	облачно	35	62
12:30	63.53	114	784	0.145	облачно	20	62
12:45	63.80	114	789	0.144	солнечно	25	62
13:00	64.00	114	791	0.144	облачно	25	62
13:15	62.10	116	796	0.146	облачно	35	62
13:30	60.30	112	772	0.145	облачно	35	60
13:45	59.40	114	776	0.147	облачно	35	58
14:00	58.30	114	758	0.150	облачно	35	58
14:15	56.10	108	724	0.149	облачно	35	58
14:30	53.70	106	703	0.151	облачно	35	58
14:45	50.80	105	696	0.151	облачно	35	58
15:00	48.80	99	653	0.152	облачно	35	58
15:15	46.20	95	626	0.152	облачно	35	58
15:30	44.10	91	593	0.153	облачно	35	88
15:45	40.90	85	550	0.155	облачно	35	88
16:00	37.40	79	506	0.156	облачно	35	88
16:15	34.90	70	458	0.153	облачно	35	88
16:30	31.60	66	425	0.155	облачно	35	88
16:45	28.70	60	393	0.153	облачно	35	88
17:00	25.40	55	355	0.155	облачно	35	76

3. ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В табл. 4 представлены результаты изменения интенсивности солнечного излучения, падающего и отраженного от поверхностей мрамора и песка, и результаты расчётов среднего значения альbedo и его макси-

мального и минимального значений для поверхностей мрамора и песка.

Из табл. 4 следует, что альbedo мрамора существенно больше, чем альbedo песка. Это объясняется тем, что песок поглощает больше энергии падающего солнечного излучения, чем мрамор. Другими словами, от-

Таблица 4. Среднее, максимальное и минимальное значения альbedo мрамора и песка

Материал	мрамор	песок
Среднее значение, A_{mean}	0.322	0.145
Максимальное значение, A_{max}	0.352	0.156
минимальное значение, A_{min}	0.266	0.100

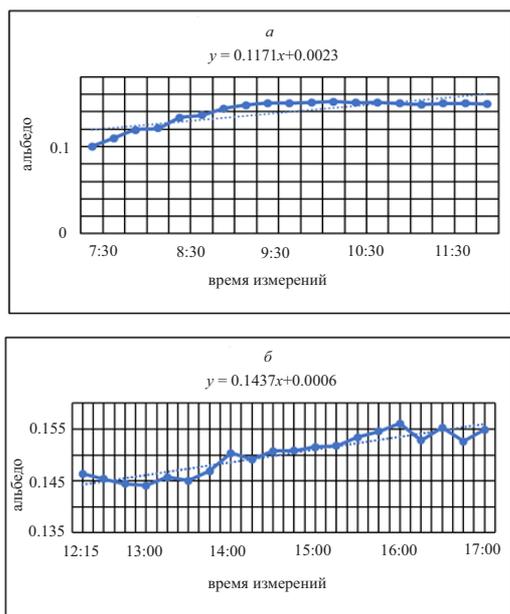


Рис. 5. Графики изменения альbedo песка в окрестности г. Баньяс на высоте 1 м от уровня моря 28.08.2019 с погрешностью 0.01 % в первой половине дня (а), во второй половине дня (б)

ражающая способность мрамора выше, чем отражающая способность песка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования альbedo мрамора и песка в течение двух дней летних месяцев в окрестности г. Баньяс были получены следующие результаты.

1. Среднее значение альbedo мрамора равно $A_{mean} = 0.322$ со стандартным отклонением $\sigma = 0.024$, коэффициентом вариации 7.453 % и погрешностью 0.07 %.

2. Среднее значение альbedo песка равно $A_{mean} = 0.145$ со стандартным отклонением $\sigma = 0.012$, коэффициентом вариации 8.276 % и погрешностью 0.01 %.
3. Максимальное и минимальное значения альbedo мрамора $A_{max} = 0.352$ и $A_{min} = 0.266$ соответственно.
4. Максимальное и минимальное значения альbedo песка $A_{max} = 0.156$ и $A_{min} = 0.1$ соответственно.
5. Среднеквадратичное отклонение альbedo песка больше, чем среднеквадратичное отклонение альbedo мрамора, потому что коэффициент вариации первого больше, чем второго.

Разница между значениями альbedo, измеренными для мрамора и песка, обусловлена разницей в поглощении солнечного излучения поверхностью материала, и, таким образом, *изменение альbedo связано с температурой, типом (шероховатым или гладким), цветом, пористостью и текстурой поверхности.*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в связи с повсеместно наблюдаемыми локальными и глобальными изменениями климата, оказывающими пагубные воздействия на животных и на растения, выполненные в статье детальные исследования, позволяющие определять количества поглощённой и рассеянной солнечной радиации, актуальны как для локальной коррекции климата для животных, так и для создания почв с поверхностями требуемого типа для растений. Полученные знания позволяют определять пригодность почв и освещений для выращивания любых сортов различных культур растений. С целью сохранения морских животных и защиты их от вымирания в меняющихся климатических условиях можно исследовать типы песка для изучения возможностей гнездования яиц морских животных, определять их пол, и т.д., что должно повлиять на экологическую и на экономическую политики соответствующих отделов животноводства и растениеводства.

[1] Dobos E. // Rattan Lal CRC Press print ISBN. 2003. P. 540.

[2] Henderson-sellers A., Hughes N. A. // Progress in Physical Geography. 1982. 6. P. 1.

- [3] *Betts K. A., Ball H. J.* // Journal of geophysical research. 1997. **102**, D24. P. 28, 901.
- [4] *Ibrahim B. M., Pytyev Y. P., Aboud S. A.* // Tartous University Journal for Research and Scientific Studies. 2020. **4**, N 2.
- [5] *Palle E., Goode P.R., Montañés-Rodríguez P., Shumko A., Gonzalez-Merino B., Martínez Lombilla C., Jimenez-Ibarra F., Shumko S., Sanroma E., Hulst A. et al.* // Geophys. Res. Lett. 2016. **43**, N 2. P. 4531.
- [6] *Angstrom A.* // Geografiska Annaler. 2017. **7**. P. 323.
- [7] *Chatzidimitriou A., Chrissomallidou N., Yannas S.* // PLEA2006 — The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland. 2006.
- [8] *Shengyang W.* Pavement albedo assessment: methods, aspects, and implication. 2015. Graduate Theses and Dissertations, Iowa State University.
- [9] *Hays G. C., Ashworth J., Barnsley M., Broderick A. C., Emery D., Godley B., Henwood A., Jones E.* // Oikos. 2001. **93**. P. 87.
- [10] *Шамаун Х., Алаашуш А.* Количественные методики. Изд-во Университета Тишрин, 2006.
- [11] *Алхэдер С. С., Ибрахим Б. М.* Физика для математики. Изд-во Университета Тишрин, 2007.

Study of the albedo of marble and sand

B. M. Ibrahim^{1,a}, Y. P. Pytyev^{2,b}, S. A. Aboud^{1,c}, O.V. Falomkina^{2,d}

¹*Physics Department, Science Faculty, Tishreen University, Latakia, Syria*

²*Faculty of Physics, Moscow State University. Moscow 119191, Russia*

E-mail: ^abmibrahi@tishreen.edu.sy, ^byuri.pytyev@physics.msu.ru, ^csamah.aboud.sy@gmail.com, ^dolesya.falomkina@gmail.com

In this paper, the intensity of solar radiation incident and reflected from the surfaces of marble and sand is studied in detail. The albedo values of these surfaces are calculated on the basis of radiation intensity measurements performed using a luxmeter. The measurements were carried out for marble and sand surfaces during two days of the summer months at two points in the vicinity of Baniyas on the Mediterranean coast in the province of Tartus, in Syria: in the town of Alqurdiye ($35^{\circ}9'1''N, 36^{\circ}0'41''E$) and at the station «Baniyas» ($35^{\circ}12'44''N, 35^{\circ}57'3''E$). The albedo values are calculated based on the measurement results. The results are compared, graphical curves are constructed that reflect the changes in albedo depending on time.

PACS: 96.12.K, 96.90.X, 96.90.C

Keywords: intensity of incident solar radiation, intensity of reflected solar radiation, albedo, applications of the results obtained (local climate correction, soil preparation, conservation of marine animals).

Received 07 June 2021.

Сведения об авторах

- Бахджат Мохамед Ибрахим — канд. физ.-мат. наук, профессор кафедры физики факультета науки Университета Тишрин; e-mail: bmibrahi@tishreen.edu.sy.
- Пытьев Юрий Петрович — доктор физ.-мат. наук, профессор; тел.: (495) 939-41-78, e-mail: yuri.pytyev@physics.msu.ru.
- Самах Али Аббуд — выпускник магистратуры кафедры физики факультета науки Университета Тишрин; e-mail: samah.aboud.sy@gmail.com.
- Фаломкина Олеся Владимировна — канд. физ.-мат. наук, науч. сотрудник; тел.: (495) 939-41-78, e-mail: olesya.falomkina@gmail.com.