

полушарии [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.Atmospheric-circulation.ru

14. Зак, Ш. Теория статистических выводов [Текст] / Ш. Зак; пер. с англ. Е. В. Чепурина; под ред. Ю. К. Бе-ляева. – М.: Мир, 1985. – 776 с.

15. Скворцов, А. В. Триангуляция Делоне и ее применение [Текст] / А. В. Скворцов. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2002. – 128 с.

References

1. Vangeym, G. Y. (1946). Oscillations of the atmospheric circulation over the northern hemisphere. Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Ser. Geographer. and Geofiz., 5, 405–416.

2. Gears, A. A. (1974) Macrocirculation method of long-term weather forecasts, Lviv: Gidrometeoizdat, 488.

3. Dzerdievsky, B. L., Kurgan, V. M., Vitivitskaya, Z. M., (1946). Typing circulation mechanisms in the northern hemisphere and characterization of synoptic seasons, M., L. Gidrometeoizdat, Tr. H.-Y. institutions Ch. Ex. Hydro. Service under the USSR Council of Ministers. Ser.2 synoptic meteorology. Central Institute of forecasts, 21, 80.

4. Dzerdievsky, B. L. (1975). General circulation of the atmosphere and climate [Selected Works]. Moscow: Nauka, 286.

5. Gruza, G. V., Rankova, E. J. (1996). Climate variability frequency and duration of the main forms of circulation in the temperate latitudes of the Northern Hemisphere. "Meteorology and Hydrology", 1, 12–22.

6. Kononova, N. K. (2014). Atmospheric circulation in the European sector of the northern hemisphere in the XXI

century and temperature fluctuations in the Crimea, Geopolitics and Ecogeodynamics regions, 10 (1), 633–640.

7. Matveev, L. A. (1991). Theory of atmospheric circulation and climate of the Earth. Lviv: Gidrometeoizdat, 291.

8. Sidorenko, N. S., Svirengo, P. I. (1991). Long-term changes in atmospheric circulation and climate variability in the first natural synoptic region, Proceedings of the Hydro-meteorological Center of the USSR, 316, 93–105.

9. Martazinova, V. F., Sverdlik, T. A. (1998). Large-scale atmospheric circulation of the twentieth century, its changes and the current state, Naukovi pratsi Ukrayinsky Naukovo-doslidnogo gidrometeorologichnogo institutu, 246, 21–27.

10. Kamenkovich, V. M., Monin, A. S. (Eds.) (1978). Oceanology. Vol. 1. Hydrophysics Ocean. Moscow, Nauka, 456.

11. Reanalyses site. Available at: <http://www.reanalysis.org>

12. The HadSST2 Sea Surface Temperature Anomaly data archived by the UK Met Office Hadley Center. Available at: <https://reanalyses.org/>

13. Database of changes recurrence patterns of atmospheric circulation, belonging to the group MJ. Available at: www.Atmospheric-circulation.ru.

14. Zachs, S.; Belyaev, J. K. (Ed.) (1985). Theory of statistical inference. Moscow: Mir, 776.

15. Skvortcov, A. V. (2002). Delaunay triangulation and its application. Tomsk: Publishing House of Tomsk State University, 128.

Дата надходження рукопису 14.01.2015

Холопцев Александр Вадимович, доктор географических наук, профессор, действительный член Крымской академии наук и академии наук Польши (комиссия по метеорологии и агроклиматологии), профессор кафедры Судовождения и безопасности мореплавания, Севастопольская морская академия, ул. Рыбаков, 7-а, г. Севастополь, 99055
E-mail: kholoptsev@mail.ru

УДК 551.510.551.46

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.37631

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ НА АТМОСФЕРУ И ОКЕАН

© В. Д. Доля, Н. В. Кучеренко, Б. Б. Капочкин

Оценены амплитуды изменения во времени силы тяжести и влияние этих изменений на динамику атмосферы. Выполнены сопоставления суточных вариаций гравитационного поля и атмосферного давления в экваториальной зоне. Показана согласованность изменения силы тяжести в Индийском океане с формированием муссонной циркуляции. Обосновано влияние разнонаправленных вариаций силы тяжести на формирование ливней и засух

Ключевые слова: гравитационное поле, градиент давления, муссоны, ветры, тропические циклоны

An amplitude changes over time of gravity force and the influence of these changes on the dynamics of the atmosphere are estimated. The comparison of the daily variations of the gravitational field and the atmospheric pressure in the equatorial zone are made. The coherence of gravity change in the Indian Ocean with the formation of monsoon circulation is shown. The influence of differently directed gravity variations on the formation of rain and droughts is proved

Keywords: gravitational field, pressure gradient, monsoon, winds, tropical cyclones

1. Введение

Гравитационное поле Земли характеризуется незначительными пространственно-временными

изменениями, которые изучаются в рамках международных проектов GRACE, AVISO, Global gravity network [1–3]. Стабилизированное во времени

отклонение формы геоида от теоретической формы эллипсоида вращения имеет амплитуду примерно 200 м и формирует аномалию $\Delta g = \pm 0.0006 \text{ м/с}^2$. Приливные изменения формы геоида достигают 0,5 м, создавая аномалию $\Delta g \approx \pm 0.000003 \text{ м/с}^2$. Очевидно, что такие изменения силы тяжести формируют изменения веса фиксированной массы атмосферного воздуха и океанской воды, что влечет за собой и изменение давления в атмосфере и океане. Поле давления в подвижных геосферах формирует поле скорости, или динамические характеристики атмосферы и океана. Безусловно, основной вклад в изменение поля давления в атмосфере и океане вносит пространственно-временное изменение плотности, в основном, в результате температурных изменений. В то же время будет своевременным определить вклад изменений гравитационного поля в динамику атмосферы и океана.

2. Постановка проблемы

Изменения формы геоида, которой является свободная поверхность Мирового океана, прослеживаются в изменении топографии и других эквипотенциальных поверхностей. Достоверно известно, что стабильные во времени гравитационные аномалии, формирующие, например, региональное понижение уровня в Индийском океане более чем на 100 м, не формируют океанические течения. Важно знать, влияют ли временные изменения гравитационного поля на динамику атмосферы и океана.

Целью исследования является рассмотрение процесса формирования движения атмосферы и океана в условиях незначительных пространственно-временных изменений силы тяжести.

Достижение поставленной цели возможно путем решения задач:

1. Доказательство теоретической возможности формирования, незначительными по амплитуде аномалиями силы тяжести, движения в подвижных оболочках Земли.

2. Проверка на практике результатов теоретических расчетов степени влияния аномалий силы тяжести на формирование движений в подвижных оболочках Земли.

3. Проведение классификации движений в океане и атмосфере, формируемых изменениями силы тяжести, в зависимости от пространственного масштаба этих изменений.

3. Литературный обзор

П. Б. Руткевич (институт космических исследований РАН) в работе [4] показывает, что «При наличии гравитационной аномалии в слое воздуха, характеризующимся адиабатическим распределением давления и горизонтальным однородным распределением температуры, с возможным подтоком воздуха сверху и снизу, возникает вертикальное движение воздуха во всем объеме слоя, направление которого зависит от знака гравитационной аномалии.» В исследовании, выполненном с использованием решения уравнений движения теоретическими методами, показано, что в случае

возникновения локальной гравитационной аномалии порядка $\Delta g = 1 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}^2$ во всей атмосфере возникает вертикальное движение со скоростью до 2 см/с. Полученные значения вертикальной скорости движения соответствуют типичной скорости движения воздуха в циклонических образованиях умеренных широт. Выполненное исследование [4] было посвящено проверке гипотезы о «Воздействии короткоживущих подкорковых локальных возмущений на лито-, гидро- и атмосферу» [5]. На этой базе разработана технология выявления локализованных быстропротекающих аномалий гравитационного поля Земли [6]. Эта технология основана на измерении локально проявляющихся быстропротекающих вертикальных движений в атмосфере. В монографии [7] выполнен литературный обзор о влиянии аномалий гравитационного поля на динамику океана и атмосферы. В океанологии аномальные отклонения уровня океана от поверхности геоида успешно используют для расчета динамической топографии, по которой рассчитываются океанические течения [2].

4. Результаты исследования процесса формирования движения атмосферы и океана в условиях изменения силы тяжести

Стабильные во времени и пространстве аномалии силы тяжести формируют стабильные во времени и в пространстве аномалии топографии эквипотенциальных поверхностей в океане и атмосфере. Несмотря на существующие горизонтальные градиенты давления, течения и ветер не возникают в связи с тем, что избыток либо недостаток массы в области гравитационной аномалии является по весу изостатически скомпенсированным аномалией силы тяжести.

По нашему мнению движения должны возникать в условиях изменения величины силы тяжести. Рассмотрим наиболее простой пример изменения гравитационного поля на значительной площади в условиях мало градиентного барического поля в экваториальной зоне. В связи с приливами в твердом теле Земли здесь формируются полусу-точные изменения силы тяжести с максимальной амплитудой. По направлению к полюсам, амплитуда приливных изменений силы тяжести уменьшается. Как уже было показано, изменения ускорения свободного падения с амплитудой $\Delta g = 1 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}^2$ [4] способны вызывать вертикальные движения всего столба атмосферы со скоростью 2 см/с. В нашем случае изменение силы тяжести составляет $\Delta g \approx \pm 0.000003 \text{ м/с}^2$. Таким образом, в нашем случае вполне могут возникать вертикальные движения атмосферного воздуха со значительными скоростями, особенно в экваториальной зоне.

В экваториальной зоне фиксируются внутрисуточные изменения атмосферного давления неустановленной природы. На рис. 1 показаны типичные изменения атмосферного давления в экваториальной зоне Тихого океана на буйковой станции ст. WMO: 51311.

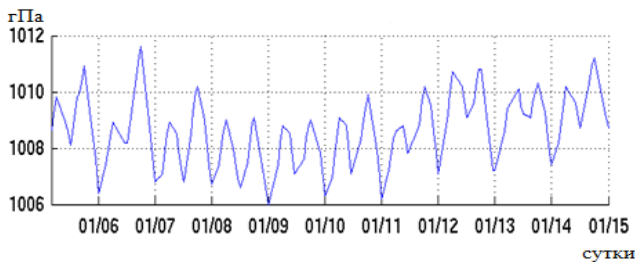


Рис. 1. Изменения во времени: приводного атмосферного давления на ст. WMO: 51311 в январе 2012 г. [8]

Полусуточные вариации атмосферного давления с амплитудой 5 гПа соответствуют амплитуде приливных вариаций силы тяжести. Важно отметить, что периодические ежедневные непродолжительные тропические ливни – проходят в одно и то же время суток во время минимальных значений атмосферного давления, возможно связанных с периодически возникающими миниму-мами силы тяжести. Установлено, что интенсивность ливневых осадков подвержена двухнедельной периодичности, так же связанной с изменениями силы тяжести [9, 10]. Исходя из изложенного, можно предположить, что одной из причин формирования суточного хода ливневых осадков в тропической зоне является полусуточная периодичность изменения силы тяжести.

В экваториальной и тропической зоне океана наиболее опасным атмосферным явлением считаются тропические циклоны. В работе [11] описана суточная и полусуточная периодичности усиления тропических циклонов. Такая периодичность была выявлена статистическими методами на основании обработки спутниковой информации. Наличие суточной и полусуточной гармоник изменчивости количества осадков в циклоне объяснены как суточными изменениями температуры, так и наличием суточной и полусуточной гармоник атмосферного давления в тропической зоне, обусловленных изменениями силы тяжести. В работе [11] в качестве объекта исследований был выбран тропический циклон «Nadine» (12.09.–01.10.2012 г.), который отличался продолжительностью существования. За 24 дня циклон «Nadine» несколько раз регенерировал. Исследование изменения во времени активности циклона было выполнено с использованием спутниковых снимков в ИК диапазоне. По спутниковым снимкам, с использованием ПК ВЛКО, выполнялись расчеты площади облачности, занимаемой циклоном и характеристики структурированности этой облачности, рассчитываемой как показатель энтропии. По этим данным были сформированы временные ряды из 192 значений. На широте стационарирования этого циклона изменения силы тяжести обусловлено смешанными, суточным и полусуточным приливом. Оказалось, что в условиях полусуточного изменения силы тяжести, несмотря на увеличение амплитуды влияющих

факторов, циклон затухал, а во время суточного изменения, при меньших амплитудах влияющих факторов, циклон активизировался. Во время полусуточного цикла динамика развития циклона приобретала «взрывной» характер. В этих условиях вес атмосферного столба снижается сильнее, но длится этот процесс короче, чем во время суточного прилива. Это не позволяет вертикальным движениям структурироваться в циклоническую циркуляцию. Возможно, это является причиной отсутствия типичных тропических циклонов в экваториальной зоне, где изменения силы тяжести – полусуточные, и конвективные процессы имеют «взрывной характер». В экваториальной зоне могут существовать только тропические циклоны типа известного экваториального мега циклона «Voffa» с диаметром порядка 2000 км.

Важно отметить, что глобальный тропический циклогенез имеет выраженную циклическую составляющую равную 27 суткам [12]. По нашему мнению в данном случае очень важно то, что сизигийные приливы характеризуются полумесячной гармоникой. Если мы рассмотрим циклическую гравитационной составляющей приливного процесса, то максимальное гравитационное воздействие наблюдается с Сидерическим периодом во время новолуния, то есть один раз в 27,322 суток.

От глобального масштаба перейдем к региональному. Выполним оценку влияния вариаций силы тяжести на муссонную циркуляцию. С этой целью были проанализированы глобальные климатические карты среднемесячного распределения: притока солнечной энергии; длинноволнового излучения; температуры воздуха у поверхности Земли; количества осадков; атмосферного давления у поверхности Земли; направления и скорости ветра у поверхности Земли; направления и скорости ветра на уровне геопотенциала AT-850; вертикальных движений воздуха на уровне геопотенциала AT-500; направления воздушных потоков на высоте геопотенциала AT-200; температуры поверхности Мирового океана. Установлено, что изменение тенденции муссонной циркуляции происходит синхронно в Американском, Африканском и Азиатском регионах. В первой половине февраля максимальное развитие муссонных процессов фиксируется в Южном полушарии, а начало августа - максимальное развитие муссонных процессов в северном полушарии. Начало и ослабление муссонных процессов значительно не согласуются по времени с годовым притоком солнечной энергии и его распределением по земному шару.

Если рассматривать наиболее выраженную муссонную циркуляцию в Индийском океане в районе Аравийского моря, то этот район согласуется с наиболее масштабной аномалией гравитационного поля, достигающей 66 mGal [13], что соответствует $\Delta g = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$. На рис. 2 приведены данные измерения вариаций формы геоида в районе этой аномалии (полуостров Индостан) в мм H₂O.

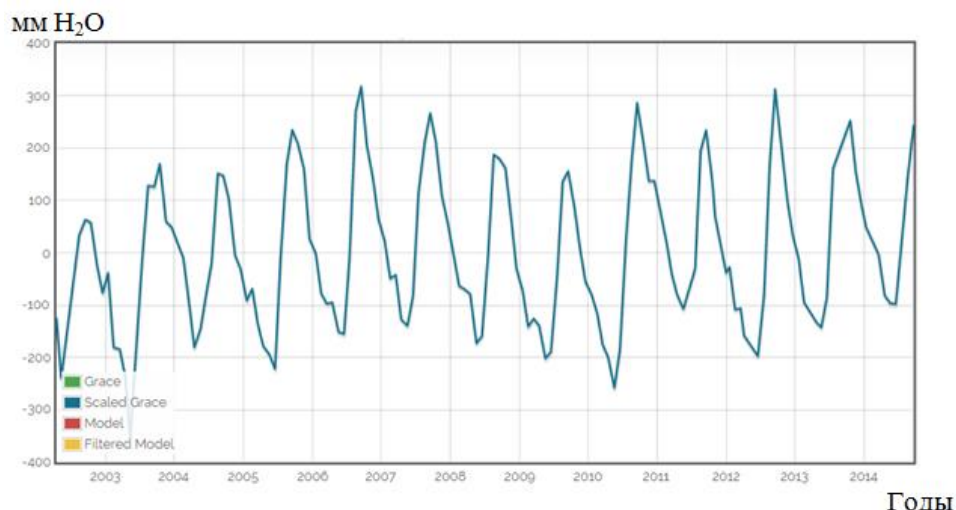


Рис. 2. Изменения во времени среднемесячных отклонений от эквипотенциальной поверхности геоида в районе Индостана в мм H₂O (100 мм H₂O=9.807 гПа) [1]

Важно отметить, что на прилегающей к Индостану акватории Индийского океана внутригодовые изменения формы геоида не превышают 50–100 мм H₂O, то есть в 4–5 раз меньше. Из этого следует, что возникающие градиенты гравитационного поля между Индостаном и Индийским океаном формируются главным образом изменениями гравитационного поля в районе полуострова Индостан (рис. 2). В случае с муссонной циркуляцией необходимо учитывать временные промежутки, когда формируются горизонтальные градиенты силы тяжести между Аравийским морем и полуостровом Индостан. Начиная с июня по август, на полуострове Индостан изменения силы тяжести составляют 300–400 мм H₂O. В это же время и формируется летний муссон. Такие же изменения силы тяжести, но с обратным знаком, формируются в ноябре-марте, когда начинается зимний муссон. Влияние изменений силы тяжести на формирование муссонной циркуляции подтверждают и данные среднемесячных карт «200-hPa velocity potential (10⁶m²s) and divergent wind» [14] о циклической смене над полуостровом Индостан дивергентных условий – конвективными, в указанные периоды изменения силы тяжести. Летний муссон существенно более мощный в связи с тем, что с океана на сушу выносятся более влажный и, соответственно, легкий воздух; за счет этого восходящие потоки над Индостаном во время летнего муссона ещё более усиливаются.

В условиях возникновения продолжительных региональных аномалий гравитационного поля и соответствующих региональных аномалий вертикальных движений воздушных масс, формируются и зоны катастрофических наводнений и засух [7]. Например, аномальное обмеление Амазонки в июле-сентябре 2005 г. совпало по времени с беспрецедентной аномалией силы тяжести в этом же регионе. Отсутствие осадков было вызвано, в том числе, и нисходящими потоками воздуха и отсутствием дождей [7].

5. Выводы

В результате выполненного исследования показано, что динамические процессы атмосферы и океана могут возникать не только в результате неравномерной инсоляции поверхности Земли, но и в условиях изменения во времени силы тяжести. Приведенные ссылки на результаты теоретических исследований по оценке скорости вертикального движения столба воздуха при изменении силы тяжести, подтверждают это. Показано, что незначительные по амплитуде аномалии силы тяжести в тропической зоне формируют внутрисуточный ход приземного давления, периодически проявляющийся ливневыми осадками. Показано, что изменения силы тяжести с полусуточным периодом могут снижать активность тропических циклонов, придавая их развитию «взрывной» характер. Изменения во времени силы тяжести, имеющие региональный характер, могут формировать горизонтальные потоки воздуха и рассматриваться как одна из главных причин муссонной циркуляции.

Литература

1. The GRACE Mission [Electronic resource] / Available at: <http://geoid.colorado.edu/grace/>
2. The ocean bulletin [Electronic resource] / Available at: <http://bulletin.aviso.oceanobs.com/>
3. The World Relative Gravity Reference Network (WRGRN) [Electronic resource] / Available at: http://geomaps.wr.usgs.gov/gump/gravity_base_stations/
4. Руткевич, П. Б. О реакции атмосферы на локальные изменения плотности мантии Земли [Текст] / П. Б. Руткевич // Гидродинамика: сб. научн. трудов. – 1998. – Вып. 11. – С. 241–248.
5. Бороздич, Э. В. Воздействие короткоживущих подкорковых локальных возмущений на лито-, гидро- и атмосферу [Текст] / Э. В. Бороздич // Гагаринские научные чтения по космонавтике и авиации. 1989 г. – М.: Наука. – 1990. – С. 130–140.
6. Декларац. пат. на корисну модель № 63796, Спосіб виявлення змін гравітаційного поля Землі [Текст] / Учитель І. Л., Ярошенко В. М., Капочкін Б. Б. – від 25.10.2011 – Бюл. № 20.

7. Гладких І. І. Формування погодних умов в морських та прибережних районах [Текст] / І. І. Гладких, Б. Б. Капочкін, Н. В. Кучеренко, В. В. Лісоводський. – Одеса: Астропринт, 2007. – 142 с.

8. The National Data Buoy Center (NDBC) - NOAA [Electronic resource] / Available at: <http://www.ndbc.noaa.gov/>

9. Dolia, V. D. Basic mechanism of interaction of a gravitational field of the Earth and atmospheric circulation [Text] / V. D. Dolia // International conference Global and regional climate changes, conference abstracts. – Kyiv, Ukraine, 2010.

10. Dolia, V. D. The gravitational theory of baric formations [Text] / V. D. Dolia // Geophysical Research Abstracts. – 2008. – Vol. 10.

11. Капочкина, А. Б. Влияние газовой составляющей флюидного режима литосферы в районах экваторий на атмосферные процессы [Текст] / А. Б. Капочкина, Б. Б. Капочкин // Междисциплинарный научно-аналитический и образовательный журнал «Пространство и время». – 2013. – Т. 4, Вып. 1. – С. 22.

12. Шарков, Е. А. Глобальный тропический циклогенез и 27-суточные вариации солнечной активности [Текст] / Е. А. Шарков, В. В. Афонин // Исследование Земли из космоса. – 2012. – № 1. – С. 21–28.

13. How precise is Earth's gravity [Electronic resource] / Available at: <http://www.calpoly.edu/~gthorncr/ME302/documents/AccuracyofGravity.pdf>

14. NOAA/ National Weather Service [Electronic resource] / Available at: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/CDB_Archive_html/bulletin_092007/Tropics/figt24.shtml

References

1. The GRACE Mission. Available at: <http://geoid.colorado.edu/grace/>

2. The ocean bulletin. Available at: <http://bulletin.aviso.oceanobs.com/>

3. The World Relative Gravity Reference Network (WRGRN). Available at: http://geomaps.wr.usgs.gov/gump/gravity_base_stations/

4. Rutkevich, P. B. (1998). The reaction atmosphere on local changes in the density of the Earth's mantle. Hydrodynamics: Sat. Scien. works: Perm. Univ., 11, 241–248. [in Russia]

5. Borozdich, E. V. (1990). Exposure to short subcortical local perturbations in the lithosphere, hydro and atmosphere. Gagarin scientific readings on space and aviation. Moscow: Nauka, 130–140. [in Russia]

6. Uchytel, I., Yaroshenko, V., Kapochkin, B. (2011). Patent for useful model number 63796, The method for detecting changes in the gravitational field of the Earth, 25.10.2011. Bull. № 20. [in Russia]

7. Gladkyh, I. I., Kapochkin, B. B., Kucherenko, N. V., Lisovods'kyj, V. V. (2007). Weather Conditions Formation in Marine and Coastal Areas. Odesa: Astroprint Publisher, 142. [in Ukrainian]

8. The National Data Buoy Center (NDBC) – NOAA. Available at: <http://www.ndbc.noaa.gov/>

9. Dolia, V. D. (2010). Basic mechanism of interaction of a gravitational field of the Earth and atmospheric circulation. International conference Global and regional climate changes, conference abstracts, Kyiv.

10. Dolia, V. D. (2008). The gravitational theory of baric formations. Geophysical Research Abstracts, 10.

11. Kapochkina, A. B., Kapochkin, B. B. (2013). Influence of gas components of the fluid regime of the lithosphere in the areas of water areas on the atmospheric processes. Interdisciplinary scientific-analytical and educational journal "Space and Time", 1 (4), 22. [in Russian]

12. Sharkov, E. A., Aфонin, V. V. (2012). Global Tropical Cyclogenesis and 27-Diurnal Solar Activity Variations. Earth Study from Space, 1, 21–28. [in Russian]

13. How precise is Earth's gravity. Available at: <http://www.calpoly.edu/~gthorncr/ME302/documents/AccuracyofGravity.pdf>

14. NOAA/ National Weather Service. Available at: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/CDB_Archive_html/bulletin_092007/Tropics/figt24.shtml

*Рекомендовано до публікації д-р геог. наук Михайлов В. І.
Дата надходження рукопису 27.01.2015*

Доля Вадим Дмитриевич, военный инженер метеоролог, Военно-воздушные силы Украины, г. Винница, воинская часть А-1231
E-mail: vadim.earth@gmail.com

Кучеренко Наталья Васильевна, кандидат географических наук, доцент, Кафедра океанологии и морского природопользования, Одесский государственный экологический университет, ул. Львовская, 15, г. Одесса, Украина, 65016
E-mail: natalia_v_kucherenkotsb1@ukr.net

Капочкин Борис Борисович, кандидат геолого-минералогических наук, кафедра теплогасоснабжения, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, г. Одесса, Украина, 65029
E-mail: tsb1@ukr.net