

УДК 551.521.3

А. Дж. Алиева¹,
М. Г. Ашрафов²,
С. О. Ахмедова³,
А.Э.Ибрагимова⁴

Исследование зависимости регионального альbedo земли и снежно-ледовой поверхности от метеорологических и географических показателей

¹Национальное Аэрокосмическое Агентство, г.Баку,
Азербайджанская Республика
e-mail: Amidec.b@gmail.com

²Национальное Аэрокосмическое Агентство, г.Баку,
Азербайджанская Республика
e-mail: Esrefov995544@gmail.com

³ Азербайджанский Государственный Экономический
университет (UNEC), г.Баку, Азербайджанская Республика
e-mail: axmedovasevda111@gmail.com

⁴Азербайджанский Государственный Университет Нефти и
Промышленности, г.Баку, Азербайджанская Республика
e-mail: Suleymanovae535@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены и решены две задачи, посвященные определению альbedo земной поверхности. В первой задаче исследуется влияние корреляционной связи между количеством осаждаемой воды и атмосферным давлением на альbedo отдельных зон земной поверхности. Подразумевается что высокое значение альbedo приводит к меньшей степени нагрева поверхности Земли, что может создать более комфортные условия для жизни в летний период года. В результате решения оптимизационной задачи определено, что максимальная величина альbedo поверхности земли будет наблюдаться при наличии отрицательной корреляционной связи между P и W , что соответствует зимнему периоду года. Вторая решаемая задача в настоящей статье посвящена исследованию альbedo смешанной снежно-ледовой поверхности горных территорий. Предложен смешанный снежно-ледовая модель поверхности горной местности и исследован экстремальный характер альbedo рассматриваемой модели в зависимости от вида функциональной зависимости температуры среды от высоты местности. Определено, что усредненная интегральная величина альbedo таких горных участков может иметь некоторый максимум, в зависимости от вида взаимосвязи температуры среды и высоты местности.

Ключевые слова: альbedo, пропускание атмосферы, нагрев поверхности, корреляционная связь, водяные пары, снежно-ледовая поверхность, горные зоны

Введение

Известны различные методы определения альbedo поверхности Земли. Такое разнообразие методов в первую очередь связано существенным влиянием альbedo на величину «чистой» (net) оптической радиации, которая, в свою очередь, играет фундаментальную роль в биофизических процессах, поддерживающих жизнь на планете [1-3].

Известны такие методы определения альбедо как метод использования данных каналов AVHRR [4], метод использования данных MODIS [5], модель предложенная в работе [6] и использованная в работах [7-9].

Альбедо широко используется в моделировании климатических процессов [10-12]. Согласно [13], альбедо земной поверхности вычисляется по формуле

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{atm}}{\tau_0^2} \quad (1)$$

где α_{toa} -планетарное альбедо, т.е. альбедо без атмосферной коррекции; α_{atm} -атмосферное альбедо; τ_0 -пропускание атмосферы оптической радиации.

Согласно работе [14], τ_0 может быть вычислено по формуле

$$\tau_0 = a_1 + a_2 \exp \left[-\frac{a_3 P_0}{k_1 \cos z} - a_4 \left(\frac{W}{\cos z} \right)^{a_5} \right] \quad (2)$$

где P_0 -локальное атмосферное давление (кПа); k_1 -коэффициент турбидности (мутности) воздуха и $k_1 = 0,5$ для очень мутного воздуха; z -зенитный угол Солнца; $a_1 = 0,35$; $a_2 = 0,627$; $a_3 = 0,00146$; $a_4 = 0,075$; $a_5 = 0,4$; W -количество осажденной воды (мм).

Согласно уравнению Гаррисона и Адлера, между показателями W и P_0 существует следующая корреляционная связь

$$W = 0,14e_a P_0 + 2,1 \quad (3)$$

где e_a - парциальное давление водяных паров в атмосфере.

Как видно из выражения (3), это уравнение предполагает существование положительной корреляции между W и P_0 . Однако, как было показано в дальнейших исследованиях, это далеко не так [15].

В целом, W определяется на базе усредненной величины относительной влажности в слое воздуха, где атмосферное давление находится в пределах 300-600 гПа (UTH).

Количество осажденной воды определяется по формуле [16]

$$W = \frac{1}{g} \int UTH \cdot q_{vs} \cdot dp \quad (4)$$

где q_{vs} -показатель насыщения воздуха водяными парами, т.е. максимальное количество воды, которые может содержаться в воздухе при фиксированных величинах давления и температуры; dp -изменение давления по высоте.

Как отмечается в работе [15], на территориях с высоким атмосферным давлением в зимний период (калифорния, США), наблюдалась слабая отрицательная корреляция между W и P_0 . Однако, в летний период в том же региона наблюдалась положительная корреляция между указанным показателями.

Согласно [16], сильная отрицательная корреляция между P и W наблюдается в зимнее время из-за прихода холодной и сухой воздушной массы, создающего высокое атмосферное давление. Этот факт хорошо иллюстрирует статистическая диаграмма результатов соответствующих измерений, показанная на рис. 1.

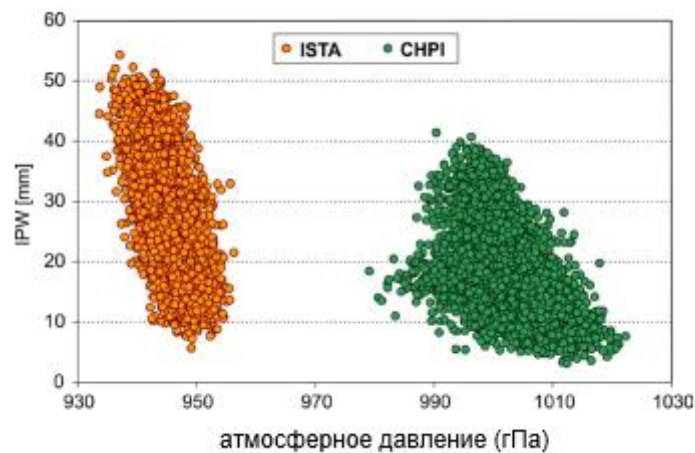


Рис. 1. Статистическая диаграмма, показывающая наличие сильной отрицательной корреляционной связи между P и W

Составлен авторами

Как отмечается в работе [15] зависимость между P и W зависит не только от рассматриваемого региона, но и также от времени года, с учетом прихода активных атмосферных воздушных масс.

В таблице 1 приведены соответствующие данные, заимствованные с работе [15], в которой приведены значения указанной корреляции, вычисленных по результатам проведенных измерений в Европе, в различных измерительных станциях:

Таблица 1.

Данные результатов определения характера корреляции между P и W .

1	2	3	4
HOFN	2002-2013	3526	0.056
QAQ1	2003-2013	3710	0.273
THU2	2003-2013	3796	0.031
THU3	2003-2013	3888	0.032
YSSK	2000-2013	3966	-0.206
KIT3	2004-2013	2712	-0.847
WUHN	2002-2013	2748	-0.767
LHAS	1997-2013	4011	-0.121
CHUR	2000-2010	3159	-0.541

Условные обозначения столбцов таблицы: 1-условное название станции проведения измерений; 2-годы проведения измерений; 3-количество проведенных измерений; 4-коэффициент корреляции

Составлена авторами

Как видно из вышеизложенного, формула Гаррисона и Адлера предполагает наличие только положительной корреляции, что верно только для летнего сезона. С учетом вышеизложенного первая задача исследования в данной статье сформулирована следующим образом: Следует определить тип корреляции между P и W при котором альбедо земной поверхности достигает экстремальной величины.

По второй решаемой задаче в настоящей статье следует отметить, что альбедо снежной поверхности изучено достаточно широко [17-20]. Согласно этим

работам, при условии неизменного освещения альbedo снежного покрытия α_s зависит от эффективного размера снежных зерен, однако наличие в снегу всяких загрязнителей, в особенности сажи приводит резкому уменьшению α_s . Наличие воды в снегу также уменьшает α_s путем увеличения эффективного размера снежных зерен [21]. Плотность снега незначительно влияет на α_s , однако слишком тонкое снежное покрытие имеет меньшую величину α_s , т.к. нисходящая оптическая радиация может быть поглощена нижним ледовым слоем.

В отличие от снежного покрытия, альbedo ледовых покрытий изучено сравнительно неглубоко [22]. Из-за рассеяния света всякого рода разломами имеющихся во льде альbedo льда α_i увеличивается. Однако наличие грязи, пыли и воды в составе льда приводит к уменьшению α_i . В общем случае α_s и α_i увеличиваются с ростом зенитного угла Солнца из-за эффекта рассеяния вперед оптической радиации.

В отличие от устоявшегося подхода раздельного исследования альbedo снежного и ледовых покрытий горной местности далее, в настоящей статье развивается концепция смешанного горного участка в котором существуют зоны со снежным и ледовым покрытием раздельно. Вводится на рассмотрение такое понятие, как альbedo смешанного горного снежно-ледового участка. Проводимый анализ показывает экстремальный характер, этого показателя в зависимости от вида взаимосвязи таких показателей как высота горной зоны и температура в ней.

Материалы и методы

Рассмотрим предлагаемое решение первой из сформулированных выше задач. Как видно из выражения (1) минимум α может быть достигнут при условии достижения максимума τ_0 . С учетом неоднозначности знака корреляции между P и W , приняв условие линейно нарастающей или убывающей взаимосвязи между этими показателями (рис.2), примем следующие ограничительные условия

$$\int_{W_{min}}^{W_{max}} P_1(W) dW = C_1; C_1 = const \quad (5)$$

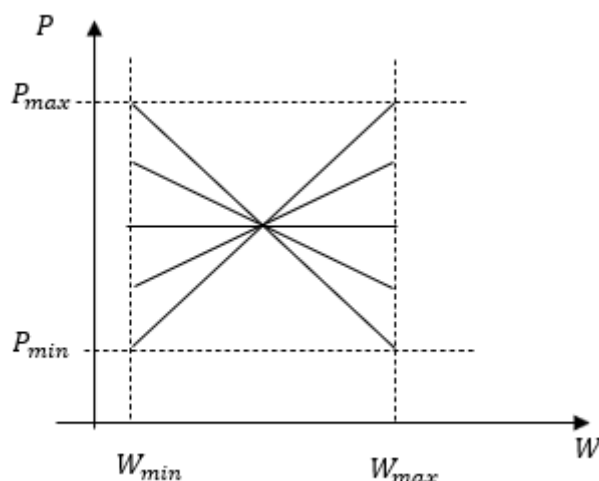


Рис. 2. Принятая к рассмотрению модельная взаимосвязь показателей W и P , где $P_1(W)$ -модельное выражение корреляционной зависимости между P и W .

Составлена авторами

С учетом (2), (5), целевой функционал F_1 сформулируем в следующем виде

$$F_1 = \int_{W_{\min}}^{W_{\max}} a_1 + a_2 \exp \left[-\frac{a_3 P_1(W)}{k_1 \cos z} - a_4 \left(\frac{W}{\cos z} \right)^{a_5} \right] dW \quad (6)$$

С учетом выражений (5) и (6) составим целевой функционал безусловной вариационной оптимизации F_0 :

$$F_0 = \int_{W_{\min}}^{W_{\max}} a_1 + a_2 \exp \left[-\frac{a_3 P_1(W)}{k_1 \cos z} - a_4 \left(\frac{W}{\cos z} \right)^{a_5} \right] dW + \lambda \left[\int_{W_{\min}}^{W_{\max}} P_1(W) dW - C_1 \right] \quad (7)$$

где λ -множитель Лагранжа.

Согласно методу Эйлера, экстремаль задачи (7) удовлетворяет следующему условию

$$\frac{d \left\{ a_1 + a_2 \exp \left[-\frac{a_3 P_1(W)}{k_1 \cos z} - a_4 \left(\frac{W}{\cos z} \right)^{a_5} \right] + \lambda_1 P_1(W) \right\}}{dP_1(W)} = 0 \quad (8)$$

Из условия (8) получим

$$-a_4 a_5 a_2 \left[\exp \left[-\frac{a_3 P_1(W)}{k_1 \cos z} - a_4 \left(\frac{W}{\cos z} \right)^{a_5} \right] \right] \left(\frac{a_3}{k_1 \cos z} \right)^{a_5-1} + \lambda = 0 \quad (9)$$

Из выражения (9) получаем

$$\exp \left[-\frac{a_3 P_1(W)}{k_1 \cos z} - a_4 \left(\frac{W}{\cos z} \right)^{a_5} \right] = \frac{\lambda}{a_4 a_5 a_2} \left(\frac{k_1 \cos z}{a_3} \right)^{a_5-1} \quad (10)$$

Логарифмируя обе стороны (10) находим

$$-\frac{a_3 P_1(W)}{k_1 \cos z} - a_4 \left(\frac{W}{\cos z} \right)^{a_5} = \ln \frac{\lambda}{a_4 a_5 a_2} \left(\frac{k_1 \cos z}{a_3} \right)^{a_5-1} \quad (11)$$

Осуществив перестановку членов в (11) получим

$$\frac{a_3 P_1(W)}{k_1 \cos z} = \ln \frac{\lambda}{a_4 a_5 a_2} \left(\frac{a_3}{k_1 \cos z} \right)^{a_5-1} - a_4 \left(\frac{W}{\cos z} \right)^{a_5} \quad (12)$$

Из выражения (12) окончательно находим

$$P_1(W) = \frac{k_1 \cos z}{a_3} \ln \frac{a_4 a_5 a_2}{\lambda} \left(\frac{a_3}{k_1 \cos z} \right)^{a_5-1} - \frac{a_4 k_1 \cos z}{a_3} \left(\frac{W}{\cos z} \right)^{a_5} \quad (13)$$

Как видно из модельного (13) между P и W существует отрицательная корреляция и при этом, согласно условию Лагранжа функционал F_0 достигает минимума, что в свою очередь соответствует максимуму альбедо. С метеорологической точки зрения, можно полагать, что при наличии отрицательной корреляционной связи между P и W альбедо поверхности Земли достигнет максимума, отражение оптической радиации возрастет и воздух похолодает. Так как летом согласно вышеизложенному обзорному материалы наблюдается положительная корреляция, то альбедо не достигает экстремума, происходит больший нагрев поверхности Земли.

Рассмотрим вопрос об определении множителя λ . Выражение (13) представим в виде

$$P_1(W) = d_1 \ln \frac{d_2}{\lambda} - d_3 W^{a_5} \quad (14)$$

$$\text{где } d_1 = \frac{k_1 \cos z}{a_3}; d_2 = a_4 a_5 a_2 \left(\frac{a_3}{k_1 \cos z} \right)^{a_5-1}; d_3 = \frac{a_4 k_1 \cos z}{a_3}.$$

Из выражения (14) получим

$$P_1(W) = d_1 \ln d_2 - d_1 \ln \lambda - \ln d_2 - d_3 W^{a_5} \quad (15)$$

С учетом выражений (5) и (15) получим

$$\int_{W_{\min}}^{W_{\max}} d_1 \ln d_2 dW - \ln \lambda \int_{W_{\min}}^{W_{\max}} d_1 dW - d_3 \int_{W_{\min}}^{W_{\max}} W^{a_5} dW = C_1 \quad (16)$$

Из выражения (16) находим

$$\ln \lambda = \frac{\int_{W_{min}}^{W_{max}} d_1 \ln d_2 dW - d_3 \int_{W_{min}}^{W_{max}} W^{a_5} dW - C_1}{\int_{W_{min}}^{W_{max}} d_1 dW} \quad (17)$$

Из выражения (17) имеем

$$\lambda = \exp \left[\frac{\int_{W_{min}}^{W_{max}} d_1 \ln d_2 dW - d_3 \int_{W_{min}}^{W_{max}} W^{a_5} dW - C_1}{\int_{W_{min}}^{W_{max}} d_1 dW} \right] \quad (18)$$

Выражения (13) и (18) определяют полное решение оптимизационной задачи (7). Таким образом, первую из рассматриваемых задач можно считать решенной.

Рассмотрим предлагаемое решение второй задачи. Предлагаемая модель смешанной снежно-ледовой горной зоны, применительно к общему альбедо такого горного участка имеет вид

$$\alpha_{cm} = \alpha_s^{b_1} \cdot \alpha_i^{b_2} \quad (19)$$

где $b_1, b_2 = const$; $b_1 + b_2 = 1$.

Далее для определенности примем $b_1 = b_2 = 0,5$.

Следовательно, в этом случае, из (19) получим

$$\alpha_{cm}^2 = \alpha_s \alpha_i \quad (20)$$

Несколько подробно рассмотрим существующие модели α_s и α_i отдельно.

Касательно α_s известны модели как для толстого слоя снега, так и тонкого. Для снега толщиной более 0,5 см существует модель [22]

$$\alpha_{ds} = 0,713 - 0,112 \log_{10} T_a \quad (21)$$

где T_a -температура среды; α_{ds} -альбедо толстого слоя снега.

Для тонкого слоя снега, толщиной менее 0,5 см существует модель [22]

$$\alpha_{ss} = \alpha_U + 0,442 \exp(-0,058 T_a) \quad (22)$$

В общем случае, согласно [25], зависимость α_s от T_a имеет экспоненциальный характер, т.е.

$$\alpha_s = P_1 + P_2 \exp(-P_3 T_a) \quad (23)$$

Вместе с тем, согласно [24], имеет место линейная зависимость α_s от T_a .

Что касается альбедо ледовой поверхности α_i горной местности, то согласно [22] основным фактором, влияющим на α_i является высота рассматриваемого участка E . Указанная зависимость имеет вид

$$\alpha_i = (490,88 - 0,34372E + 6,077 \cdot 10^{-5} E^2)^{-1}; r^2 = 0,28$$

или

$$\alpha_i = (P_4 - P_5 E + P_6 E^2)^{-1}; P_1, P_2, P_3 = const \quad (24)$$

С учетом выражений (20), (23), (24) получим

$$\alpha_{cm}^2 = \frac{[P_1 + P_2 \exp(-P_3 T_a)]}{P_4 - P_5 E + P_6 E^2} \quad (25)$$

Значение альбедо смешанного участка согласно (25) зависит от показателей E и T_a . В дальнейшем, введем на рассмотрение функциональную зависимость

$$T_a = f(E) \quad (26)$$

Функциональная зависимость (26) физически вполне очевидна, т.к. с увеличением E температура однозначно уменьшается.

С учетом выражений (25) и (26) имеем

$$\alpha_{cm}^2 = \frac{P_1 + P_2 \exp[-P_3 f(E)]}{P_4 - P_5 E + P_6 E^2} \quad (27)$$

Введем на рассмотрение такое понятие, как средневысотное альбедо горной местности α_0 определяемое как

$$\alpha_0 = \sqrt{\frac{1}{E_{max}} \cdot \int_0^{E_{max}} \alpha_{cm}^2 dE} \quad (28)$$

С учетом выражений (27) и (28) получим

$$\alpha_0 = \sqrt{\frac{1}{E_{max}} \cdot \int_0^{E_{max}} \left[\frac{P_1 + P_2 \exp[-P_3 f(E)]}{P_4 - P_5 E + P_6 E^2} \right] dE} \quad (29)$$

Следовательно, для исследования экстремальных свойств α_0 достаточно исследовать выражение, стоящее под корнем в (29), т. е. вычислить вид функции $f(E)$ при которой функционал, стоящий под корнем достиг бы экстремума.

Для решения указанного вопроса по методу безусловной вариационной оптимизации применим к искомой функции $f(E)$ следующее интегральное ограничительное условие

$$\int_0^{E_{max}} f(E) dE = C; \quad C = const \quad (30)$$

Математически, условие (30) означает поиск оптимального вида функции $f(E)$ в подклассе непрерывных и дважды дифференцируемых функций, удовлетворяющих требованию (30). Возможный вид функций $f(E)$ показан на рис. 3.

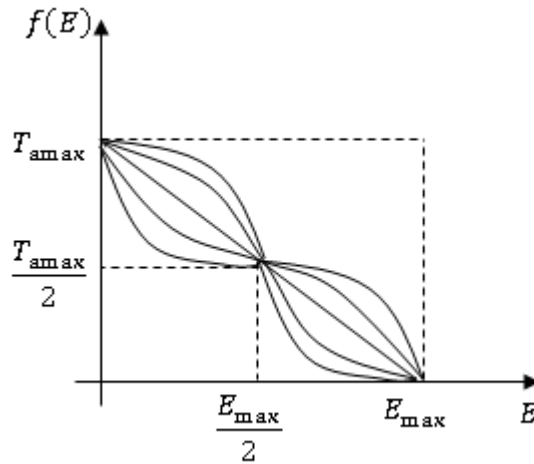


Рис. 3. Возможные модели функции $f(E)$, удовлетворяющие условию (30)
Составлен авторами

С учетом выражений (29) и (30) целевой функционал F_0 безусловной вариационной оптимизации имеет вид

$$F_0 = \int_0^{E_{max}} \left[\frac{P_1 + P_2 \exp[-P_3 f(E)]}{P_4 - P_5 E + P_6 E^2} \right] dE + \lambda \left[\int_0^{E_{max}} f(E) dE - C \right] \quad (31)$$

где λ -множитель Лагранжа.

Согласно [25] оптимизационная задача (30), должно иметь решение, удовлетворяющее условию

$$\frac{d \left\{ \frac{P_1 + P_2 \exp[-P_3 f(E)] + \lambda f(E)}{P_4 - P_5 E + P_6 E^2} \right\}}{df(E)} = 0 \quad (32)$$

Из условия (32) получим

$$\frac{-P_2 P_3}{\psi(E)} \exp[-P_3 f(E)] + \lambda = 0 \quad (33)$$

где $\psi(E) = P_4 - P_5 E + P_6 E^2$.

Из выражения (33) находим

$$\exp[-P_3 f(E)] = \frac{\lambda}{P_2 P_3} \quad (34)$$

Из выражения (34) получаем

$$f(E) = \frac{1}{P_3} \ln \frac{P_2 P_3}{\lambda \psi(E)} \quad (35)$$

Для вычисления множителя Лагранжа воспользуемся выражениями (31) и (35), имеем

$$\int_0^{E_{max}} \frac{1}{P_3} \left[\ln \frac{P_2 P_3}{\lambda \psi(E)} \right] dE = C \quad (18)$$

Из выражения (36) получаем

$$\int_0^{E_{max}} \ln P_2 P_3 dE - \int_0^{E_{max}} \ln \lambda dE - \int_0^{E_{max}} \ln \psi(E) dE = C P_3 \quad (37)$$

Из выражения (37) получим

$$\ln \lambda = \frac{[\ln P_2 P_3] E_{max} - \int_0^{E_{max}} \psi(E) dE - C P_3}{E_{max}} \quad (38)$$

Из выражения (38) находим

$$\lambda = \exp \left[\ln P_2 P_3 - \frac{\int_0^{E_{max}} \psi(E) dE - C P_3}{E_{max}} \right] = \frac{P_2 P_3}{\exp \left[\frac{\int_0^{E_{max}} \psi(E) dE - C P_3}{E_{max}} \right]} \quad (38)$$

Таким образом, с учетом выражений (34) и (38) имеем

$$f(E) = \frac{1}{P_3} \ln \left[\frac{1}{\frac{1}{\exp \left[\frac{\int_0^{E_{max}} \psi(E) dE - C P_3}{E_{max}} \right]} \cdot \psi(E)} \right] = \frac{\int_0^{E_{max}} \psi(E) dE - C P_3}{P_3 E_{max}} - \frac{\ln \psi(E)}{P_3} = C_1 - \frac{\ln \psi(E)}{P_3} \quad (40)$$

где

$$C_1 = \frac{\int_0^{E_{max}} \psi(E) dE - C P_3}{P_3 E_{max}}; C_1 = const \quad (41)$$

Согласно [22] функция $\psi(E)$ имеет экстремальный вид, который приведен на рис. 4.

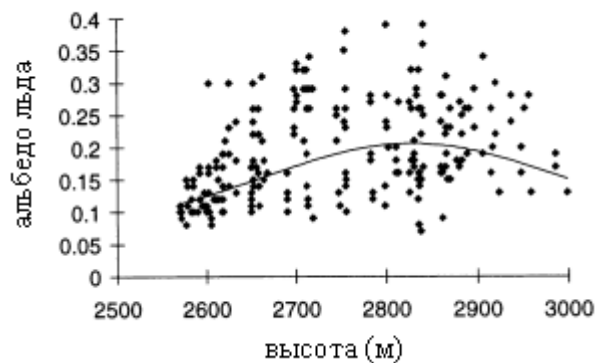


Рис. 4. Регрессионная нелинейная функция зависимости $\psi(E)$, показывающая зависимость температуры T_a от высоты местности

Составлен авторами

С учетом $C_1 = const$ и $P_3 = const$ а также учитывая выпуклый вид функции $T_a = f(E)$ с некоторым максимумом, можно предположить, что оптимальный вид $f(E)$ приводящий функционал F_0 к экстремуму будет иметь некоторый минимум.

При этом, указанный экстремум является максимумом, т.к. производная выражения (32) по искомой функции всегда оказывается отрицательной величиной.

Обсуждение

Сформулирована и решена первая задача исследования, посвященная оценке влияния характера корреляционной связи между количеством осажденной воды и атмосферным давлением в отдельных регионах на альбедо земной поверхности. При этом учитывается, что высокое значение альбедо означает меньшую степень нагрева поверхности Земли, что может создать более комфортные условия для жизни в летний период года. Согласно полученному решению максимальная величина альбедо поверхности земли будет наблюдаться при наличии отрицательной корреляционной связи между P и W , что соответствует зимнему периоду года. При этом, известная формула Гаррисона и Адлера, определяющая наличие положительной корреляционной связи между P и W справедлива только для летнего сезона в году, когда согласно полученному решению не может быть наблюдаена максимальное значение альбедо, что содействует нагреву поверхности Земли.

По второй решаемой задаче предложен смешанный снежно-ледовая модель поверхности горной местности и исследован экстремальный характер альбедо рассматриваемой модели в зависимости от вида функциональной зависимости температуры среды от высоты местности. Показано, что при наложении некоторого интегрального ограничения на указанную зависимость усредненная величина альбедо рассматриваемой снежно-ледовой местности может иметь минимум в зависимости от вида указанной зависимости. С применением метода вариационной оптимизации получена аналитическая формула такой зависимости.

Выводы

1. С учетом того, известная формула Гаррисона и Адлера предусматривает наличие только положительной корреляции между P и W , а в реальности указанная корреляция в основном отрицательная, то данная формула не может быть применена для метеорологических расчетов применительно к зимнему сезону.
2. Несмотря на то, что указанная формула частично верна для летнего сезона, определено, что максимальная величина альбедо в любом сезоне года возможна при наличии отрицательной корреляции между P и W , т.е. эффект охлаждения погоды за счет увеличения альбедо летом следует ожидать при наличии именно отрицательной корреляционной связи между P и W .
3. Предложена модель смешанной снежно-ледовой горной местности и разработана методика для вычисления альбедо таких горных участков.
4. Показано, что усредненная интегральная величина альбедо таких горных участков может иметь некоторый максимум, в зависимости от вида взаимосвязи температуры среды и высоты местности.
5. Вычислен оптимальный вид указанной зависимости $T_a = f(E)$ при которой усредненная величина альбедо снежно-ледяных горных участков достигает максимума.

Литература

1. Giongo, P. R.; Moura, G. B. A.; Silva, B. B. da; Rocha, H. R. da; Medeiros, S. R. R. de; Nazareno, A. C. Albedo à superfície a partir de imagens Landsat 5 em áreas de cana-de-açúcar e cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.279-287, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000300007>.
2. Lopes, P. M. O.; Valeriano, D. de M.; Silva, B. B. da; Moura, G. B. A.; Silva, A. O. Simulação do saldo de radiação na Serra da Mantiqueira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.780-789, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000700013>.
3. Souza, J. D. de; Silva, B. B. da; Ceballos, J. C. Surface albedo obtained with MODIS images in cases of low and high aerosol loading in the atmosphere. *Revista Brasileira de Geofísica*, v.32, p.5-20, 2014.
4. Liang, S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I Algorithms. *Remote Sensing of Environment*, v.76, p.213-238, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00205-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00205-4).
5. Zhong, Q.; Li, Y. H. Satellite observation of surface albedo over the Qinghai-Xizang plateau region. *Advances in Atmospheric Science*, v.5, p.57-65, 1988. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02657346>.
6. Bezerra, J. M.; Moura, G. B. de A.; Silva, B. B. da; Lopes, P. M. O.; Silva, E. F. de F. e. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.123-130, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000100010>.
7. Machado, C. C. C.; Silva, B. B. da Albuquerque, M. B.; Galvêncio, J. D. Estimativa do Balanço de energia utilizando imagens TM - Landsat 5 e o algoritmo SEBAL no litoral sul de Pernambuco. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.29, p.55-67, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862014000100006>.
8. Mattar, C.; Franch, B.; Sobrino, J. A.; Corbari, C.; Jiménez-Muñoz, J. C.; Olivera-Guerra, L.; Skokovic, D.; Sória, G.; Oltra-Carriò, R.; Julien, Y.; Mancini, M. Impacts of the broadband albedo on actual evapotranspiration estimated by S-SEBI model over an agricultural area. *Remote Sensing of Environment*, v.147, p.23-42, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.011>.
9. Krayenhoff, E. S.; Voogt, J. A. Impacts of urban albedo increase on local air temperature at daily-annual time scales: model results and synthesis of previous work. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v.49, p.1634-1648, 2010. <http://dx.doi.org/10.1175/2010JAMC2356.1>.
10. Mueller, R.; Trentmann, J.; Trager-Chatterjee, C.; Posselt, R.; Reto Stockli, R. The role of the effective cloud albedo for climate monitoring and analysis. *Remote Sensing*, v., p.2305-2320, 2011.
11. Tasumi, M.; Allen, R. G.; Trezza, R. At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface balance. *Journal of Hydrologic Engineering*, v.13, p.51-63, 2008. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2008\)13:2\(51\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2008)13:2(51)).
12. Silva B. B., Braga A. C., Braga C. C., Oliveira M. M., Junior B. B. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian

- semi-arid// Revists Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental. V. 20. N. 1. P. 3-8. 2016.
13. Garrison, J. D., and Adler, G. P. 共1990天. “Estimation of precipitable waterover the United States for application to the division of solar radiationinto its direct and diffuse components.” Sol. Energy,44共4天, 225–241.
 14. Kruczyk M. Integrated precipitable water from GNSS as a climate parameter// Geoinformation issues. Vol. 6. No 1(6). 21-35. 2013.
 15. Marin J. C., Pozo D., Cure M. Estimating and forecasting the precipitable water vapor from GOES satellite data at high altitude sites// Astronomy & astrophysics. 573. A41. 2015.
 16. Michał Kruczyk. Integrated Precipitable Water from GNSS as a climate parameter. Geoinformation Issues Vol. 6, No 1 (6), 21–35/2013
 17. Dozier J. Remote sensing of snow in visible and near-infrared wavelengths// Theory and applications of optical remote sensing. New York. Pp. 527-547. 1989.
 18. Barry R. G. The parameterization of surface albedo for sea ice and its snow cover// Prog. Phys. Geogr. 20(1). Pp. 63-79. 1996.
 19. Warren S. G., Wiscombe W. J. A model for the spectral albedo of snow II snow containing on the tongue of Hintereisferner, Austrian Alps// J. Atmos. Sci. 37(12). 2734-2745. 1980.
 20. Wiscombe W. J., Warren S. G. A model for the spectral albedo of snow I pure snow// J. Atmos. Sci. 37(12). 2712-2733. 1980.
 21. Colbeck S. G. Grain clusters in wet snow// J. Colloid Interface Sci. 72(3). Pp. 371-384. 1979.
 22. Brock B. W., Willis I. C., Sharp M. J. Measurement and parameterization of albedo variations at Haut Glacier d’Arolla, Switzerland// Journal of glaciology. Vol. 46. No. 155. 2000.
 23. Ranzi R., Rossi R. A physically based approach to modelling distributed snowmelt in a small alpine catchment// International association of hydrological sciences publication 205. Pp. 141-152. 1991.
 24. Winther J. G. Short and long-term variability of snow albedo// Nord. Hydrol. 24(2-3). Pp. 199-212. 1993.
 25. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление// М. Наука. 1974. Стр. 432.

A. J. Aliyeva¹,
M. G. Ashrafov²,
S. O. Akhmedova³
A. E. Ibragimova⁴

Study of the dependence of the regional albedo of the earth and the snow-ice surface on meteorological and geographical indicators

¹National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan
e-mail: Amidec.b@gmail.com

²National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan
e-mail: Esrefov995544@gmail.com

³ Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Republic of Azerbaijan
e-mail: axmedovasevda111@gmail.com

⁴Azerbaijan State University of Petroleum and Industry, Baku, Republic of Azerbaijan
e-mail: Suleymanovae535@gmail.com

Abstract. The article discusses and solves two problems related to determining the albedo of the Earth's surface. The first task examines the effect of the correlation between the amount of deposited water and atmospheric pressure on the albedo of individual zones of the Earth's surface. It is assumed that a high albedo value leads to a lower degree of heating of the Earth's surface, which can create more comfortable living conditions in the summer. As a result of solving the optimization problem, it was determined that the maximum value of the albedo of the earth's surface will be observed in the presence of a negative correlation between P and W , which corresponds to the winter period of the year. The second problem to be solved in this article is devoted to the study of the albedo of the mixed snow-ice surface of mountainous territories. A mixed snow-ice model of the surface of a mountainous area is proposed and the extreme nature of the albedo of the model under consideration is investigated depending on the type of functional dependence of the ambient temperature on the height of the terrain. It is determined that the average integral value of the albedo of such mountain areas may have a certain maximum, depending on the type of relationship between ambient temperature and terrain altitude.

Keywords: albedo, atmospheric transmission, surface heating, correlation, water vapor, snow-ice surface, mountain zones.

Поступила в редакцию 25.12.2025 г.