

УДК 551.

doi:10.20998/2413-4295.2016.25.21

ТЕОРЕТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ІЧ ТА НВЧ РАДІОМЕТРІЇ НА ПРИКЛАДІ СУПУТНИКОВОГО ПРОЕКТУ NASA – JAXA**В. І. МИХАЙЛОВ, Н. В. КУЧЕРЕНКО*, О. Г. БАРГАН**

Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», м. Одеса, УКРАЇНА
*e-mail: tsb1@ukr.net

АНОТАЦІЯ Розглядається проблема відповідності даних про температуру води в рідкому стані, отриману дистанційними методами за рахунок випромінювання, та температуру, яку отримують контактним, тобто, термодинамічну температуру.

Ключові слова: skin – шар води, радіояскравісна температура, термодинамічна температура, супутникові методи, інфрачервоне випромінювання.

THEORETICAL PROBLEMS OF APPLICATION OF INFRARED AND MICROWAVE RADIOMETRY ON THE EXAMPLE OF NASA– JAXA SATELLITE PROJECT**V. MIKHAILOV, N. KUCHERENKO*, O. BARGAN**

Research Center of the Armed Forces of Ukraine " State Oceanarium ", c. Odessa, Ukraine
*e-mail: tsb1@ukr.net

ABSTRACT The problem of matching the data on the temperature of water in the liquid state, which is obtained by remote sensing, as a result of the radiation, and the water temperature measured by the conventional contact methods (thermodynamic temperature). Physical causes the formation of radiating skin-layer hydrosphere discussed in detail. It is proved that the cause of the formation of cold skin-layer is radiation, not evaporation, as previously thought. It was shown that skin - layer is continuously existing natural formation on the surface of the hydrosphere because it has a lower density (relatively low salinity, low temperature, especially frontier structure, high gas saturation through which water becomes more structurally ordered (quasi-crystalline) and lighter). It serves as the self-energy and mass exchange between the ocean and atmosphere interactions downward, that leads contact layer system ocean - atmosphere to condition the lowest possible entropy in the circumstances. The temperature of the ocean surface in the infrared and microwave bands, obtained by remote methods - is the temperature, which characterizes the ocean as a result of its interaction with the atmosphere at some point. Therefore, the exact function of the transition from brightness water temperature (energy characteristics of a thin surface layer) to bulk thermodynamic temperature, in the light of the research and theory can not exist.

Keywords: skin - layer of water, brightness temperature, thermodynamic temperature, satellite techniques, infrared radiation.

Вступ

Розглядається проблема відповідності отриманих дистанційно даних температури поверхні океану (ТПО, skin – шар, ПМШ - поверхневий мікрошар) та температури атмосферних опадів нашим уявленням про температуру води, яку отримували контактним та використовували для дослідження процесів, що відбуваються безпосередньо в океані, в межах взаємодії океану та атмосфери, моделювання цих процесів. Температура є фізичним параметром, який впливає практично на всі головні характеристики води. Наприклад, густину морської води, яка входить до всіх загальновідомих формул динаміки, швидкість звуку у воді; формул обміну теплом та масою між океаном та атмосферою та ін.

Постановка та актуальність проблеми

Скануючі багатоканальні ІЧ-радіометри, встановлені на метеорологічних супутниках, є нині основним засобом отримання інформації про температуру гідросфери в районах, вільних від

хмарності, туману і аерозольних викидів. НВЧ методи досліджень здатні отримувати інформацію про температуру в будь-який час доби і при будь-якій погоді [1]. Однак, ця енергетична інформація характеризує не тільки температуру досліджуваної поверхні, але й інші фізичні фактори стану водної поверхні.

Супутникові спостереження дуже ефективні та економічні. Використання для досліджень гідросфери Землі контактних методів вимірювання температури, що мають обмежені можливості за просторовим дозволом і не дають змоги з достатньою точністю оцінювати температуру самої поверхні води, можна вважати архаїчними. Дистанційні неконтактні методи вимірювання температури океану мають ряд переваг в порівнянні з традиційними контактними методами, головні з яких очевидні – це, по-перше, можливість оперативного збору інформації з великої території за невеликий проміжок часу; по-друге, - відсутність безпосереднього контакту датчика з об'єктом, температура якого вимірюється, тобто датчик не впливає на теплове поле об'єкта; по-третє, висока чутливість та невелика інерційність приймачів

випромінювання, які використовуються [3]. Якість та достовірність супутникових досліджень безпосередньо залежить від рівня їх метрологічного забезпечення та точності радіометричного калібрування зондуючої апаратури, від точності, з якою відомі випромінювальні характеристики водної поверхні, а також від впливу проміжного шару атмосфери. При цьому виникає завдання оцінки та підвищення точності даних дистанційного зондування температури морської поверхні. Рішенням цього вважається зіставлення (калібровка) супутникових даних з даними контактних вимірювань, що проводяться безпосередньо в морі, і які беруться за еталонні. Але при зіставленні даних дистанційного моніторингу температури поверхні гідросфери і контактних вимірювань виникає ряд теоретичних проблем, які ми розглянемо в даному дослідженні.

Супутникове обладнання та ефективне програмне забезпечення дають можливість отримувати, обробляти та аналізувати отриману інформацію з метою діагнозу та прогнозу процесів в океані та атмосфері. Для створення ефективного обладнання з отримання супутникової інформації в багатоспектральному діапазоні, необхідно оперувати коректними моделями фізичних процесів, які враховуються при створенні алгоритму розрахунку. Так, наприклад, у найсучаснішому проекті NASA – JAXA, в якому здійснюється моніторинг атмосферних опадів з використанням радіолокації, інфрачервоної та надвисокочастотної радіометрії вважається, що ефективність випромінювання морської поверхні в інфрачервоному діапазоні відрізняється від випромінювання водяних крапель [4]. При обробці даних використовуються різні алгоритми обробки ІЧ вимірювань температури водяних крапель та морської поверхні. Це методичне рішення нам здається помилковим і потребує уточнення, в першу чергу на теоретичному рівні. Це стосується, в основному, абсолютно аномальних властивостей води, які обумовлені особливостями її структури, яка в свою чергу формується особливостями динаміки міжмолекулярних зв'язків, які є результатом того, що молекула води є диполь, тобто має два різнойменно заряджені полюси. Завдяки цьому (водневому зв'язку), молекули води створюють різнонасичені асоціації молекул, які реагують на зовнішній вплив як одне ціле. Звідси, відповідно до другого закону Ньютона, і реакції (у фізичному сенсі) різних конструкцій асоціацій будуть різними, що і обумовлює непередбачуваність фізичних властивостей води (відносно аналогів води, тобто з'єднань водню з елементами VI підгрупи таблиці хімічних елементів Д.І.Менделєєва). Тобто, вода ніби має різну молекулярну вагу в різних умовах. Більш того, на межах фаз (рідина – газ, рідина - тверде тіло) вода, навіть при позитивних температурах, має льодоподібну квазікристалічну структуру з усіма властивостями, які відповідають властивостям льоду. Поверхня океану, так само, як і поверхня крапель

води, завжди знаходиться на межі фаз вода – повітря, тобто має квазікристалічну структуру, яка радикально відрізняється від структури води в об'ємі і яка, безумовно, буде впливати на випромінювальну здатність води, тобто на інтенсивність та якісний склад випромінювання на різних довжинах хвиль [5, 6, 11, 13].

На нашу думку у проекті NASA – JAXA також не приділяється необхідної уваги різниці між термодинамічною та радіяскаврісною температурами, існуванню фундаментальних відмінностей передачі енергії електромагнітними хвилями та контактним теплообміном, які потребують досліджень. Тобто, неузгодженість супутникових і контактних даних температури води виникає також і через відмінності фізичних принципів вимірювань. Крім того, на сучасному етапі, отриману ТПО за радіяскаврісною температурою порівнюють з термодинамічною температурою, вимірюючи не в поверхневому мікрошарі гідросфери (skin – шарі) а в об'ємі води.

Стан вивченості проблеми (температурний skin-шар океану)

Відомо, що температура не може бути виміряна безпосередньо. Про зміну термодинамічної температури судять за зміною фізичних властивостей тіл: об'єму, тиску, електричного опору, ЕРС, та ін. (так званих термометричних властивостей). У термодинаміці приймається положення про те, що термодинамічна температура є величина, для всіх систем обмежена з одного боку, причому температура, відповідна цій межі, однакова для всіх термодинамічних систем. Кількісно ж температура визначається за значенням способу її вимірювання. Таке визначення ще не фіксує ні початок відліку, ні одиницю виміру температури, тому будь-який метод вимірювання температури пов'язаний з вибором температурної шкали. З нашої точки зору найменш коректною є температурна шкала Цельсія, в основу якої покладені дві реперні точки абсолютно аномальної речовини – води. Розподіл відстані між температурою замерзання та температурою кипіння води на 100 однакових частин (ціна ділення, градус Цельсія) не є правильним, адже для того, щоб нагріти воду на 1°C від 2 до 3 градусів, необхідно затратити певну кількість тепла, яка відрізняється від кількості тепла, що надається воді при нагріванні на той самий один градус від 90 до 91 чи від 35 до 36 градусів. Це пов'язано з тим, що теплоємність води змінюється при зміні температури. Більш того, вона змінюється за нелінійною залежністю (див. рис.1). Температурна шкала повинна бути розділена на неоднакові проміжки, які б відповідали (були пропорційні) кількості витраченого тепла на різних проміжках нагрівання. Особливо це стосується вимірювання температури в системах, в яких вода є невід'ємною часткою, тобто, практично усіх природних системах

Землі, які вивчаються: атмосфері, гідросфері, твердій поверхні, тваринному та рослинному світі.

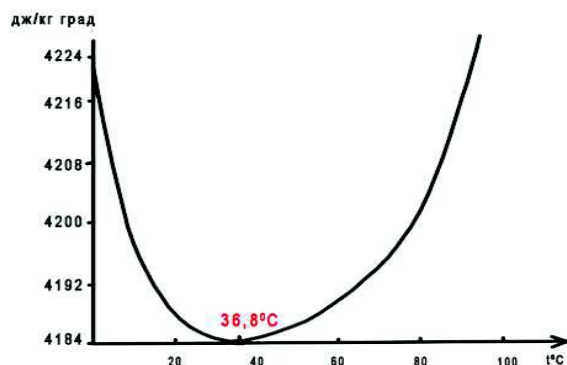


Рис. 1 – Залежність теплоємності води від температури [4].

Радіояскравісна температура не є температурою у термодинамічному розумінні. Вона характеризує випромінювання, і в залежності від механізму випромінювання може значно відрізнятися від фізичної температури випромінюючого тіла. Невизначеність радіояскравісної температури привела до необхідності забезпечення єдності вимірювань та створення державного первинного еталона одиниць радіояскравісної температури і спектральної щільності енергетичної яскравості в мікрохвильовій області спектра [8]. На сучасному рівні розвитку супутникових технологій, при вимірюванні температури води (температури поверхні океану та температури атмосферних опадів у рідкому стані) точна функція переходу від радіояскравісної температури (плівкова температура) до термодинамічної температури (об'ємна температура) теоретично не може існувати. Це пов'язано з існуванням на поверхні води поверхневого шару (skin-шару) з аномальними температурними характеристиками: температура води в ньому практично завжди нижча від температури об'ємної води. Хоча структура води в ньому теж відрізняється від об'ємної, особливий акцент завжди робився саме на експериментально встановлену занижену температуру цього шару [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 16]. Виходячи з того, що теплове випромінювання водної поверхні в тепловому діапазоні хвиль формується в поверхневому шарі води товщиною до 1-3 мм, констатується факт відповідної похибки вимірювання температури океану інфрачервоними сканерами. [17]. При спокійних гідрометеорологічних умовах відхилення радіояскравісної температури води від її термодинамічної температури складають в середньому 0,4 - 2°C [18], максимальні відхилення можуть досягати 5-7°C і більше [19]. За наявності

таких відхилень виникла необхідність проведення наукових досліджень поверхневого мікросшару, лабораторних та підсупутникових експериментів. Стало очевидним, що skin-шар – це специфічне фізичне явище, яке виконує саморегулюючі функції в процесах теплової взаємодії океану та атмосфери за приблизно такою схемою [20]. Відповідно до закону Стефана – Больцмана, енергія, випромінена тілом, пропорційна четвертому ступеню його абсолютної температури:

$$E = \sigma \varepsilon T^4, \quad (1)$$

де T – абсолютна температура тіла, що випромінює; $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$ [6]; ε – випромінювальна здатність об'єкта.

Чим більша температура, тим більше випромінюється енергії, яка губиться гідросферою, і тим нижча температура її skin-шару. А чим нижча температура skin-шару – тим менше енергії випромінюється. Причому, враховуючи подвійну квадратичну залежність енергії від температури, невеликі зміни температури – різко змінюють кількість загубленої енергії. При зниженні температури skin - шару та різкому зменшенні випромінювання, його температура підвищується також і за рахунок підведення тепла знизу. А при зростанні температури – збільшується випромінювання тепла skin - шаром з відповідним зниженням його температури з наступним етапом відповідного зменшення випромінювання. І так повторюється безкінечно; тобто система автоматичного саморегулювання працює (за типом від'ємного зворотного зв'язку) на формування оптимальної енергетичної взаємодії, однак, яка завжди направлена на збереження індивідуальності взаємодіючих частин. Ця система дуже динамічна і ефективна завдяки особливій структурі та невеликим розмірам взаємодіючих шарів як в океані, так і в атмосфері.

Більшість авторів, опираючись на встановлений факт від'ємної аномалії температури skin – шару вважали, що причиною її формування є процес випаровування. Саме тому вважалося і вважається, що солоність поверхневого мікросшару більша від солоності підстильної води; а за умов позитивної аномалії солоності та від'ємної аномалії температури, густина цього шару має характеризуватися позитивною аномалією. Однак, експериментальні дані не завжди це підтверджували [18, 22]. Слід зазначити також, що результати виконаних досліджень не давали значного збагачення солями при допущенні про нестійку стратифікацію поверхневого мікросшару [23, 24]. Незважаючи на це, в лабораторіях штучно створювались умови густинної нестійкості skin - шару з наступними дослідженнями мікроконвекції з його участю [25, 26, 27, 28]. В результаті були створені помилкові класифікації

вертикальних рухів в поверхневому мікрошарі води за видами.

У зв'язку з цим почали розвиватись теоретичні (фізико-математичні) моделі поверхневого мікрошару (Лью та Бусінгера, Ховарда, Фостера, Нікіфоровича Є.І.). Теоретичні моделі звичайно базувалися на «очевидному» допущенні про нестійку стратифікацію поверхневого мікрошару як результату низької температури та високої солоності (за рахунок випаровування). Тому отримані результати моделювання мікроконвекції у цьому шарі (періодичної, стаціонарної, вільної, вимушеної) є результатом початкових умов нестійкості в моделях skin - шару. Якщо в основу моделі покласти умову стійкості поверхневого шару [29, 30], то і результати будуть іншими. Але для цього необхідне фізично та експериментально обґрунтоване спростування допущення про нестійку густинну стратифікацію в поверхневому мікрошарі морської води.

Стан вивченості проблеми (солоність та причини виникнення skin-шару)

Було дуже мало спроб визначити експериментально солоність skin - шару [23] в основному тому, що не існувало і не існує можливості точного інструментального визначення профілю солоності в тонких міліметрових шарах, тим більше, що здавалось очевидним його збагачення солями за рахунок випаровування, як основної причини втрат тепла, для формування холодного мікрошару. Натурні експерименти з визначення інтегральної солоності давали різні результати, а методика відбирання проб з тонкого поверхневого шару страждала від похибок, пов'язаних, в основному, з активним штучним випаровуванням з поверхні сіткового пробовідбірника під час відбирання проб.

Нами був зроблений детальний додатковий аналіз інших можливих похибок визначення солоності ПМШ, які штучно завищують солоність в ньому (за рахунок підвищеного накопичення мікроелементів та їх неадекватного впливу на електропровідність, зменшення об'єму відібраної рідини при зберіганні кількості солі). Крім цього, відповідно до досліджень видатного гідрохіміка Р.Хорна та ін. [31, 32] вода, як розчин, є поверхнево активним компонентом, що адсорбується в поверхневому шарі. Тобто, поверхня морської води повинна бути покрита шаром прісної води, товщина якого, однак, невідома.

Ретельно відібрані нами проби при різних фіксованих температурах води та повітря на узбережжі Чорного моря (Одеса, Геофізична обсерваторія ОГМІ) продемонстрували, що чим нижча температура води, тим товстіший поверхневий мікрошар і тим більше шансів зафіксувати, навіть недосконалими стандартними методами, його знижену, відносно підстильної води, солоність (див. табл.1). Таким чином, очікуваного збагачення верхнього шару морської води солями за рахунок

випаровування не спостерігається і причина утворення холодного мікрошару може бути інша.

Таблиця 1 – Залежність різниці солоності між skin-шаром та підстильною водою (на глибині 5 см)

№ проби	$\Delta S_{\text{‰}}$	$T_w^{\circ}\text{C}$
1	-0,100	17,6
2	-0,114	17,8
3	0,218	18,4
4	0,264	19,9
5	1,073	20,3
6	0,185	18,4

В багатьох класичних [33] та сучасних роботах [34] наводяться оцінки теплового балансу поверхні океану. Типово вважається що не менше 51% потоку енергії губиться океаном на процес випаровування; до 42% витрат займає довгохвильове теплове випромінювання води; 7% потоку припадає на контактний теплообмін, в який теж задіяна тільки поверхня. Хоча в інших поважних джерелах [35, 36, 37] випаровуванню надається від 70 до 90% витрат енергії океаном. Однак відомо, що в результаті інсоляції верхній сантиметр води поглинає всього біля 20% сонячної радіації а та, що залишилась, проникає в більш глибокі шари морської води і вже там поглинається, тобто трансформується в тепло. Таким чином, у верхньому сантиметровому шарі води радіаційна витрата тепла перевищує прихід не менше, ніж на 80%. Це загальновідомі факти, на які мало звертається увага. Можна також навести приклади деяких експериментальних досліджень, які не мали ціллю спростувати вплив випаровування на формування холодного поверхневого мікрошару. Наприклад, в результаті вимірювань вертикального розподілу температури НВЧ радіометром в поверхневому шарі прісної води, покритому нафтовою плівкою [38], що зменшувала випаровування на 50-87%, отримані профілі температури води в ПМШ не відрізнялися від профілів температури води з чистою поверхнею. Аналізуючи отримані дані [38, 39], можна зробити висновок, що вплив випаровування на формування холодного поверхневого мікрошару незначний. Таким чином, виникає необхідність більш детально розглянути процес випаровування з поверхні морської води.

Дотепер навіть поняття фізичної суті процесу випаровування є дискусійним. Наприклад, випаровування, як дифузія в атмосферу молекул, що володіють аномальною кінетичною енергією, не узгоджується з уявленнями про структурованість води, мова про яку була вище. Прийнято вважати, що не скомпенсовані міжмолекулярні сили зовнішнього (поверхневого) шару води, викликані квантово-механічними причинами, створюють зовнішню пружну плівку. Серед існуючих в природі рідин поверхневий натяг води поступається тільки ртуті.

Тому теплота випаровування води більша теплоти випаровування будь-яких інших рідин. І саме тому випаровування з поверхні води повинно було б бути унікальним, а не типовим явищем. Тому нами ставиться під сумнів, що витрати тепла морською поверхнею за рахунок випаровування оцінені як 51 і більше відсотків.

Для цього наведемо кілька прикладів науково обґрунтованих розрахунків випаровування води.

В теоретичній роботі [40] для розрахунків було використано головне динамічне рівняння адсорбції:

$$\gamma = n\tau, \quad (2)$$

де γ - кількість адсорбованої речовини (молекул/м²); n - кількість молекул, що стукаються об одиничну поверхню в одиницю часу (молекул/м² с); τ - час адсорбції, тобто затримки на поверхні (с).

Число n визначалось через рівняння, що базується на кінетичній теорії газів:

$$n = Np / \sqrt{2\pi MRT}, \quad (3)$$

де N – число Авогадро; M – молекулярна вага газу.

Використовуючи загальноприйняте у фізиці поняття динамічної рівноваги між паром та поверхневим шаром рідини, число молекул, що торкаються води (n) і певний час залишаються на ній (адсорбованих), повинно дорівнювати числу молекул, що відриваються від поверхні (десорбованих) та вилітають в повітря (n_v). Ці дві величини повинні бути рівними, не дивлячись на різну природу процесів, що відбуваються: перша визначається тільки властивостями пари, а друга – адсорбційними властивостями поверхні. Тобто, у стані рівноваги ці величини рівні і процеси ідуть з дуже великою швидкістю, оскільки n дуже велике. За даними [40] число адсорбованих (десорбованих) молекул води практично миттєво (10⁻⁶ с) може утворити моношар з $n = 10^{15}$. Розрахунок швидкості випаровування води з водної поверхні за рівнянням (3) з врахуванням умови динамічної рівноваги, дає величину, що як мінімум, на 5 порядків перевищує середню реальну (0,0625 відносно 9 000 кг/годину · м² відповідно).

Існують й інші формули розрахунку інтенсивності випаровування певного стандарту, наприклад, VDI 2086 [41]:

$$W = s A (P_s - P_d) \text{ [г/годину]}, \quad (4)$$

де A – площа поверхні води, м²; P_s – парціальний тиск пари при параметрах повітря, мбар; P_d – тиск насиченої пари при температурі поверхні води, мбар; s – коефіцієнт випаровування, г/ годину · м².

Вони дають зовсім інші результати. При фіксованому дефіциті водяних парів над водною поверхнею, випаровування в умовах хвилювання у 7

разів ефективніше ($s = 5$ – штиль, та $s = 35$ відповідно). А при порівнянні з умовами «накритої чаші» (насиченого стану атмосфери) кількість випаруваної води над поверхнею з штучними хвилями збільшується в 70 разів ($s = 0,5$ та $s = 35$ відповідно). Причому, експерименти в басейні проводились при відсутності вітру.

Результати експериментів входять у протиріччя усталеному погляду натуралістів про вплив вітру на випаровування з природних водоймищ. Наприклад, загальноживана формула Шулейкіна В.В. (5) [35], де при зростанні вітру в 10 разів, швидкість випаровування зростає теж точно у 10 разів, а за швидкості вітру 0 м/с (стан поверхні повний штиль) випаровування повинно припинитись, що безумовно не відповідає дійсності.

$$Q = cW (E - e), \quad (5)$$

де Q - швидкість випаровування (г / (с м²), E - тиск насиченої пари (гПа) при температурі поверхні, що випаровує (в даному випадку температуру вимірюють на глибині 0,5 – 1 м, що не є правильним), e - парціальний тиск водяної пари (гПа), c - коефіцієнт, що залежить від висоти, на якій вимірюється парціальний тиск водяної пари, W - швидкість вітру (м / с).

Як бачимо, процес випаровування потребує детального аналізу. Важливо розуміти, що випаровування включає і розбрикування (так зване, механічне випаровування за М.М. Зубовим, рис.2), причому оцінка його частки, в порівнянні з часткою фазових переходів води, так само є дискусійною.

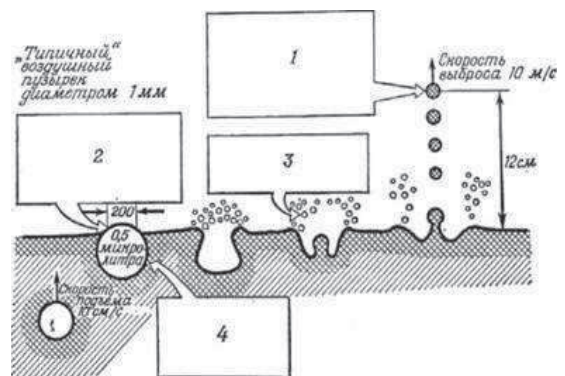


Рис. 2 – Схематичне зображення процесу лускання повітряної бульбашки на поверхні води (процес «механічного» випаровування) [42].

Експериментально встановлено, що при розриві бульбашки з поверхні моря в атмосферу викидаються краплі двох видів: дрібні, що є залишками поверхневої плівки бульбашки, яка контактувала з атмосферою, і більші "реактивні", що вилітають з дна бульбашки. Реактивні краплі, які мають велику масу, незабаром падають назад, в той час як значно менші за розмірами плівкові краплі

підхоплюються вітром. Одночасно плівкові краплі є тим основним матеріалом, з якого формуються морські аерозолі. За розрахунками [43] кількість солі, що потрапляє в атмосферу, на 1 – 2 порядки більше, ніж це могло б бути при класичному фізичному випаровуванні.

Таким чином, саме розбризкування з наступним випаровуванням з крапельок води в атмосфері, а не процес вилітання найбільш енергоактивних молекул, є найбільш інтенсивним процесом, який доставляє воду в атмосферу. Тільки цим можна пояснити різницю у приведених вище результатах теоретичних сентенцій і розрахунків та експериментальних даних, що стосуються процесу фізичного випаровування води. Фізичне випаровування можливе лише як результат витягування молекул при дефіциті парціального тиску парів води в атмосфері по типу роботи пілососа (вакуумізації). При цьому квазі-кристалічні структури skin - шару порушуються. Вони порушуються також і в процесі «механічного» випаровування. На нашу думку, саме на відновлення структурованої поверхневої плівки (skin - шару), яка викидається бульбашками в повітря, або порушується при витягуванні молекул води з квазі-кристалічної молекулярної решітки, і забирається енергія; і саме ці процеси, а не випаровування в класичному розумінні, підсилюють від'ємну температурну аномалію поверхневого шару, яка сформувалася за рахунок незбалансованості процесів поглинання сонячного тепла та випромінювання.

Формування газових бульбашок у морській воді та їх значення

Залишається розглянути кількісні характеристики та особливості знаходження газів у морській воді. За нашими даними у skin - шарі концентрація газів, як мінімум, вдвічі вища їх концентрації в об'ємі. Концентрація газів, виділена з тонкого поверхневого шару складала 68 мг/дм³, в той час як концентрація газів в пробах води, відібраних на п'ять сантиметрів нижче від поверхні, – 29 мг/дм³. Різкий вертикальний градієнт концентрації газів (більш ніж 8 мг/дм³ на 1 см) обумовлений декількома причинами: підвищенням температури з глибиною, збільшенням солоності під skin-шаром (тобто, зниженням розчинності газів відповідно до закону Генрі - Дальтона). Дуже важливими є процеси розповсюдження газових бульбашок в тонких поверхневих шарах води у зв'язку з інверсійним розподіленням температури в цьому шарі [5]. Гегузін Я.С. [44] виявив, що на бульбашку газу в рідині, крім сили виштовхування, діє сила, що обумовлена перепадом температури, причому, ці сили для певного діаметру бульбашки можуть врівноважуватись. Як наслідок, газові бульбашки в цих умовах можуть зависати у рідині. Встановлено, що рух бульбашки, при інших рівних умовах, направлений в бік

збільшення температури, і бульбашка при піднятті до поверхні океану, потрапляючи в більш холодний skin – шар, в залежності від розміру, уповільнює підняття чи навіть зупиняється. Це в кінцевому ефекті може приводити до накопичення вільної газової фази в поверхневому мікрошарі, чи під ним, що підтверджується.

Стан газової фази у морській воді (розчин чи вільний стан у вигляді бульбашок різного діаметру) відповідно до закону Генрі – Дальтона залежить від тиску, температури, солоності та інших факторів, що змінюються в часі. Наприклад, в результаті зміни тиску в поверхневих шарах води за рахунок хвилювання, відбувається періодична дегазація перенасиченого газми розчину і, за даними А.А. Безбородова, Єремєєва В.Н. [43], на кожному квадратному сантиметрі морської поверхні кожен секунду можуть руйнуватись біля 30 мікробульбашок. Крім цього, присутність газу у воді робить її більш структурно впорядкованою. Таким чином, в ПМШ океану спостерігається підвищене накопичення газів як в розчиненому, так і у вільному стані, що, не дивлячись на різницю процесів накопичення газів та стану їх знаходження, знижує густину води у цьому шарі. Більш низькі температури skin – шару морської води мають теж дуже велике значення для густини цього шару. Зміни густини поверхневого шару води, що пов'язані з температурою, абсолютно відрізняються від того, що звичайно спостерігається в об'ємі води: зі зниженням температури густина тонких поверхневих шарів води зменшується, а не збільшується (при 20°C вона приблизно на 15% менше густини об'ємної води, а при 0°C – на 25%). Однак, товщина цих шарів невелика і змінна, і збільшується при зниженні температури в декілька і більше разів [32].

Висновки та рекомендації

1. Можна вважати доведеним, що skin – шар є постійно існуючим природним утворенням на поверхні гідросфери, який має відносно низьку солоність, низьку температуру, особливу пограничну структуру, високу газонасиченість, завдяки яким вода стає ще більш структурно впорядкованою (квазікристалічною) та легшою. Цей шар виконує функції саморегулювання енерго- та масообміну між океаном та атмосферою в бік зменшення взаємодії, тобто приводить систему океан – атмосфера до стану мінімально можливої (при даних умовах) ентропії.

2. Завдяки особливостям структури skin – шару створюються умови накопичення вільної газової фази, яка безумовно повинна впливати на показники температури в НВЧ – діапазоні, адже відмінності в радіоєскравісній температурі земних об'єктів визначаються в основному їх випромінювальною здатністю, а не фізичною температурою. Радіотеплове випромінювання води, як і інфратеплове, формується поверхневим випромінювальним шаром, товщина

якого тим більша, чим довша хвиля випромінювання. А інтенсивність радіотеплового випромінювання характеризується так званою радіояскравісною температурою, тобто добутком абсолютної температури і коефіцієнта випромінювання. Величина коефіцієнта випромінювання в радіодіапазоні значно варіює залежно від електричних властивостей (а значить від солоності, присутності вільної газової фази), структури та характеру поверхні об'єкта.

3. Моніторинг температури водної поверхні та температури атмосферних опадів у рідкому стані та створення програмного забезпечення з обробки даних супутникового моніторингу може бути вдосконаленим, якщо буде враховано ефекти виникнення skin – шару на водній поверхні та на поверхні крапель дощу. Це має дуже велике значення для прогнозування умов переходу крапель дощу в твердий стан (град). Якщо температура об'єму водного об'єкта відрізняється від температури його поверхневого мікрошару, то температура дощових крапель, які фактично сформовані цим шаром, в повній мірі можуть бути оцінені радіояскравісною температурою. Такий ефект може погіршуватися в умовах збільшення розмірів дощових крапель.

4. При отриманні температури поверхневого мікрошару океану дистанційними методами в ІЧ та НВЧ діапазонах слід враховувати, що це та температура, яка характеризує океан як результат його взаємодії з атмосферою. Таким чином, не існує потреб в знаходженні коефіцієнтів перерахунку температури skin – шару в термодинамічну температуру об'єму води, яка не має безпосереднього обміну з атмосферою за рахунок постійного існування на поверхні гідросфери стійкого мікрошару.

5. Визначення еталону радіояскравісної температури морської води та визначення його співвідношення з еталоном термодинамічної температури води буде залежати від багатьох чинників, часто невизначених. Точна функція переходу від радіояскравісної температури води (плівкова енергетична характеристика) до термодинамічної температури (об'ємна температура) в світлі проведених вище досліджень та теоретично не може існувати.

Список літератури

1. **Wentz, F. J.** Satellite measurements of sea-surface temperature through clouds / **F. J. Wentz, C. L. Gentemann, D. K. Smith, D. B. Chelton** // *Science*. – 2000. – No 288. – P. 847-850. – doi: 10.1126/science.288.5467.847.
2. **Stammer, D.** Validation of new microwave SST for climate purposes / **D. Stammer, F. J. Wentz, C. L. Gentemann** // *J. Clim.* – 2003. – No 16. – P. 73-87.
3. **Chelle, C. L.** Accuracy of satellite sea surface temperatures at 7 and 11 GHz / **C. L. Chelle, T. Meissner, F.J. Wentz** // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2010. – 48. – P. 1009-1018. – doi: 10.1109/TGRS.2009.2030322
4. Режим доступу: shakaru.eorok.jaxa.jp/YSMaP/index_j.htm.
5. **Бубукин, И. Т.** Дистанционная диагностика пленочного слоя морской поверхности в инфракрасном диапазоне / **И. Т. Бубукин, К. С. Станкевич** // *Радиотехника и электроника*. – 2012. – Т.57. No 10. – С. 1089-1098.
6. **Ландау, Л. Д.** Статистическая физика. Теоретическая физика / **Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц** // Т. V. Из-во «Наука». М. – 1964. – 520 с.
7. Режим доступу: <http://russbeer.ru/encwater/thermal>.
8. Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского «Радиолокационное исследование природных сред» // *Решение XXVII всероссийского симпозиума*. Санкт-Петербург. – 2011. – 6 с.
9. **Вершинский, Н. В.** О вертикальной микроструктуре тонкого поверхностного слоя океана / **Н. В. Вершинский, Ю. А. Волков, А. В. Соловьев** // Доклады АН СССР. – 1981. – № 3. – С. 632-636.
10. **Гинзбург, А. И.** Лабораторные исследования тонкой структуры термического слоя в воде у поверхности раздела вода-воздух / **А. И. Гинзбург, А. Г. Зацепин, К. Н. Федоров** // *Мезомаштабная изменчивость поля температуры в океане*. – 1977. – С. 38-45.
11. Режим доступу: <http://neosee.ru/509059>.
12. **Товбин, М. В.** О температуре на поверхности раздела водоем-воздух / **М. В. Товбин** // *Труды института. Институт гидробиологии АН УССР*. – 1949. – № 24.
13. **Хунджуа, Г. Г.** О структуре поверхностной холодной пленки океана и теплообмене океана с атмосферой / **Г. Г. Хунджуа, А. М. Гусев, Е. Г. Акуреев** и др. // *Изв. АН СССР. ФАО*. – 1977. – Т. 13. № 7. – С. 753-758.
14. **Ball, F. K.** Sea surface temperatures / **F. K. Ball** // *Australian J. Phys.* – 1954. – No 7. – P. 649-652.
15. **Busch, N. E.** The surface boundary layer. Boundary – *Layer Met.* – 1973. – No 4. – P. 213-240.
16. **Fairall, C. W.** Cool-skin and warm layer effects on sea surface temperature / **C. W. Fairall, E. F. Bradley, J. S. Godfrey, G. A. Wick, J. B. Edson, G. S. Young** // *J. Geophys. Res.* – 1996. – No 101(C1). – P. 1295-1308.
17. **McKeown, W.** Sounding the skin of water: Sensing air-water interface temperature gradients with interferometry / **W. McKeown, F. Bretherton, H. L. Huang, W. L. Smith, H. E. Revercomb** // *J. Atmos. Oceanic Technol.* – 1995. – No 12. – P. 1313-1327.
18. **Cimini, D.** Air temperature profile and air/sea temperature difference measurements by infrared and microwave scanning radiometers / **D. Cimini, J. A. Shaw, E. R. Westwater, Y. Han, V. Irisov, V. Leuski, J. H. Churnside** // *Radio science*. – 2003. – Vol. 38, No. 3. – 8045 p. – doi:10.1029/2002RS002632, 2003.
19. **Зубов, Н. Н.** Замечательный случай образования льда / **Н. Н. Зубов** // *Метеорологический вестник*. М. – 1934.
20. **Kucherenko, N. V.** To new understanding to ocean – atmosphere system interaction by means of skin-layer studying / **N. V. Kucherenko** / *France, International 90 Cetinje conference; [AMSE]; Modelling, simulation and control*. – 1991. – V. 25, No 4. – P. 1-10.
21. **Гинзбург, А. И.** О вкладах солёности и температуры в конвективную неустойчивость при испарении морской воды / **А. И. Гинзбург, К. Н. Федоров** // *Изв. АН СССР. ФАО*. – 1979. – № 8. – С. 886-890.
22. **Кучеренко, Н. В.** Некоторые аспекты термогидродинамики на границе раздела океан-атмосфера / **Н. В. Кучеренко** // Киев, університет Укр. НІИИТТИ. – 1988. – С. 44-48.
23. **Савенко, В. С.** Химия водного поверхностного микрослоя / **В. С. Савенко** // Л.: Гидрометеоздат. – 1990. – 184 с.

24. Кучеренко, Н. В. О роли микроконвекции в ПМС океана / Н. В. Кучеренко // *IV Всесоюзная конференция молодых ученых по океанологии и гидрологии. Геофизика. – Севастополь: Тезисы докладов.* – 1989. С. 14-16.
25. Куфтарков, Ю. М. О холодном температурном скин – слое океана / Ю. М. Куфтарков, Б. А. Нелепо, А. Д. Федоровский // *Изв. АН СССР. ФАО.* – 1978. – Т.14, №1 – С. 88-93.
26. Федоров К.Н., Власов В.Л., Амбросимов А.К., Гинзбург А.И. Исследование поверхностного слоя испаряющейся морской воды методом оптической интерферометрии / К. Н. Федоров, В. Л. Власов, А. К. Амбросимов, А. И. Гинзбург // *Изв. АН СССР. ФАО.* – Т.15, № 10. – С. 1067-1075.
27. Федоров, К. Н. Явления на поверхности океана по визуальным наблюдениям / К. Н. Федоров, А. И. Гинзбург // *Океанология.* – 1986. – Т. XXVI, № 1. – С. 3-9.
28. Федоровский, А. Д. Гидротермодинамика приповерхностного слоя жидкости и оптические методы ее исследования / А. Д. Федоровский, Е. И. Никифорович // *Вестник АН УССР.* – 1984. – № 11.
29. Башкиров, Г. С. Исследование некоторых физических явлений поверхностного микрослоя / Г. С. Башкиров, Н. В. Кучеренко // *М. Рук. деп. в ВИНТИ.* – 1989. – № 2057 – В89.
30. Башкиров, Г. С. О возможности устойчивой стратификации поверхностного микрослоя и его влияние на регулирование тепломасообмена в системе океан-атмосфера / Г. С. Башкиров, Н. В. Кучеренко // *Сб. Метеорология, климатология гидрология. Одеса: ОГМИ.* – 1988. – № 24. – С. 64-68.
31. Хорн Р. Морская химия: Пер. с англ. – М., Наука. – 1972. – 400 с.
32. Хабаров, В. Н. Автоадсорбция и поверхностная энтропия жидкостей / В. Н. Хабаров, А. И. Русанов, Н. Н. Кочуров // *Коллоидный журнал.* – 1976.
33. Таблицы физических величин. – М.: Изд-во Наука. – 1983. – 693 с.
34. Режим доступа: <http://underwater.su/books/item>.
35. Жуков, А. А. Общая океанология. – Л.: Гидрометеиздат. – 1976. – 376 с.
36. Егоров, Н. И. Физическая океанография. – Л.: Гидрометеиздат. – 1974. – 455 с.
37. Перри, А. Х. Система океан – атмосфера / А. Х. Перри, Дж. М. Уокер // Л.: Гидрометеиздат. – 1974. – 138 с.
38. Казьмин, А. С. О влиянии пленки нефти на термическую структуру противповерхностного слоя воды / А. С. Казьмин // *Изв. АН СССР. ФАО.* – 1983. – Т.19, № 10. – С. 1075-1081.
39. Westwater, E. R. Sea-air and boundarylayer temperatures measured by a scanning 5-mm-wavelength radiometer: Recent results / E. R. Westwater, Y. Han, V. G. Irisov, V. Y. Leusky, Y. G. Trokhimovski, C. W. Fairall, A. Jessu // *Radio Sci.* – 1998. – No 33(2). – P. 291-302. – doi: 10.1029/97RS02747.
40. Режим доступа: <http://chem21.info/info/1326987/>.
41. Режим доступа: <http://www.mpisystem.ru/arhiv/>.
42. Режим доступа: <http://pidruchniki.com/2015073065472/ekologiya/gidrosf>.
43. Безбородов, А. А. Физико-химические аспекты взаимодействия океана и атмосферы / А. А. Безбородов, В. Н. Еремеев // Киев: Наукова думка. – 1984. – 191 с.
44. Гегузин, Н. Е. Пузыри. – М.: Наука. – 1985. – 173 с.

Bibliography (transliterated)

1. Wentz, F. J., Gentemann, C. L., Smith, D. K., Chelton, D. B. Satellite measurements of sea-surface temperature through clouds, *Science*, 2000, **288**, 847-850, doi: 10.1126/science.288.5467.847.
2. Stammer, D., Wentz, F. J., Gentemann, C. L. Validation of new microwave SST for climate purposes, *J. Clim.*, 2003, **16**, 73-87.
3. Chelle, C. L., Meissner, T., Wentz, F.J. Accuracy of satellite sea surface temperatures at 7 and 11 GHz, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2010, **48**, 1009-1018, doi: 10.1109/TGRS.2009.2030322.
4. Web: shakaru.eork.jaxa.jp/YSMaP/index_j.htm
5. Bubukin, I. T., Stankevich, K. S. Struktura poverhnostnoj plenki morskoj poverhnosti po naturnym izmerenijam v IK-diapazone. *Trudy XXIII Vserossijskoj nauchnoj konferencii po "Rasprostranjeniju radiovoln"*, 2011, 161-164.
6. Landau, L. D., Lifshic, E. M. Statisticheskaja fizika. Teoreticheskaja fizika. Moscow, Nauka, 1964, **V**, 520 p.
7. Web: <http://russbeer.ru/encwater/thermal>.
8. Voenno-kosmicheskaja akademija im. A.F. Mozhajskogo «Radiolokacionnoe issledovanie prirodnyh sred». *Reshenie XXVII vserosijs'kogo simpoziuma*. 2011, 6 p.
9. Vershinskij, N. V., Volkov, Ju. A., Solov'ev, A. V. O vertikal'noj mikrostrukture tonkogo poverhnostnogo sloja okeana. *Doklady AN SSSR*, 1981, **3**, 632-636.
10. Ginzburg, A. I., Zacepin, A. G., Fedorov, K. N. Laboratornye issledovanija tonkoj struktury termicheskogo sloja v vode u poverhnosti razdela voda-vozduh. *V kn.: Mezomashtabnaja izmenchivost' polja temperatury v okeane*. 1977, 38-45.
11. Web: <http://neosee.ru/509059>.
12. Tovbin, M. V. O temperature na poverhnosti razdela vodoem-vozduh. *Trudy instituta/ Institut gidrobiologii AN USSR*, 1949, **24**.
13. Hundzhuva, G. G., Gusev, A. M., Akureev, E. G. i dr. O strukture poverhnostnoj holodnoj plenki okeana i teploobmene okeana s atmosferoj. *Izv. AN SSSR. FАО*. 1977, **13(7)**, 753-758.
14. Ball, F. K. Sea surface temperatures. *Australian J. Phys.*, 1954, **7**, 649-652.
15. Busch, N. E. The surface boundary layer. *Boundary – Layer Met.*, 1973, **4**, 213-240.
16. Fairall, C. W., Bradley E. F., Godfrey J. S., Wick G. A., Edson J. B., Young G. S. Cool-skin and warm layer effects on sea surface temperature. *J. Geophys. Res.*, 1996, **101(C1)**, 1295-1308.
17. McKeown, W., Bretherton, F., Huang, H. L., Smith, W. L., Revercomb, H. E. Sounding the skin of water: Sensing air-water interface temperature gradients with interferometry, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 1995, **12**, 1313-1327.
18. Cimini, D., Shaw, J. A., Westwater, E. R., Han, Y., Irisov, V., Leuski, V., Churnside, J. H. Air temperature profile and air/sea temperature difference measurements by infrared and microwave scanning radiometers. *Radio Science*, 2003, **38(3)**, 8045, doi:10.1029/2002RS002632.
19. Zubov, N. N. Zamechatel'nyj sluchaj obrazovanija l'da. *Meteorologicheskij vestnik*. Moscow, 1934.
20. Kucherenko, N. V. To new understanding to ocean – atmosphere system interaction by means of skin-layer studying. *International 90 Cetinje conference; [AMSE]; Modelling, simulation and control*, 1991, **25(4)**, 1-10.

21. **Ginzburg, A. I., Fedorov, K. N.** O vkladah solenosti i temperatury v konvektivnuju neustojchivost' pri isparenii morskoy vody. *Izv. AN SSSR. FAO*, 1979, **8**, 886-890.
22. **Kucherenko, N. V.** Nekotorye aspekty termogidrodinamiki na granice razdela okean-atmosfera. Kiev, universitet, 1988. Ukr. NIINTTI, 44-48.
23. **Savenko, V. S.** Himija vodnogo poverhnostnogo mikrosloja. Gidrometeoizdat, 1990, 184 p.
24. **Kucherenko, N. V.** O roli mikrokonvekcii v PMS okeana. *IV Vsesojuznaja konferencija molodyh uchenyh po okeanologii i gidrologii. Geofizika. Sevastopol': Tezisy dokladov*, 1989, 14-16.
25. **Kuftarkov, Ju. M., Nelepo, B. A., Fedorovskij, A. D.** O holodnom temperaturnom skin – sloe okeana. *Izv. AN SSSR. FAO*. 1978, 14(1), 88 -93.
26. **Fedorov, K. N., Vlasov, V. L., Ambrosimov, A. K., Ginzburg, A. I.** Issledovanie poverhnostnogo sloja isparjajushhejsja morskoy vody metodom opticheskoy interferometrii. *Izv. AN SSSR. FAO*, **15**(10), 1067-1075.
27. **Fedorov, K. N., Ginzburg, A. I.** Javlenija na poverhnosti okeana po vizual'nym nabljudenijam. *Okeanologija*. 1986, **XXVI**(1), 3-9.
28. **Fedorovskij, A. D., Nikiforovich, E. I.** Gidrotermodinamika pripoverhnostnogo sloja zhidkosti i opticheskie metody ee issledovanija. *Vestnik AN USSR*, 1984, 11.
29. **Bashkirov, G. S., Kucherenko, N. V.** Issledovanie nekotoryh fizicheskikh javlenij poverhnostnogo mikrosloja. Moskow, VINITI, 1989, № 2057 – V89.
30. **Bashkirov, G. S., Kucherenko, N. V.** O vozmozhnosti ustojchivoj stratifikacii poverhnostnogo mikrosloja i ego vlijanie na regulirovanie teplomasoobmena v sisteme okean-atmosfera: *Sb. Meteorologija, klimatologija gidrologija*. Odesa: OGMI, 1988, **24**, 64-68.
31. **Horn, R.** Morskaja himija: Per. s angl. Moskow, Nauka, 1972, 400 p.
32. **Habarov, V. N., Rusanov, A. I., Kochurov, N. N.** Avtoadsorbicija i poverhnostnaja jentropija zhidkостей. *Kolloidnyj zhurnal*. 1976.
33. *Tablicy fizicheskikh velichin*. Moskow: Izd-vo Nauka, 1983, 693 p.
34. Web: <http://underwater.su/books/item>.
35. **Zhukov, A. A.** Obshhaja okeanologija. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976, 376 p.
36. **Egorov, N. I.** Fizicheskaja okeanografija. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974, 455 p.
37. **Perri, A. H., Uoker Dzh M.** Sistema okean – atmosfera. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974, 138 p.
38. **Kaz'min, A. S.** O vlijanii plenki nefi na termicheskuju strukturu protipoverhnostnogo sloja vody. *Izv. AN SSSR. FAO*. 1983, **19**(10), 1075-1081.
39. **Westwater, E. R., Han, Y., Irisov, V. G., Leusky, V. Y., Trokhimovski, Y. G., Fairall, C. W., Jessu, A.** Sea-air and boundarylayer temperatures measured by a scanning 5-mm-wavelengthradiometer: Recent results, *Radio Sci.*, 19998, **33**(2), 291-302, doi: 10.1029/97RS02747.
40. Web: <http://chem21.info/info/1326987/>.
41. Web: <http://www.mpsystem.ru/arhiv/>.
42. Web : <http://pidruchniki.com/2015073065472/ekologiya>
43. **Bezrodov, A. A., Eremeev, V. N.** Fiziko-himicheskie aspekty vzaimodejstvija okeana i atmosfery. Kiev: Naukova dumka, 1984, 191 p.
44. **Geguzin, N. E.** Puzryi. Moskow: Nauka, 1985, 173 p.

Відомості про авторів (About authors)

Михайлов Валерій Іванович – доктор географічних наук, провідний науковий співробітник, Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», м. Одеса, Україна, e-mail: tsb1@ukr.net

Mikhailov Valery - Doctor of Geographical Sciences , Senior Researcher , Research Center of the Armed Forces of Ukraine " State Oceanarium " c. Odessa, Ukraine. e-mail: tsb1@ukr.net.

Кучеренко Наталія Василівна – кандидат географічних наук, провідний науковий співробітник, Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», м. Одеса, Україна, e-mail: tsb1@ukr.net

Kucherenko Natalia - Candidate of Geographical Sciences , Senior Researcher , Research Center of the Armed Forces of Ukraine " State Oceanarium " c. Odessa, Ukraine , e-mail: tsb1@ukr.net

Барган Оксана Георгіївна - молодший науковий співробітник, Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», м. Одеса, Україна, e-mail: 0033ksuxa0033@gmail.com

Bargan Oksana - Junior Researcher , Research Center of the Armed Forces of Ukraine " State Oceanarium " c. Odessa, Ukraine, e-mail: 0033ksuxa0033@gmail.com

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Михайлов, В.І. Теоретичні проблеми застосування ІЧ та НВЧ радіометрії на прикладі супутникового проекту NASA – JAXA / **В. І. Михайлов, Н. В. Кучеренко, О. Г. Барган** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 138-146. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.21.

Please cite this article as:

Mikhailov, V., Kucherenko, N., Bargan, O. Theoretical problems of application of infrared and microwave radiometry on the example of NASA– JAXA satellite project. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **25** (1197), 138-146, doi:10.20998/2413-4295.2016.25.21.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Михайлов, В.И. Теоретические проблемы применения ИЧ и СВЧ радиометрии на примере спутникового проекта NASA – JAXA / **В. И. Михайлов, Н. В. Кучеренко, О. Г. Барган** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 138-146. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.21.

АННОТАЦИЯ Рассматривается проблема соответствия данных о температуре воды в жидком состоянии, полученной дистанционными методами за счет излучения, и температуры, полученной контактно, т.е. термодинамической температуры.

Ключевые слова: skin – слой воды, радиояркая температура, термодинамическая температура, спутниковые методы, инфракрасное излучение.

Надійшла (received) 12.06.2016