

УДК 551.501: 629.195.1

Доктор техн. наук А.Х. Ахмеджанов<sup>1</sup>  
Канд. техн. наук Т.К. Караданов<sup>1</sup>

### ИЗМЕНЕНИЕ АЛЬБЕДО ПО ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

**Ключевые слова:** атмосфера, альbedo, аэрозоль, солнечное излучение, спутник, зондирование

*Рассмотрены особенности формирования значения альbedo в условиях изменяющегося климата. Описаны возможности программных продуктов, обрабатывающие данные сканера MODIS. Представлены результаты статистического анализа значений альbedo по территории Казахстана по данным спутникового зондирования.*

Изменение альbedo влечет за собой значительное глобальное воздействие на климат планеты посредством будущего глобального потепления. Альbedo является показателем отражательной способности поверхности. Оно зависит от спектральных характеристик отражающей поверхности, поэтому альbedo отличается для разных спектральных диапазонов. Альbedo воды меняется в зависимости от угла Солнца. Когда углы Солнца высоки, вода имеет тенденцию поглощать больше чем 95 % инсоляции, падающей на нее. Под низкими углами Солнца поверхность воды обладает значительно большими отражательными свойствами. В среднем Земля и ее атмосфера, как правило, отражают приблизительно 4 % и 26 %, соответственно, поступающей радиации Солнца назад. В результате у системы земной атмосферы есть объединенное альbedo – приблизительно 30 %. Эта величина зависит от многих факторов, включая тип почвы, растительный покров и облачность [1].

Значения коэффициента отражения солнечного излучения на поверхности Земли имеют большую географическую изменчивость. Ежегодные значения альbedo отличаются значительно между экватором и полюсами, в основном из-за присутствия снега и покрытых льдом поверхностей. Этот факт имеет место по высоким широтам, где снежный покров и ледяная степень достигают максимальных значений в течение холодных сезонов, значительно увеличивая поверхностные значения коэффициента отражения. После таяние

---

<sup>1</sup> АО «НЦКИТ» АК МИР РК, г. Алматы, Казахстан

снега весной голые почвы поглощают значительную часть поступающего солнечного излучения, уменьшая значения альбедо.

Глобальные измерения поверхностного альбедо Земли были определены при помощи сенсоров на борту орбитальных космических спутников. Реализация программы Earth Radiation Budget Experiment (ERBE) НАСА была одной из первых попыток создания таких измерений. Этот эксперимент использовал множество спутниковых датчиков на борту Nimbus, NOAA-9 и Earth Radiation Budget Satellite (ERBS), чтобы контролировать альбедо Земли сроком приблизительно четыре года. По июльскому изображению у области, занятой Северным Ледовитым океаном, альбедо составляет 45...60 %. Небогатые растительностью области, такие как пустыня Сахара, отражают приблизительно 30...40 % поступающего света Солнца. Другие поверхности земли с высокими альбедо – ледники и сезонные снежные равнины. Большие ледники, покрывающие Гренландию и Антарктиду, отражают 75 % инсоляции, падающей на их поверхность [3].

Пропорция поглощенного, испускаемого, и отраженного поступающего солнечного излучения регулирует колебания климатической системы Земли в температуре, ветре, океанском токе и осадении. Климатическая система остается в равновесии, пока сумма поглощенного солнечного излучения находится в балансе с суммой земной радиации, испускаемой обратно. Значения альбедо земли очень важны в формировании местных и глобальных климатов через радиационный бюджет, определенный как различие между суммой поглощенной коротковолновой радиации и длинноволновой радиацией. Например, облака управляют суммой энергии, которая может достигнуть поверхности Земли.

Множество факторов затрагивает значения альбедо земной поверхности, включая: тип почвы; влажность почвы или облесенность; типы растительности; почва и растительный цвет; топография рельефа. Структура почвы – также фактор, который затрагивает альбедо. Почвы с более легкими цветами имеют большее альбедо, чем темные цвета. Песчаным почвам соответствует более высокое альбедо.

Макротопография подразумевает наличие наклонных различий в рельефе земной поверхности из-за многократных отражений излучения. Излучение подвергается дальнейшему поглощению вторичным уровнем и также из-за более длительной продолжительности пути отраженных электромагнитных волн. Микротопография – присутствие покрытых ямочками почв, у

которых есть маленькие щели и углубления. В этих случаях есть уменьшение альbedo, где существуют возможности для многократных отражений.

Сокращения площадей покрытых снегом и льдом приводит к уменьшению отраженной энергии. Лед исчезает довольно быстро; при этом уменьшение альbedo приводит к ускорению процессов таяния ледников. Повышение температуры воды в океанах вследствие большей площади поверхности Мирового океана также приводит к таянию льдов. Антропогенные выбросы  $\text{CO}_2$  в атмосферу ускоряют повышение температуры. Данные процессы приводят к увеличению влажности, водяной пар является парниковым газом. Повышенный уровень водяного пара приводит к увеличению облачности [5].

Глобальное альbedo относительно постоянное и имеет существенное влияние на глобальные температуры. Локальные эффекты могут быть более явными. Уменьшение альbedo в Арктике приводит к нагреву воды, достаточному для выделения метана, сохраненному в ледяных кристаллах. Метан является парниковым газом и намного более мощным, чем  $\text{CO}_2$ .

Уменьшение альbedo в Арктике ускорит нагревание в смежных регионах с вечной мерзлотой, что приводит к выпуску метана. Таяние вечной мерзлоты может привести к уменьшению альbedo. Океан, нагреваемый вследствие уменьшения арктического альbedo, может ускорить таяние на краях ледникового покрова Гренландии, тем самым ускоряя повышение уровня моря. На данный момент, таянию подвержена большая часть льда на планете. Особый интерес представляет потеря арктического льда.

Хозяйственная деятельность человека также изменяет альbedo земной поверхности, в том числе при землепользовании и изменениях в землепользовании, а также альbedo атмосферы за счёт выбросов аэрозолей в атмосферу [1]. Альbedo земной поверхности и атмосферы – важные факторы формирования энергетического бюджета планеты [4]. Изменение альbedo вызывает трансформацию в распределении температуры на земной поверхности. Отметим, что землепользование и изменения в землепользовании – не единственные причины антропогенного изменения альbedo земной поверхности. В последнее время этот процесс вызывает сильную озабоченность мирового сообщества, поскольку теоретически может служить источником неустойчивости климатической системы Земли из-за положительной обратной связи: «уменьшение альbedo поверхности – потепление земной поверхности – дальнейшее снижение альbedo (за счёт уменьшения площади снега и льдов)». Считается, что это – основной ме-

ханизм, способствующий усиленному потеплению Арктики за последние столетия.

Коэффициент отражения земной поверхности по данным сканера MODIS определяется программным пакетом MOD09 с семью группами, вычисленными из уровня 1В MODIS группы 1 – (620...670 нм), 2 – (841...876 нм), 3 – (459...479 нм), 4 – (545...565 нм), 5 – (1230...1250 нм), 6 – (1628...1652 нм) и 7 – (2105...2155 нм). Оценка поверхностного спектрального коэффициента отражения вычисляется для каждой группы. Большинство спутниковых систем включает пять отличных уровней обработки данных. Данные коэффициента отражения земной поверхности по данным сканера MODIS определяются с помощью пакета MOD09. Модуль MOD\_PR09.exe управляют калиброванными данными об излучении в каждом доступном разрешении (1 км, 500 м и 250 м). Дневные данные исправляются для учета эффектов атмосферных газов и аэрозоля. Продукт MOD09A1 также содержит версию на 500 м и 1-километрового композита за 8-дневный период. Вспомогательные данные могут быть получены из архивов метеорологических данных и интерполированы по пространству и времени (давление, озон), или вычислены в пределах MOD\_PR09.exe (водяной пар, оптическая аэрозольная толщина).

Расчетная территория показана на рис. 1, который был взят на геоинформационном интернет портале Giovanni, обеспечивающем доступ к базам данных дистанционного зондирования. Были обработаны значения альbedo для территории Казахстана за 2006...2015 гг. Полученные результаты статистического анализа значений альbedo по длинам волн видимого участка спектра и ближнего инфракрасного участка (4 каналов) за летние периоды с 2004 по 2013 гг. (табл.). Показано, что изменение значений альbedo на исследуемой территории не превышает 10 % от их среднего значения (рис. 2).

Таблица

Результаты статистического анализа альbedo по территории Казахстана

Канал	Значение альbedo			
	Min	Max	Mean	Stdev
	Июль 2015			
Band 1	0,000100	0,746100	0,188173	0,0692523
Band 2	0,000100	0,705900	0,270034	0,0692562
Band 3	0,000100	0,704100	0,090047	0,0692361
Band 4	0,000100	0,728300	0,153912	0,0692447
	Июль 2014			
Band 1	0,000100	0,753800	0,205135	0,066953

Канал	Значение альbedo			
	Min	Max	Mean	Stdev
Band 2	0,000100	0,804200	0,280288	0,064687
Band 3	0,000100	0,730000	0,103757	0,038508
Band 4	0,001400	0,765800	0,167338	0,052145
Июль 2013				
Band 1	0,010000	0,863800	0,204825	0,073081
Band 2	0,010000	0,844700	0,280006	0,071425
Band 3	0,000100	0,780800	0,105437	0,043292
Band 4	0,000100	0,846100	0,167948	0,058710
Июль 2012				
Band 1	0,010000	0,687800	0,202115	0,070075
Band 2	0,010000	0,694900	0,276074	0,069091
Band 3	0,000100	0,592700	0,102740	0,040793
Band 4	0,004900	0,668000	0,166114	0,055603
Июль 2011				
Band 1	0,010000	0,759000	0,202172	0,068772
Band 2	0,010000	0,808500	0,274340	0,067284
Band 3	0,000100	0,716800	0,105248	0,041081
Band 4	0,006600	0,756300	0,167445	0,054288
Июль 2010				
Band 1	0,010000	0,719200	0,198824	0,067141
Band 2	0,010000	0,728500	0,271835	0,067241
Band 3	0,000100	0,620200	0,101942	0,041586
Band 4	0,002300	0,698000	0,162631	0,054334
Июль 2009				
Band 1	0,010000	0,735600	0,206402	0,067823
Band 2	0,010000	0,756500	0,278788	0,065736
Band 3	0,000100	0,634600	0,107163	0,044254
Band 4	0,000200	0,721000	0,168445	0,056456
Июль 2008				
Band 1	0,010000	1,060300	0,203561	0,069106
Band 2	0,010000	0,810900	0,269002	0,0946997
Band 3	0,000100	0,971100	0,108206	0,042520
Band 4	0,002700	1,043900	0,166990	0,055808
Июль 2007				
Band 1	0,010000	0,896600	0,201632	0,070239
Band 2	0,010000	0,812000	0,280367	0,072199
Band 3	0,000100	0,861000	0,106625	0,043597
Band 4	0,003600	0,889100	0,164819	0,056028
Июль 2006				
Band 1	0,010000	0,946800	0,195604	0,068644
Band 2	0,010000	0,877900	0,270600	0,073714
Band 3	0,000100	0,886600	0,102639	0,040162
Band 4	0,009000	0,941900	0,159675	0,053170

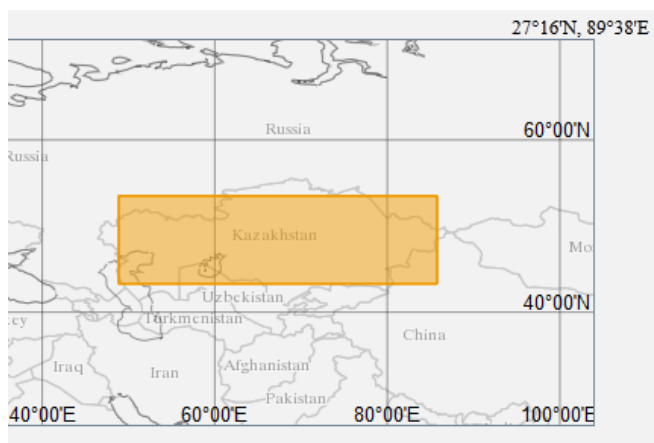


Рис. 1. Расчетная территория.

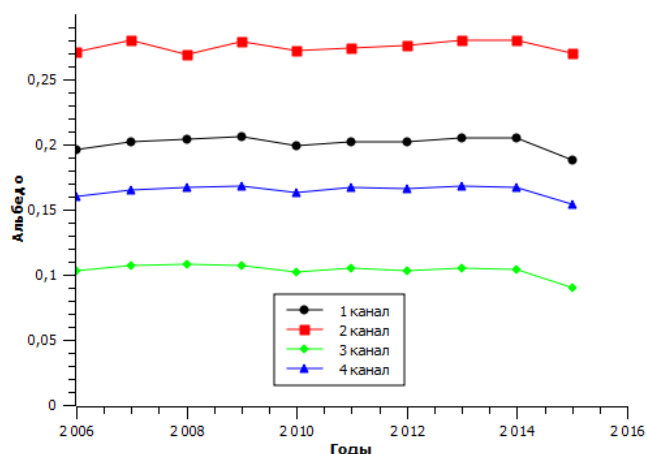


Рис. 2. Данные среднего значения альбедо по территории Казахстана за 2006...2015 годы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Израэль Ю.А., Рябошапка А.Г., Петров Н.Н. Сравнительный анализ геоинженерных способов стабилизации климата // Метеорология и гидрология. – 2009. – № 6. – С. 5-24.
2. Goode P.R., Qiu J., Yurchyshyn V., Hickey J., Chu M.C., Kolbe E., Brown C.T., Koonin S.E. Earthshine Observations of the Earth's Reflectance // Geophysical Research Letters. – 2001. – 28 (9). – P. 1671-1674.
3. Gurney R.J., Foster J.L. and Parkinson C.L. Atlas of Satellite Observations Related to Global Change // Great Britain.: Cambridge University Press, 1993. – 470 p.

4. Lenton T.M., Vaughan N.E. The radiative forcing potential of different climate geoengineering options // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2009. – V. 9. – P. 5539-5561.
5. Schiffer R.A., Rossow W.B. The International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP): The First Project of the World Climate Research Programme. // Bulletin of the American Meteorological Society, 1983. – 64. – P. 779-784.

Поступила 10.09.2016

Техн. ғылымд. докторы      А.Х. Ахмеджанов  
Техн. ғылымд. канд.        Т.К. Караданов

#### **СЕРІКТІК ЗОНДЫЛАУ МӘЛІМЕТТЕРІ БОЙЫНША ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫНДАҒЫ АЛЬБЕДОНЫҢ ӨЗГЕРУІ**

*Түйін сөздер:* атмосфера, альbedo, аэрозоль, күннің сәуле шағаруы, серік, зондылау

*Климаттың өзгеруі шарттарына байланысты альbedo мәндерінің қалыптасу ерекшеліктері қарастырылған. MODIS сканері мәліметтерін өңдейтін бағдарлама өнімдерінің мүмкіншіліктері суреттелген. Серіктік зондылау мәліметтері бойынша Қазақстан аумағындағы альbedo мәндерінің статистикалық талдау нәтижелері ұсынылған.*

Akhmedzhanov A.KH., Karadanov T.K.

#### **CHANGE ALBEDO THE TERRITORY OF KAZAKHSTAN FROM SATELLITE SENSING**

*Keywords:* atmosphere albedo, aerosols, solar radiation, satellite, sensing

*The peculiarities of formation of albedo values in a changing climate. Described some features of software products, data-processing of the MODIS scanner. The results of statistical analysis of values of the albedo on the territory of Kazakhstan according to satellite sensing are displayed.*