

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Геофизический центр Российской академии наук
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук
Управление по охране окружающей среды, природным ресурсам
и чрезвычайным ситуациям Республики Адыгея
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Майкопский государственный технологический университет»**

**ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ГЕОЛОГИИ,
ГЕОФИЗИКИ И ГЕОЭКОЛОГИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**МАТЕРИАЛЫ
III Международной научно-практической конференции**

**Майкоп
11 – 14 мая 2015 г.**

УДК [551+550.83+574]: 004: 061.3 (470.621)

ББК 20.1

П-75

Редакционная коллегия:

Куижева С.К. - канд. физ.-мат. наук, доцент

Овсянникова Т.А. – д-р филос. наук, профессор

Беданок М.К. – д-р экон. наук, профессор

Дёмина Т.И. - канд. физ.-мат. наук, доцент

П-75 ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И ГЕОЭКОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. Материалы III Международной научно-практической конференции. – Майкоп: ИП Кучеренко В.О., 2015. – 262 с. ISBN 978-5-906696-22-9

В сборнике представлены материалы участников научно-практической конференции «Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий», организованной на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Майкопский государственный технологический университет» совместно с Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Геофизический центр РАН, Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН при участии Управления по охране окружающей среды, природным ресурсам и чрезвычайным ситуациям Республики Адыгея, проведённой в г. Майкопе 11 – 14 мая 2015 г.

УДК [551+550.83+574]: 004: 061.3 (470.621)

ББК 20.1

ISBN 978-5-906696-22-9



© ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Karimova S., Gade M. Spatial variability of submesoscale eddy activity in the mediterranean sea	5
Georges A. Lebanon's petroleum (oil and gas)-is it a reality?	14
Авагимян А.В. Оперативный мониторинг утечек и разливов нефти в морских акваториях	16
Ахматов З.А., Хоконов А.Х., Хоконов М.Х. Получение уравнения состояния инертных газов и их смеси с учетом трехчастичных взаимодействий методом молекулярной динамики	23
Ахсалба А.К., Эмба Я.А. Динамика химического состава атмосферных осадков на территории Абхазии	28
Бахова Н.И. Особенности информационного взаимодействия геофизической среды и биоты	37
Беданокоев М.К., Берзегова Р.Б. Обтекание при разрывах устойчивости и орографические возмущения в стратосфере	44
Белов С.Ю., Белова И.Н. Функциональная схема экспериментальной аппаратуры когерентного приёма в задачах мониторинга поверхности земли методом дистанционного зондирования в коротковолновом диапазоне радиоволн	53
Бучацкая В.В., Бучацкий П.Ю. Возможности геоинформационных систем для моделирования возобновляемых источников энергии	58
Варшанина Т.П., Коробков В.Н. Диагностика точек концентрации тектонических напряжений на основе структурно подобной геодинамической модели	62
Верходанов О.В. Анализ данных на полной сфере и последние космологические результаты	71
Власюк В.В. К вопросу об астрофизических предпосылках процессов глобального потепления	89
Вольных В.Н. Особенности природы и антропогенное влияние на архипелаге Валаам	93
Вольтер Е.Р., Гицба А.Ш., Маландзия В.И., Кишмария Я.Ш. Геоэкология среды обитания и «электромагнитный гомеостаз» организма	100
Гицба Я.В., Эмба Я.А. Особенности гидротермического режима абхазской акватории Чёрного моря	105
Ковалева А.С. Анализ геоэкологических проблем при разработке нефтяных и газовых месторождений	114
Кориневич Л.А. Минеральные воды Адыгеи как основа оздоровительного отдыха на территории республики	123

Костарнова Н.К. Состояние особо охраняемых природных территорий Республики Адыгея и их использование в сфере туризма	125
Кудрявцева Н.В., Тхайцухова Ф.Б. Исследование физико – химических свойств состава природных вод Адыгеи на примере реки Белой	132
Курбатова И.Е. Использование гис-технологий для оценки влияния антропогенно нарушенных водосборов боковых притоков на цимлянское водохранилище	136
Лебедев С.А., Костяной А.Г., Гинзбург А.И. Динамика Каспийского моря по данным инструментальных измерений, результатам моделирования и данным дистанционного зондирования	146
Очерет Н.П., Гусарова В.С. Гидрохимический мониторинг водных объектов Республики Адыгея	180
Рафикова Ю.Ю., Киселева С.В. Геоэкологические аспекты при планировании объектов возобновляемой энергетики	184
Репина И.А., Аниферов А.А., Артамонов А.Ю. Метан в атмосфере Арктики по данным дистанционного зондирования, приземных измерений и моделирования	191
Сиротюк Э.А., Шадже А.Е. Биохимический мониторинг содержания соединений свинца в воздухе Майкопа	199
Сычѳв В.И. Современное состояние и динамика прибрежной зоны и водных объектов по спутниковым данным высокого разрешения (на примере Краснодарского водохранилища)	207
Тах И.П., Агиров А.Х. Активность каталазы и уреазы в почвах степной зоны Республики Адыгеи	213
Тороян Р.А. Обеспечение безопасного уровня воздействия физических факторов в Республике Адыгея	220
Хатко З.Н. Пектиносодержащие высокотехнологичные структуры	224
Хоконов А.Х., Кузминов В.В., Пантелеев В.Л., Хамукова Л.А. Определение энергии двухэлектронных k-вакансий в атомах инертных газов. Теория и эксперимент	225
Черепанцев А.С. Особенности самоорганизованного критического состояния в модели упругого взаимодействия блоков земной коры	231
Шакун В.П., Рафикова Ю.Ю. Особенности картографирования энергопотенциала отходов агрокультур для территории России на национальном и региональном уровне	238
Шогенова М.М., Балкарова С.Б. Исследование спектра размеров частиц солей тетрабутиламмония	242
Шутькова И.Н. Человек и атмосфера	245
Экба Я.А., Дбар Р.С., Ахсалба А.К. Изменчивость абиотических компонентов карстовых пещер при рекреационной нагрузке	252

SPATIAL VARIABILITY OF SUBMESOSCALE EDDY ACTIVITY IN THE MEDITERRANEAN SEA

Svetlana Karimova¹, Martin Gade²

¹ *Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG), Institut für Küstenforschung*

² *Universität Hamburg (UHH), Institut für Meereskunde
Geesthacht, Hamburg, Germany*

E-mail: svetlana.karimova@hzg.de

1. Introduction

In coastal regions and in the open ocean, mesoscale and submesoscale hydrodynamic features play a crucial role in determining transport processes and statistical properties of the turbulence field. In addition, these features can significantly affect the dynamics of the marine ecosystem [1]. Currently, submesoscale eddies (with a diameter from 1 km up to 10-20 km) are being the least studied part of the eddy spectrum. Despite the fact that they were first seen from space more than 40 years ago [2], there is still a lot of uncertainties concerning their origin, lifetime, participation in the energy cascades, etc. Many efforts are being undertaken nowadays to study this type of ocean stirring through laboratory experiments and numerical modeling, as well as satellite, ground-based high frequency radar, and in-situ observations.

Due to their high spatial resolution, wide field-of-view, and independence of cloud cover and sunlight conditions, satellite-borne synthetic aperture radar (SAR) sensors are an effective tool to gain more information on submesoscale eddies in almost any part of the World's oceans. Since these vortices manifest in SAR or sunglint imagery as clearly expressed spirals, they were frequently referred to as spiral eddies [3]. The existing works on spiral eddies, which deal with SAR imagery, refer to the Norwegian Sea [12][13], Southern California Bight [6], Baltic, Black, and Caspian Seas [7], Red Sea [8], and Aegean Sea [9]. Recently it was confirmed that submesoscale eddies can be detected in SAR images of big lakes as well. Thus, quite a few such eddies were discovered in Lake Superior [10].

In the present study, SAR imagery was used to derive statistics on submesoscale eddies in the entire Mediterranean Sea, which is a large oligotrophic basin with significant differences reported in the ecosystem properties between the western and eastern parts of the sea [4]. The aim of the study is to check whether there also exist significant differences in the submesoscale hydrodynamics in different parts of the Mediterranean Sea.

Additional significance of the current research is due to the fact that eddies in SAR imagery are observed mainly due to biogenic surfactant films, which act as tracers accumulating along the shear current lines. Thus any statistics of eddies seen in SAR imagery can be regarded also as a proxy of abundance of surfactants on the water surface.

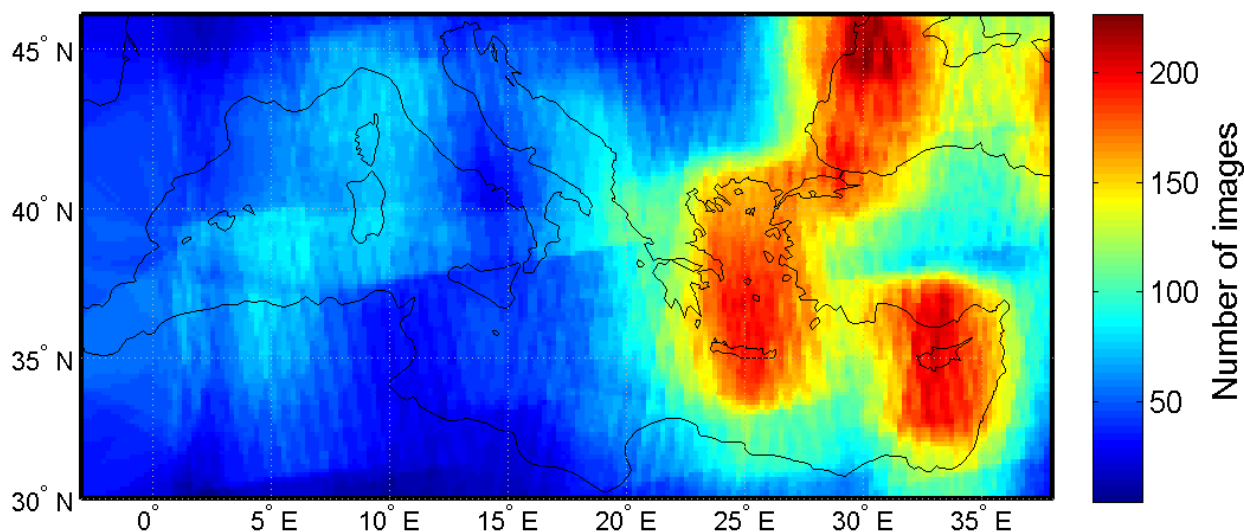


Fig. 1. Coverage of the Mediterranean Sea by SAR images obtained in 2009-2011.

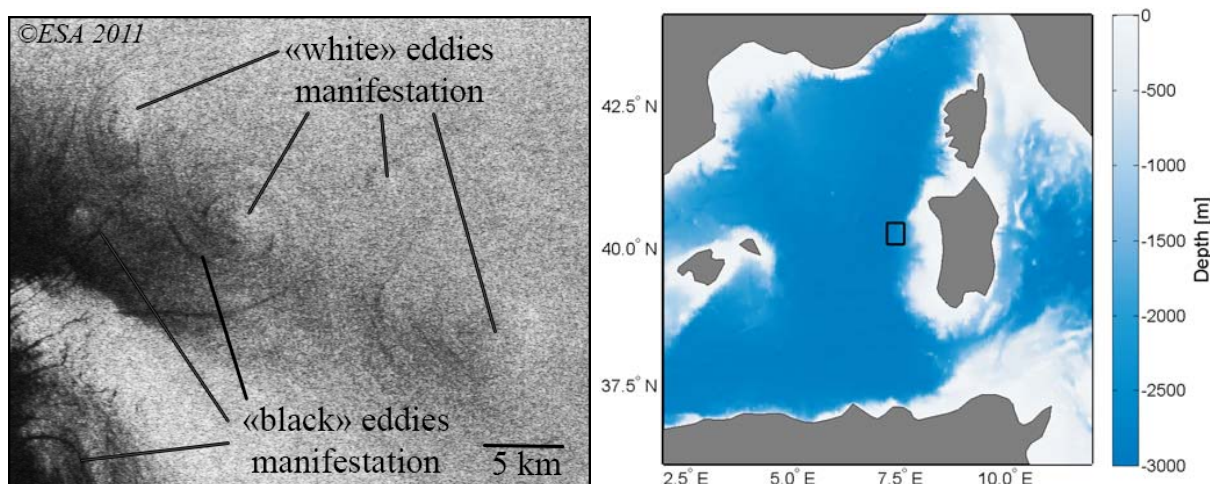


Fig. 2. Fragment of an Envisat ASAR image obtained on 29.09.2011 at 21:17 UTC with eddy manifestations (left) and location of the fragment (right).

2. Data and Methods

2.1. Data. The dataset used consists of about 2200 wide swath (WS) Envisat Advanced SAR (ASAR) images obtained in 2009-2011. The pixel size and swath width of the images is 75 m and about 400 km, respectively. The coverage density of the region of interest is shown in Fig. 1 indicating significant inhomogeneity of the data coverage with most of the data obtained for the eastern part of the basin.

2.2. Eddy manifestation in SAR imagery. At low to moderate wind speeds (of about $2\text{-}5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) eddies usually appear in SAR images due to the presence of natural films on the sea surface [12][13]. Surfactants dampen small-scale surface waves, thereby reducing the radar backscattering from the sea surface, and if they accumulate along the flow lines, eddies become visible on SAR imagery. Since this

effect causes eddies to be marked dark, for the shortness sake eddies visualized due to slicks are hereinafter referred to as “black” eddies.

At wind speeds of $5\text{-}7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, surfactant films start to disrupt, and as a result those dark spiral lines representing “black” eddies disappear. At higher wind speeds eddies appear in SAR imagery only as a result of wave/current interactions along the lines of current shear, which manifest in SAR images as bright curved lines [4]. Since the radar backscattering is locally enhanced due to this effect, such eddies are referred to as “white” eddies.

An example of both types of eddy manifestation is given in Fig. 2. In the fragment presented (with dimensions of approx. $37\text{ km} \times 30\text{ km}$) there is a chain of eddies and because of spatial variations of near-surface wind speed during the survey the northern parts of the eddies show up as “white” eddies being visible due diffuse contrasts of the radar backscatter, while the southern parts still show signatures of surfactant films (“black” eddies).

2.3. Algorithm of eddy detection. Due to overlapping atmospheric and hydrodynamic phenomena an automatic detection of eddies in SAR imagery is still a very challenging task. For that reason the images were inspected visually using the software BEAM Visat 4.11 and the geographical coordinates of the centres of discovered submesoscale eddies (with diameters below 20 km) were identified manually. The retrieved dataset of those eddy coordinates was further processed, and the results obtained are presented in the following section.

3. Results

3.1. General statistics. In total 5012 “black” and 2898 “white” eddies were discovered, so the share of “white” eddies was about 36.6 %. This value is close to the one obtained earlier for the Black Sea (34.6 %) through a similar analysis [7]. In the Baltic and Caspian Seas smaller values were found (17.6 and 22.0 %, respectively), while in the Red Sea it was larger (45.8 %) [8]. At this point it cannot be clearly stated which factor plays the major role for the observed differences, the differences in wind conditions or the regional hydrodynamics, or a combination of both.

As a very approximate parameter for the comparison of submesoscale eddy activity in different seas one can use a number of eddies discovered per SAR image analyzed. In the present analysis this parameter was about 3.6 eddies per image. The values retrieved for the Baltic, Black, and Caspian Seas were 5.5, 6.7, and 7.7 eddies per image, respectively. The Red Sea analysis yielded 2.1 eddies per image, and finally in the North Sea only 0.9 eddies per image were found (not shown herein).

3.2. Spatial distribution of eddies. The locations of all eddies discovered are shown in Fig. 3 as coloured circles plotted on a bottom topography map of the Mediterranean Sea. The colour of the pins defines the month, during which the eddy appeared. Even though most of the images covered the eastern Mediterranean Sea, we also found a considerable amount of eddies in the western part. This suggests that the eddy activity in the western part of the basin is higher than in the eastern part, though a more homogeneous data coverage is needed to check this hypothesis.

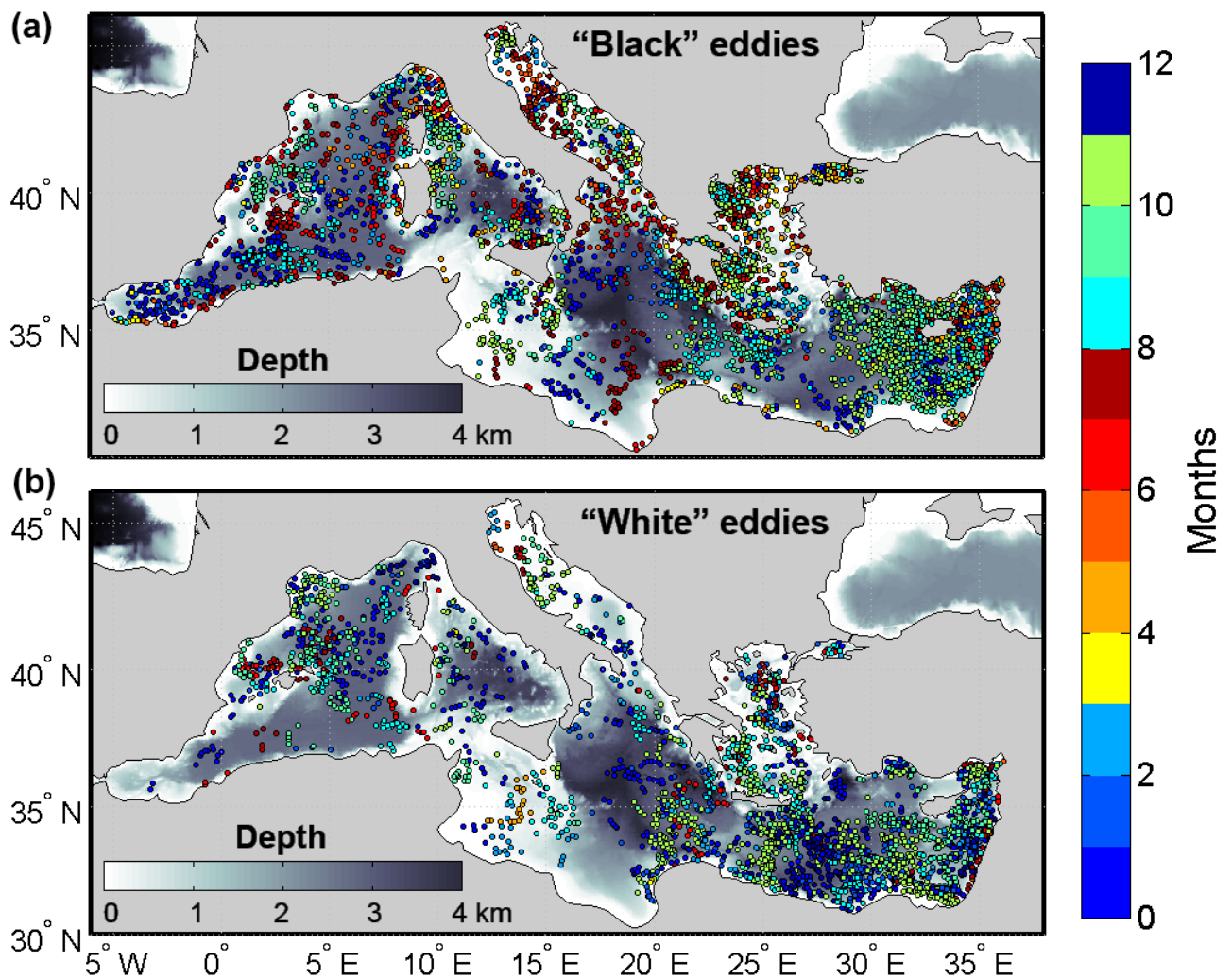


Fig. 3. “Black” (a) and “white” (b) eddies detected in the Mediterranean Sea in 2009-2011 overlaid to a bottom topography map. The colour of the circles represents the month of the eddy appearance.

Regarding the temporal distribution of eddies, “black” eddies were discovered during both warm and cold periods of the year, which is different from other seas where most of the “black” eddies were attributed to the warm period. Probably it can be explained by the more homogeneous distribution of wind speeds throughout the year in the Mediterranean Sea compared to other seas. At the same time, similar to other seas, “white” eddies were still found mostly during the cold period, during which the wind speeds are supposed to be higher.

Since the SAR images used for the study cover the region of interest in a very inhomogeneous way, the spatial distribution of eddies discussed above can be significantly biased. In order to exclude such a bias, the following procedure was performed. For every cell of a regular grid the number of eddies was calculated, as well as the number of images covering the cell. Finally the former was divided by the latter and multiplied by 1000 for convenience. The resulting normalized eddy density schemes are shown in Fig. 4.

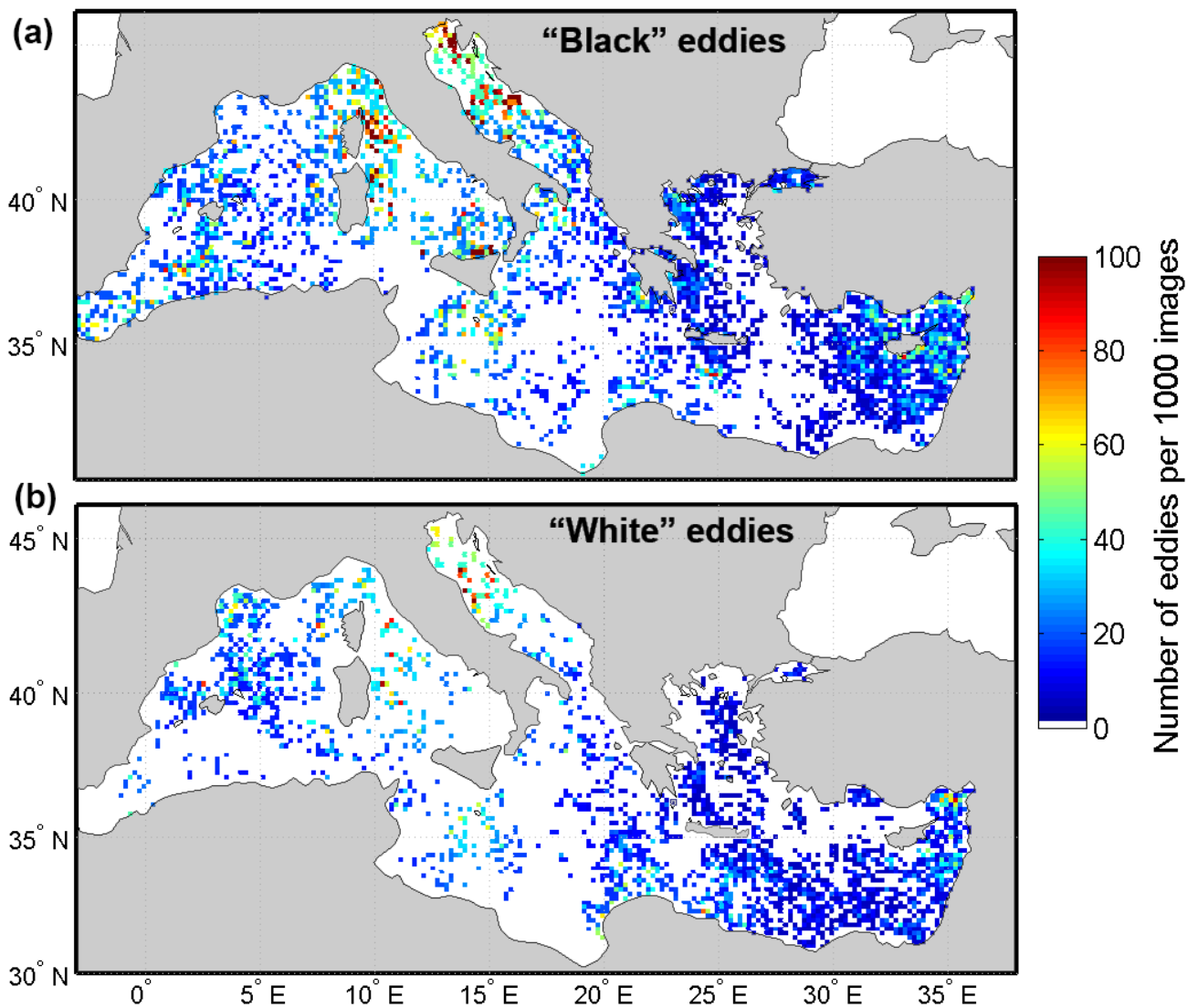


Fig. 4. Normalized eddy density of “black” (a) and “white” (b) eddies.

The highest values were obtained in the Adriatic and Tyrrhenian Seas, which could be due to the smallest amount of images analyzed in that region. In the eastern part, of which more images were analyzed, we note an asymmetric distribution of “black” eddies in the Aegean Sea (much more in the western than in the eastern part). In general “black” eddies were mostly discovered in the northern part of the eastern Mediterranean Sea, while the majority of “white” eddies were found in the south. Further studies are needed to find out the reasons of this specific distribution of eddies.

3.3. Comparison with distribution of other parameters. The number of “black” eddies represents at some extent the amount of biogenic surfactant films. In order to check for a possible connection between surfactants and productivity of the marine ecosystem we compared the fields of “black” eddy density and the mean concentration of chlorophyll-a (Chl-a). Such a comparison is provided in Fig. 5, where the underlying colours represent the Chl-a concentration, while normalized eddy density values are shown as circles of different size.

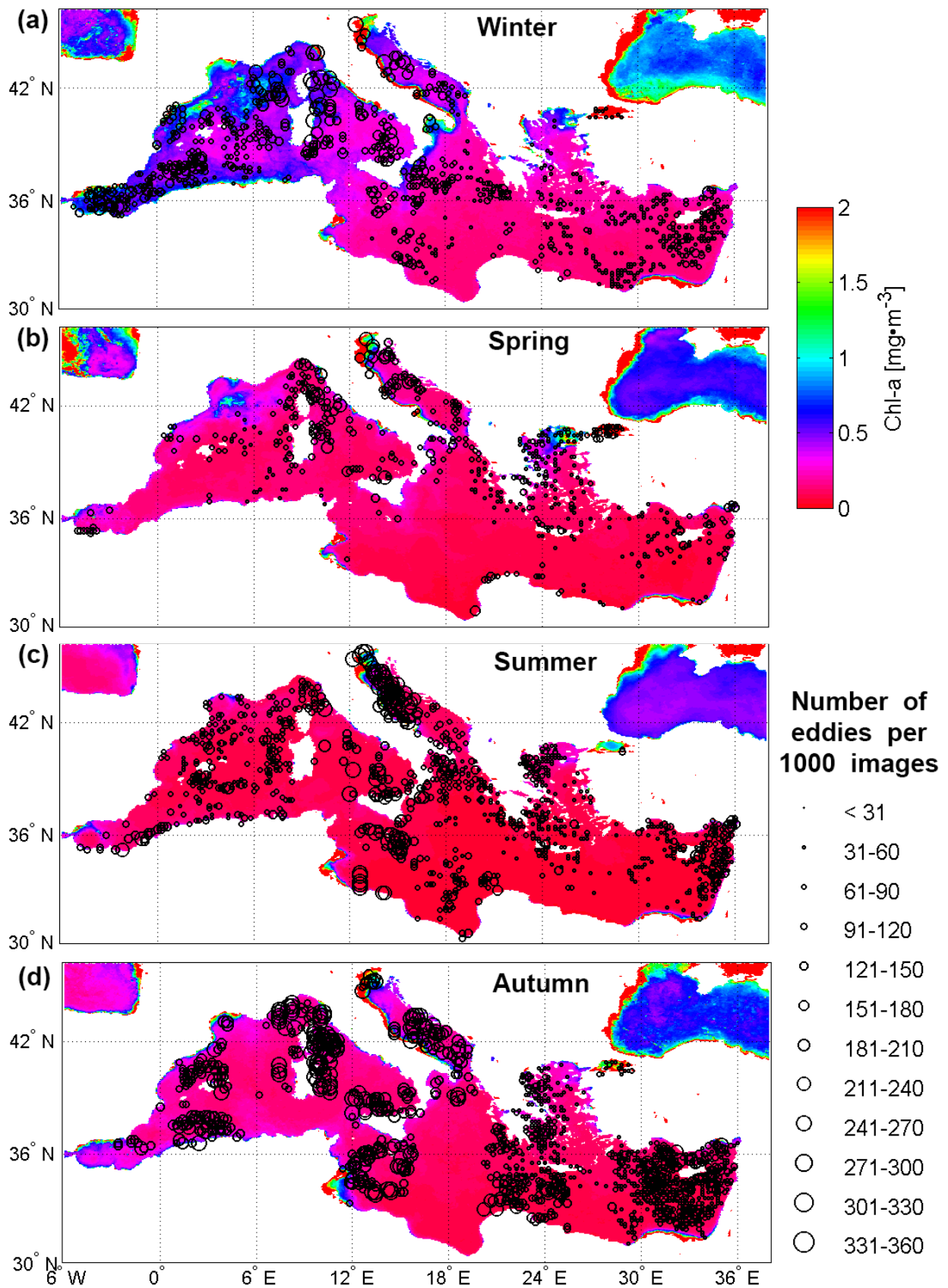


Fig. 5. Normalized eddy density of “black” eddies (circles) with the underlying mean chlorophyll-a concentration (colour shading) in different seasons.

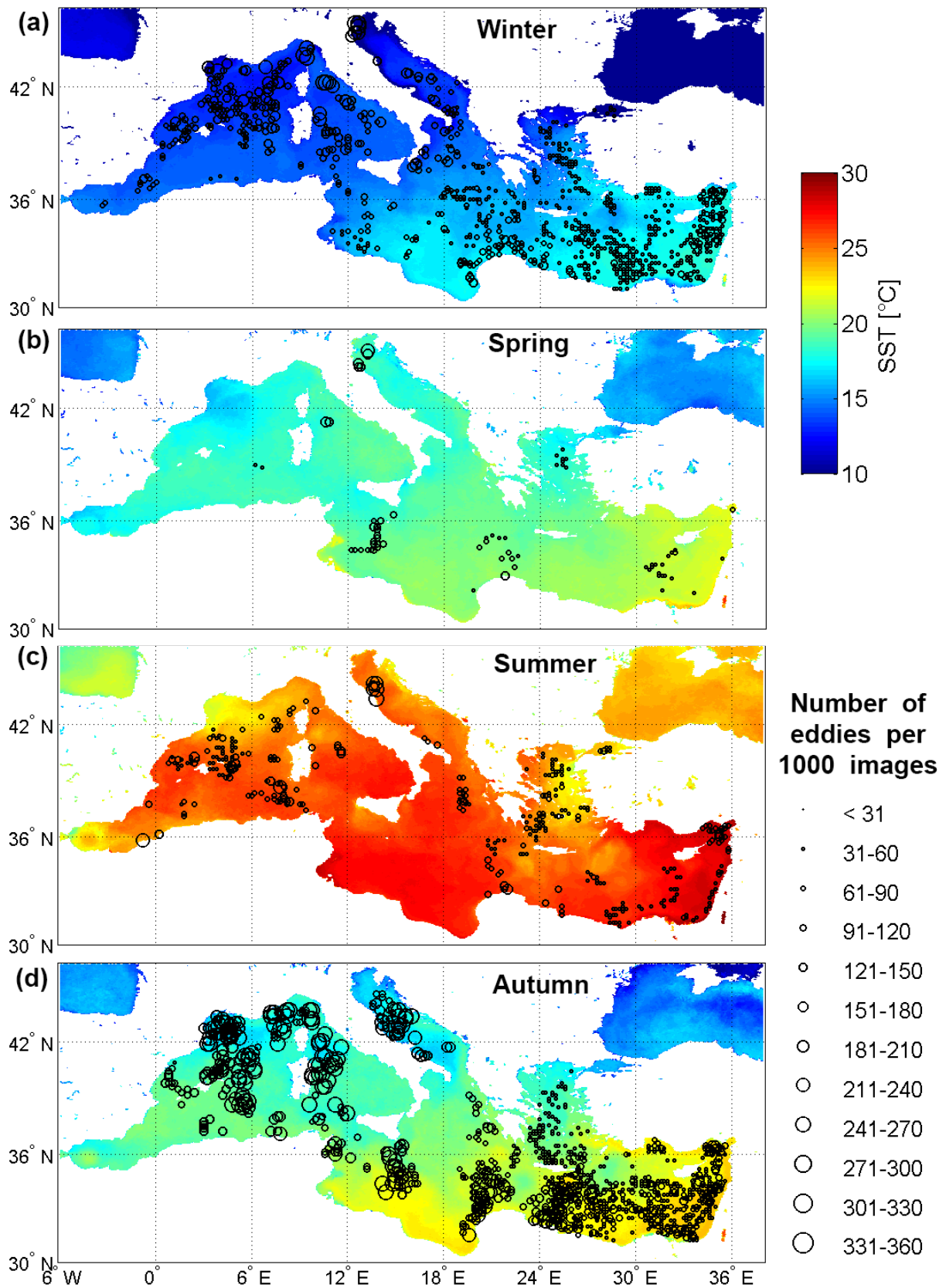


Fig. 6. Normalized eddy density of “white” eddies (circles) with underlying mean sea surface temperature (colour shading) in different seasons.

We note that “black” eddies were discovered in areas with both high and low values of Chl-a; nevertheless, during winter there is quite a good correlation between Chl-a and eddy density. Further research is needed here to investigate any interconnections of Chl-a inhomogeneities and the observed eddy densities.

On the one hand, higher bioproductivity in the western Mediterranean Sea can lead to an increased appearance of surfactants, which in turn help visualizing eddies. On the other hand, increased bioproductivity being observed in the western Mediterranean Sea can be a result of higher eddy activity in that region. From our experience in the analysis of SAR imagery we hypothesize that the latter is more probable, because sufficient amounts of surfactant films were discovered elsewhere in the seas analyzed; therefore, they cannot be the limiting factor for the visualization of eddies.

Since the role of frontal instabilities and thermal fronts in the formation of submesoscale eddies is still under discussion [3][10], we provide a similar comparison of eddy density and sea surface temperature (SST). In order to trace the seasonal variability of the “white” eddy distribution, here we visualize the eddy density of “white” eddies. Corresponding fields are shown in Fig. 6. Similar to the previous comparison we note that eddies were discovered both in areas with homogeneous SST and in the vicinity of main frontal zones.

4. Conclusions

Our analysis of about 2200 Envisat ASAR images of the Mediterranean Sea acquired in 2009-2011 revealed almost 8000 submesoscale eddies. In general the Mediterranean Sea shows less submesoscale activity than the Baltic, Black, and Caspian Seas, but still much more than the Red Sea and especially the North Sea. The influence of the different wind speed conditions over the seas mentioned on the amount of eddies discovered still needs to be investigated.

Analyzing the fields of the normalized eddy density allowed us to suggest that submesoscale eddy activity in the western Mediterranean Sea is stronger than that in its eastern part. However, one should also take into account that the SAR image coverage was much higher in the eastern Mediterranean Sea. More SAR imagery of the western part of the basin is needed to prove, or to disprove our conclusions.

The comparison of the locations of eddies visible due to surfactant films (“black” eddies) with chlorophyll-a concentration fields revealed a good correlation between submesoscale eddy activity and phytoplankton productivity during winter season. A reason for such correlation can be either a better visibility of “black” eddies due to a higher availability of surfactants during the productive winter season, or the increasing bioproductivity due to an overall higher meso- and submesoscale eddy activity during winter. The latter hypothesis seems more realistic, though further research is needed here.

The comparison of eddies locations with distribution of seasonally averaged SST did not show direct connections between eddies and main thermal frontal zones. Further detailed comparisons of eddies locations and corresponding SST gradients (observed at the same place and time) would also help discovering the role of thermal fronts and frontal instability for submesoscale eddy formation. Future research

should therefore focus on individual comparisons of observed eddies and corresponding SST gradient fields.

Acknowledgements

The SAR data were obtained from the European Space Agency under grant # 14120 “Spiral eddy statistical analyses for the Mediterranean Sea using Envisat ASAR Imagery (SESAMeSEA)”.

REFERENCES

- [1] McGillicuddy, D. J., Robinson, A. R., Siegel, D. A., Jannasch, H. W., Johnson, R., Dickey, T. D., McNeil, J., Michaels A. F., and Knap, A. H. 1998. Influence of mesoscale eddies on new production in the Sargasso Sea. *Nature*, 394, 263-266.
- [2] Scully-Power, P. 1986. Navy Oceanographer Shuttle Observations, STS 41-G, Mission Report. Naval Underwater Systems Center Tech. Rep. NUSC TD 7611.
- [3] Munk, W., Armi, L., Fischer, K., and Zachariasen, F. Spirals on the sea. 2000. *Proceedings of the Royal Society of London*, 456, 1217-1280.
- [4] Dokken, S. T. and Wahl, T. 1996. Observations of spiral eddies along the Norwegian Coast in ERS SAR images. FFI Rapport 96/01463.
- [5] Sandven, S., Johannessen, J. A., Kloster, K., Hamre, T., and Sætre, H. J. Satellite studies of ocean fronts and eddies for deepwater development in the Norwegian Sea. 2000. Proc. Tenth International Offshore and Polar Engineering Conference. Seattle, USA, May 28-June 2, 2000.
- [6] DiGiacomo, P. M. and Holt, B. 2001. Satellite observations of small coastal ocean eddies in the Southern California Bight. *Journal of Geophysical Research*, 106(C10), 22,521–22,543, doi:10.1029/2000JC000728.
- [7] Karimova, S. 2012. Spiral eddies in the Baltic, Black and Caspian Seas as seen by satellite radar data. *Advances in Space Research*, 50(8), 1107-1124.
- [8] Karimova, S. and Gade, M. 2014. Eddies in the Red Sea as seen by satellite SAR imagery. In “*Remote Sensing of the African Seas*”. V. Barale and M. Gade (Eds.). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. P. 357-378.
- [9] Tavri, A., Topouzelis, K., and Tragou, E. 2014. Spiral eddies in the Aegean Sea derived by satellite radar data. Proc. 2nd Intern. Conf. Remote Sens. Geoinform. Environ. (RSCy2014), doi: 10.1117/12.2066291.
- [10] McKinney, P., Holt, B., and Matsumoto, K. 2012. Small eddies observed in Lake Superior using SAR and sea surface temperature imagery. *Journal of Great Lakes Research*, 38, 786-797.
- [11] Barale, V. 2008: The European Marginal and Enclosed Seas: An Overview, in *Remote Sensing of the European Seas*, V. Barale and M. Gade (Eds.), Springer, Heidelberg, 514 pp., 3–22.
- [12] Gade, M., Byfield, V., Ermakov, S. A., Lavrova, O. Yu., and Mitnik, L. 2013. Slicks as indicators for marine processes. *Oceanography*, 26(2), 138–149.
- [13] Alpers, W. and Hühnerfuss, H. 1989. The damping of ocean waves by surface films: A new look at an old problem. *Journal of Geophysical Research*, 94(C5), 6251–6265.

LEBANON'S PETROLEUM (OIL AND GAS)-IS IT A REALITY?

Georges Aoun

*Lebanese university
Beirut, Lebanon*

E-mail: georgesa7@hotmail.com

Lebanon is located geographically in the west of the Asian continent on the Mediterranean coast. Syria is on the north and east border and occupied Palestine is on the south. Geologically Lebanon is an extension of North Africa and a continuity of the Arabian Peninsula.

As it is well known Oil or Petrol is the most valuable of the natural resources. it counts for more than one third of the world's energy sources. Oil or Petroleum is a complex mixture of hydrocarbons found in the top layer of the Earth's crust.

The history of Lebanese oil: the story of oil in Lebanon started with the French mandate, when the French High Commissioner Henri de juvenile in 1926, passed legislation on prospecting oil and mineral mining and extraction. Subsequently many studies were conducted to determine the presence of mineral resources and gas in Lebanon.

Major geological studies were prepared by the French geological engineer Luis Dubertret in 1932, who worked for 25 years with his assistants to complete, by 1955, the Lebanese geological map.

In 1959 French scientist Georges Renoir prepared a report that included various attempts to explore oil and gas in Lebanon, referring to many signs that indicated the possibility of finding gas in Lebanon.

At that time the interest in prospecting began by Lebanese and foreign companies, and seven oil wells were drilled. In 1948 the Iraq petroleum company IPC by drilled an oil well in Terbole village in the North.

In 1953 the American company Western pacific Co US, in cooperation with the Lebanese company for petroleum (Compagne Libanaise des petroles), drilled an oil well (rig) in Yuhmur (Bekaa valley).

And in 1960 the Lebanese company for petroleum in cooperation with the German company Gewerksch Elwerath (ELW), drilled in the village el kaa, and in 1961 in Aadloun (South-zahrani). And in 1963 the Lebanese oil company in cooperation with Italian company Ausonia Mineraria (AM) drilled wells (rigs) in the Bekaa in Tel zenob, in Sohmor where they only found gas .

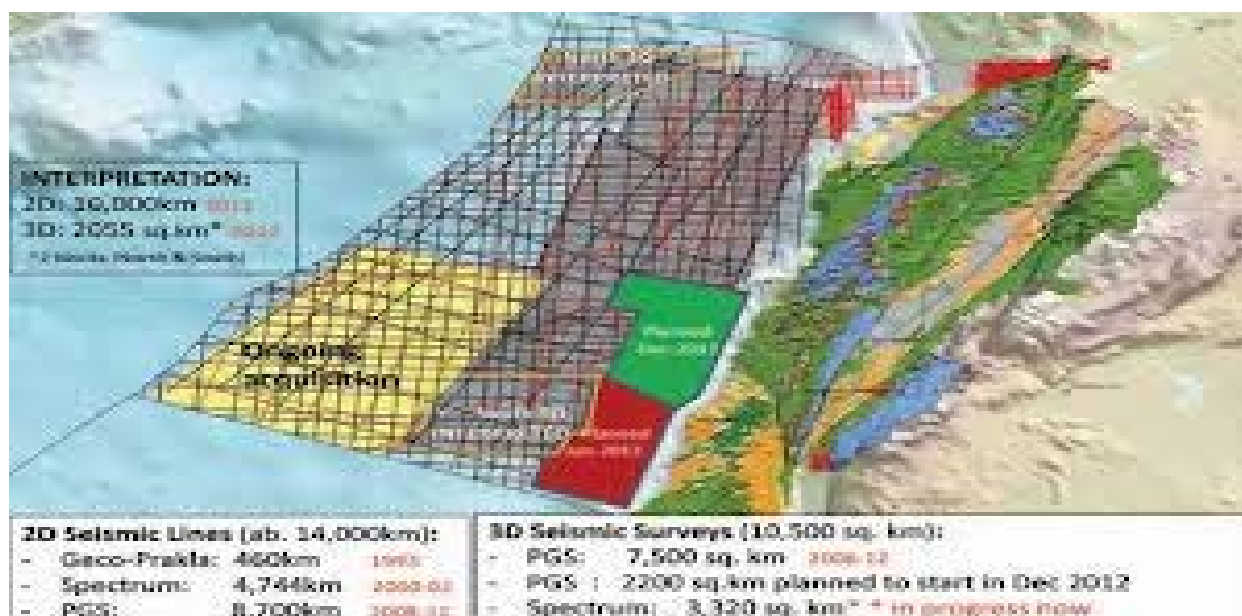
In 1967 the Shaheen Petroleum Exploration Company, drilled the last well in Batroun.

In the 1970 the late Lebanese Scientist Ghassan Kanso, published a study on the petrochemical industries and its production in Lebanon in which he mentioned the presence of oil in Lebanon, particularly in the areas between Batroun and Tripoli and in Lebanese territorial waters.(north Lebanon)

The late geological expert Ziad Beydoun confirmed in 1979, in many of his studies, the presence of oil on the Lebanese territory, especially on the coast and in the area of (the continental shelf) the underwater shelf on the Lebanese shore.

The Lebanese Government decided to re-examine the oil wells drilled in the past years, to review the results. The year 2000 witnessed the seismic studies of the Lebanese coast, and it came up with positive results so a seismic survey for the northern region was repeated and, the need to complete a land survey was considered as a must.

Despite the abundance of information on the existence of oil wealth in Lebanon, the file wasn't reactivated until the year 2002 when the Government contracted with the English spectrum company to survey a two-dimensional study that covered the entire Lebanese coast, including raster of approximately 20,000 kilometers east of the Mediterranean. Some of these lines were along the shore; others were vertically, as the survey reached 160 kilometers deep in the sea between Cyprus and Lebanon. (See map



The Total thickness of sedimentary layers in the Mediterranean Sea reached about 10 thousand meters, which confirms the presence of oil and gas. And later the GIS Norwegian Company completed the research through a 3D survey at the same site. It showed that the largest quantities of oil are located in places not far from the coast shore in Northern Lebanon near the towns of Albatroun and Shekka.

Geological research for oil continued by P.G.S Company. They conducted a three-dimensional survey in the years 2006-2007 In Lebanese waters and the Lebanese-Cypriot waters, noting a possibility of 50% to find commercial quantities of oil in the area. And that Lebanon may stock up some billions of barrels of oil.

The file wasn't effectively active till after the confirmation of Nobel US Energy Company on 22nd of June 2010 and after the 3D seismic tests, it confirmed all the discovered results of P.G.S Company about the presence of a huge gas field called Vitan facing the Lebanese coast in an international maritime area between the territorial waters of Palestine and Cyprus.

A new era has started because these quantities are not practical without exploration, and the excavation work initiated by the "Nobel" company in Palestinian water proved the existence of vast quantities of oil and gas, and which Israel began its production on the 30th of March 2013. This confirms the presence of oil and gas within the territorial waters of Lebanon. Unfortunately, we note that Israel is approaching the Lebanese territory with her excavation, and this requires a considerable serious effort from the Lebanese government to be aware and protect all raw materials quickly before the quantities deplete.

ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ УТЕЧЕК И РАЗЛИВОВ НЕФТИ В МОРСКИХ АКВАТОРИЯХ

А.В. Авагимян

*Майкопский государственный технологический университет
г. Майкоп, Россия*

E-mail: anush01@inbox.ru

Растущая добыча нефти, глобализация нефтеперевозок и ввод в эксплуатацию новых добывающих провинций с каждым годом неизбежно приводит к увеличению количества нефтеразливов и огромным финансовыми и природным потерям. Разливы нефти и нефтепродуктов на всех этапах добычи, переработки, хранения и транспортировки представляют значительную угрозу окружающей природной среде. Физическое свойство нефти покрывать тонкой пленкой огромные акватории даже при сравнительно небольших разливах приводит к тому, что даже незначительная утечка оборачивается крайне негативными последствиями. Спустя всего 10 минут после разлива 1 тонны нефти, она покрывает область радиусом более 50 километров, формируя так называемый нефтяной слик. Наличие такой угрозы, чреватой не только локальными и региональными экологическими катастрофами, но и огромными экономическими потерями и человеческими жертвами, требует, в первую очередь, организации действенного постоянного мониторинга за состоянием как обеспечивающих технических систем на всех этапах добычи, переработки, хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов, так и различных характеристик природной среды.

Знаменательный прорыв в обеспечении экологической безопасности перевозок был достигнут благодаря развитию новых технологий. В настоящее время мониторинг портов, транспортных хабов и наиболее загруженных магистралей осуществляется с помощью информации, получаемой при помощи дистанционного зондирования земной поверхности. Особое значение космический мониторинг нефтеразливов приобрел с появлением радиолокационных спутников, позволяющих отслеживать движение

нефтяного пятна на водной поверхности вне зависимости от погодных условий, в частности от облачности и времени суток.

Космическая информация используется на всех этапах технологического процесса: разведка, бурение, экспертиза проектов, строительство и реконструкция объектов инфраструктуры и трасс, добыча, транспортировка, текущий и экстренный мониторинг состояния. Для мониторинга наиболее доступными считаются программы дистанционного зондирования со спутников Terra и Aqua (сканер MODIS), которые обеспечивают как мини"мум двукратную ежесуточную съемку территории Земли с разрешением до 250 м и предоставляют возможность свободного доступа к данным.[1]

Технология определения нефтеразливов в морских акваториях. Данные дистанционного зондирования Земли открыли новые возможности для оперативного мониторинга разливов нефти на суше и в морских акваториях. Снимки, полученные с помощью сенсоров, установленных на космических платформах, покрывают области площадью до 500*500 километров и обладают достаточным разрешением для локализации разливов. Радарные данные являются наиболее подходящим средством для решения задачи мониторинга нефтяных загрязнений на море благодаря всепогодности съемки и независимости от уровня освещенности. Известно, что разлившееся на поверхности воды нефтяное пятно формирует пленку, и, вследствие присущих им физических характеристик, выглядят темными пятнами на окружающей их более яркой поверхности на радарном снимке. При слабом ветре, обычно между 0 и 2-3 м/с, водная поверхность выглядит темной на радиолокационных изображениях. В этом случае темные нефтяные пленки сливаются с темным фоном океана, и определение загрязнений невозможно. Скорость ветра между 3 и 9-11 м/с идеальна для определения нефтяных загрязнений, слики кажутся темными пятнами на светлой поверхности воды. При большей силе ветра детектирование загрязнений снова оказывается затруднительным, - они исчезают с изображений вследствие смешивания с верхним слоем воды. [2]

Обыкновенно анализ радиолокационного изображения с целью выявления загрязнений начинается с детектирования на нем «подозрительных» областей. Затем – классификация нефтяных загрязнений, естественных сликов, имеющих биологическую природу (продукты жизнедеятельности, планктон и проч.) и поверхность воды под влиянием неблагоприятных для съемки условий.

На радиолокационных изображениях нефтяные разливы характеризуются:

— формой (нефтяные загрязнения характеризуются простой геометрической формы);

— краями (гладкая граница с большим градиентом, чем у сликов природного происхождения);

— размером (слишком большие пятна обыкновенно являются сликами естественного происхождения, например, скоплениями водорослей или планктона);

— географическим расположением (преимущественно нефтяные разливы встречаются в районах нефтедобычи или путей транспортировки нефтепродуктов). [3]



Схема 1. Цикл детектирования нефтяных загрязнений шельфа

Цикл мониторинга нефтеразливов состоит из семи основных частей:

1. Планирование и заказ данных на область интереса заказчиком с помощью оператора.

2. Съемка выделенной области интереса со спутника. В настоящее время наиболее активно используемыми космическими аппаратами для решения задач мониторинга нефтеразливов являются RADARSAT-1 и ENVISAT, которые могут снимать один и тот же участок земной поверхности практически каждый день.

3. Прием данных дистанционного зондирования с различных спутников на наземные станции.

4. Подготовка радарных данных к дальнейшему анализу, включая нарезку на фрагменты, геокодирование и калибровку. Для осуществления этого важного этапа необходимо использование специального программного обеспечения.

5. Следующий шаг в цикле мониторинга — детектирование возможных нефтеразливов с использованием радиолокационных и мультиспектральных данных, положения населенных пунктов, промышленных объектов, инфраструктуры топливно-энергетического комплекса – ТЭК (месторождений нефти и газа, газонефтепроводов, буровых вышек и платформ, нефтяных терминалов, портов и т.п.), судоходных трасс путем их интеграции в ГИС. Эта часть анализа проводится опытными экспертами с использованием сложных алгоритмов поиска и верификации нефтяных сликов.

6. Шестой этап цикла — составление отчета на основе комплексного ГИС-анализа о вероятности присутствия нефтяного разлива в области интереса.

7. Заключительным этапом является предоставление отчета заказчику для последующего принятия решения. [4]

Все этапы цикла, описанные выше, проводятся опытными технологами и экспертами, а оперативность обработки данных имеет важное значение для быстрого реагирования на чрезвычайной ситуации.

Таким образом, наиболее целесообразное решение проблемы мониторинга шельфовых зон на сегодняшний день – использование данных радиолокационного зондирования.

Система оперативного обнаружения нефтеразливов.

Инженерно-технологической центр «СканЭкс» разработал комплексный подход для решения задачи мониторинга разливов и утечек нефти, включающий в себя получение и обработку данных радиолокационного зондирования, а также детектирование нефтеразливов на водной поверхности. Созданная технология включает в себя комплекс приемных станций УниСкан, программу предварительной обработки радиолокационных данных ScanEx SAR Processor и тематической интерпретации ScanEx Image Processor.

Созданные ИТЦ «СканЭкс» наземные станции УниСкан позволяют в настоящее время принимать как оптические данные с разрешением от 1 км до 0.7 м, так и всепогодные и независимые от времени суток радиолокационные изображения с разрешением от 100 м до 8 м. Это дает возможность решения широкого спектра прикладных задач. Одна станция УниСкан™ позволяет получать съемку территории в радиусе около 2.5 тыс. км (площадь около 12 млн. кв. км), что позволяет максимально эффективно вести регулярное наблюдение за всей территорией в зоне обзора, не выходя из рабочего кабинета, и снижает затраты на проведение наземных наблюдений или авиационных облетов. УниСкан™ – это не только средство приема данных, но и полный набор программных средств для их хранения, обработки и тематического анализа. [5]

Сегодня в России и за рубежом уже действует сеть региональных и национальных центров ДЗЗ (карта поставок) на базе технологии УниСкан, что на практике подтверждает реализуемую ИТЦ «СканЭкс» идею децентрализованного доступа к космической информации.

Программное обеспечение ScanEx SAR Processor (SSARP) предназначено для обработки данных канадского радиолокатора с

синтезированной апертурой RADARSAT-1. ScanEx SAR Processor позволяет формировать продукты RADARSAT CEOS Level 1 (синтезированное изображение) из файлов формата RADARSAT CEOS Level 0 (радиолокационная голограмма) на платформах MS Windows и Linux. Данное программное обеспечение используется на нескольких сертифицированных комплексах станций приема RADARSAT, обработанные данные соответствуют международным стандартам по качеству, алгоритмам обработки и структуре выходного формата. Инженерно-технологический центр «СканЭкс» постоянно работает над алгоритмами таким образом, чтобы максимально оптимизировать процесс обработки данных. Синтез данных занимает 5-15 минут для одной сцены RADARSAT в стандартном режиме (Standard mode). Время обработки многолучевых снимков (ScanSAR) составляет около получаса. После синтеза радарные данные интерпретируются в созданном ИТЦ «СканЭкс» программном обеспечении ScanEx Image Processor для нахождения возможных нефтяных загрязнений.

ScanEx Image Processor является приложением, разработанным для обработки данных дистанционного зондирования Земли. Множество функций программы позволяют решать широкий спектр задач: начиная от визуализации и заканчивая тематическим анализом. Программа состоит из базовой конфигурации и подключаемых модулей, таких, как: — модуль трехмерного моделирования и визуализации; — модуль классификации и тематической интерпретации многозональной съемки; — модуль работы с цифровыми моделями рельефа (DEM); — модуль обработки радиолокационных изображений; — средства разработчика (SDK).

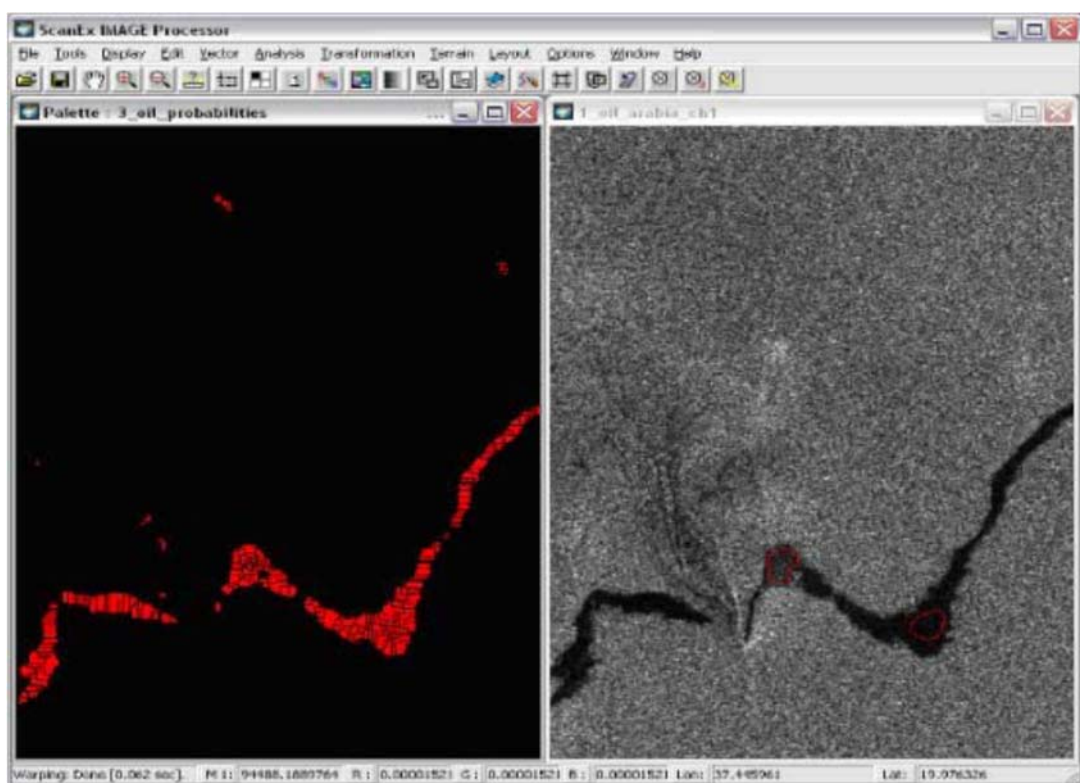


Рис. 1. Определение контура нефтяного пятна в радарном модуле ScanEx Image Processor

Последняя версия ScanEx Image Processor 2.5 осуществляет автоматическое и полуавтоматическое детектирование нефтеразливов на воде (рис. 1), а также другие функции для обработки данных радиолокационного зондирования: — сегментация SAR данных; — текстурный анализ; — тематическая калибровка результатов сегментации; — автоматическая векторизация результатов анализа; — выявление нефтяных пятен; — детектирование кораблей.

Простой и удобный интерфейс позволяет быстро и точно локализовать возможный нефтеразлив на водной поверхности в кратчайшее время, до 5 минут для сцены размером 100*100 кв. километров. [6]

Мониторинг нефтяного загрязнения вод Северного Каспия.

Уникальная технология ИТЦ «СканЭкс», основанная на использовании станций приема спутниковых данных собственного производства и специально разработанного программного обеспечения, позволяет получать информацию о наличии или отсутствии нефтяного загрязнения, а также его локализации, всего за несколько минут, начиная с момента съемки, на основе данных космической съемки с канадского радиолокационного спутника RADARSAT и европейского ENVISAT.

Опираясь на свои уникальные технологии в 2007 году ИТЦ «СканЭкс» планирует осуществить проект по радиолокационному мониторингу вод Северного Каспия в приближенном к интерактивному режиму. Данный пилотный регион выбран не случайно. На шельфе Каспийского моря уже продолжительное время ведутся геологоразведочные работы и добыча нефти, по акватории проходят интенсивные транспортные пути, соединяющие районы добычи с крупнейшими портами. Каспий характеризуется крайней экологической чувствительностью и высоким биоразнообразием. Сбросы нефтепродуктов и аварийные разливы нефти крайне негативно влияют на экосистему моря-озера и могут привести к нарушению и уже пошатнувшегося экологического равновесия. Следует особо подчеркнуть, что в некоторых районах, например в Казахском секторе, происходит хроническое загрязнение акватории из-за наличия более чем сотни затопленных скважин. Данные факты подтверждаются результатами предварительного анализа радиолокационных снимков на регион, выполненного ИТЦ «СканЭкс».

Проект выходит за рамки технологического эксперимента и ставит своей целью предоставление общественности, госорганам и бизнесу объективной и оперативной информации о случаях углеводородного загрязнения акватории Каспийского моря. Можно надеяться, что сам факт наличия независимой объективной информации об экологических последствиях деятельности нефтегазового сектора на шельфе Каспия будет мотивировать компании повышать экологические стандарты и вовремя реагировать на чрезвычайные ситуации, а государственные органы осуществлять эффективный контроль и выстраивать действенную политику. Сегодня задача оперативного мониторинга разливов нефти на воде приобрела большое значение, главным образом, благодаря усугубляющейся экологической ситуации в акваториях

российских морей, и, как следствие, связанному с ней социально-экономическому аспекту. [7]

Данные дистанционного зондирования Земли сыграли решающую роль в получении оперативной и достоверной информации об экологическом состоянии шельфовых зон и акваторий. На настоящий момент ИТЦ «СканЭкс» обладает технологией полного цикла по мониторингу нефтяных разливов в морских акваториях. Наличие собственных станций, оригинального программного обеспечения и опытных экспертов позволяют оперативно выявлять наличие углеводородов на водной поверхности. Инженерно-технологический центр «СканЭкс» впервые в России запускает инициативный проект, целью которого является мониторинг вод северного Каспия в оперативном режиме. Первые полученные результаты подтвердили необходимость такого мониторинга и его значимость для обеспечения экологической безопасности региона. Применяемые технологии в силу своей универсальности могут и должны быть используемы и в других районах нефтедобычи на шельфе — Сахалине, Калининградской области, а в перспективе на шельфе северных морей.

Литература

1. Герлах С.А. Загрязнение морей. Диагноз и терапия. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 264 с.
2. Водные ресурсы России и их использование. / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: Государственный гидрологический институт, 2008. 600 с.
3. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. - Л.: Гидрометеиздат, 1979. 375 с.
4. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шерemet Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. - М.: ИКИ РАН, 2011. 480 с.
5. Костяной А.Г., Лебедев С.А., Казьмина М.В., Цепелев В.Ю., Варлашина В.М., Нещадимова Т.Г. Спутниковый мониторинг трансграничных вод России. - М.: Сигнал, 2012. 16 с.
6. Костяной А.Г., Лаврова О.Ю., Митягина М.И. Комплексный спутниковый мониторинг нефтяного загрязнения морей России. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. / Под ред. Ю.А. Израэля. 2009. Т. 22. С. 235–266.
7. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г., Литовченко К.Ц. Радиолокационный спутниковый мониторинг нефтяных загрязнений в прибрежной зоне российских морей. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2005. Т. 2. № 2. С. 124-130.

ПОЛУЧЕНИЕ УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ И ИХ СМЕСИ С УЧЕТОМ ТРЕХЧАСТИЧНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

З.А. Ахматов, А.Х. Хоконов, М.Х. Хоконов

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М.Бербекова
г. Нальчик, Россия

E-mail: azkh@mail.ru

Рассмотрен способ получения уравнения состояния инертных газов и их смесей в рамках метода молекулярной динамики. Предлагаемый подход основан на вычислении вириала силы с учетом трехчастичных взаимодействий. Показано, что программная реализация МД использующая парный потенциал взаимодействия между атомами на примере пакета LAMMPS, для тяжелых инертных газов дает существенное отличие от экспериментальных данных при приближении температуры газа к точке конденсации.

Нами реализован вариант метода молекулярной динамики, основанный на использовании трехчастичного взаимодействия для частиц попадающих в первую координационную сферу, тогда как для остальных частиц используется парный потенциал. Энергия трехчастичного взаимодействия вычисляется на основе использования двух из шести алгебраически независимых полиномов составленных из компонент радиус векторов частиц, инвариантных относительно группы преобразований $O(3) \times S_3$ [1]

$$\begin{aligned} I_1 &= r_{ij}^2 + r_{jk}^2 + r_{ki}^2 \\ I_2 &= r_{ij}^2 r_{jk}^2 + r_{jk}^2 r_{ki}^2 + r_{ki}^2 r_{ij}^2 \end{aligned} \quad (1)$$

В первом приближении энергия трехчастичного взаимодействия бралась в виде:

$$E_{ijk} = \sum_{i < j} \left(\frac{B}{r_{ij}^{12}} - \frac{A}{r_{ij}^6} \right) + \sum_{\{i j k\}} \left(\frac{Q_2}{I_1^6} - \frac{Q_1}{I_1^3} \right) \quad (2)$$

где Q_1 и Q_2 параметры трехчастичного потенциала, которые находятся на основе использования энергии E_{ijk} вычисленной с помощью квантово-химических методов и последующего использования соотношения [2]

$$\Phi_{ijk}^{(3)} = E_{ijk} - \Phi_{ij}^{(2)} - \Phi_{ik}^{(2)} - \Phi_{jk}^{(2)} - 3E_0 \quad (3)$$

Нами рассмотрены два варианта нахождения E_{ijk} .

Первый подход использует квантово – химические расчеты энергии многочастичных взаимодействий с помощью программы HyperChem. Второй вариант основан на использовании метода функционала ЭП в трехцентровом приближении с упрощенной аппроксимацией электронной плотности.

Уравнение состояния связывающее давление в системе P с объемом приходящимся на одну частицу v для заданной температуры системы T выражается через среднее от вириала силы соотношением [3]

$$Pv = k_B T + \frac{1}{3N} \langle W(\mathbf{r} \dots, \mathbf{r}_N) \rangle \quad (4)$$

где вириал силы выражается через потенциальную энергию, записанную с учетом многочастичных взаимодействий

$$W(\mathbf{r} \dots, \mathbf{r}_N) = - \sum_{i=1}^N \mathbf{r}_i \nabla_i U(\mathbf{r} \dots, \mathbf{r}_N) \quad (5)$$

В случае учета только двухчастичных парных взаимодействий уравнение состояния выражается через сумму для вириала силы (5) для атомов находящихся внутри сферы с радиусом r_1 равным нескольким характерным длинам взаимодействия σ , и интеграла от произведения вириала двухчастичной силы на парную корреляционную функцию $F_2(r)$ [4]

$$P = \frac{k_B T}{v} + \frac{1}{3Nv} \sum_{\{ij\}} r_{ij} \frac{\partial \Phi^{(2)}}{\partial r_{ij}} + \frac{2\pi}{3v^2} \int_{r_1}^{\infty} F_2(r) \frac{d\Phi^{(2)}}{dr} r^3 dr \quad (6)$$

Учет трехчастичных взаимодействий изменяет короткодействующую часть потенциальной энергии соответствующую отталкиванию при пересечении электронных оболочек (см. рис. 1).

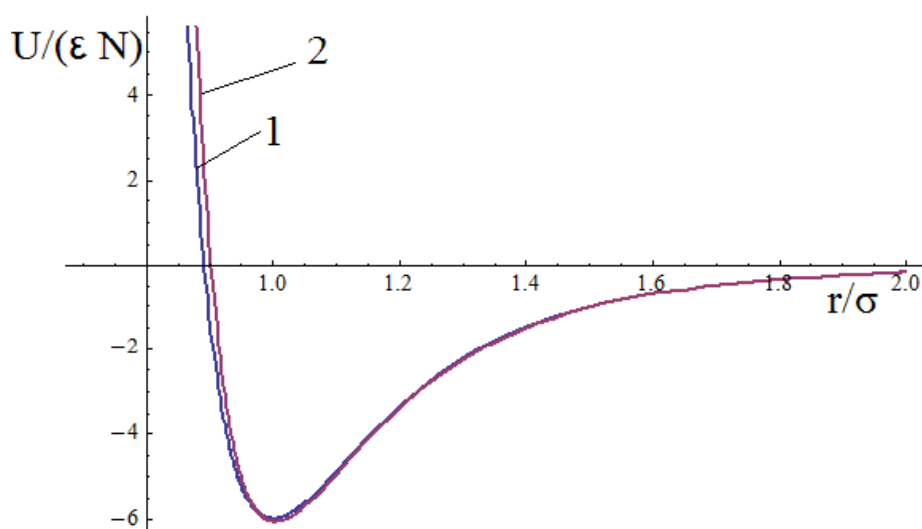


Рис.1. Потенциальная энергия ромбоидрической решетки образованные атомами инертного газа с учетом парных Ван – дер- Ваальсовских (кривая 1) и трехчастичных взаимодействий (кривая 2), r – постоянная решетки.

В настоящей работе, наряду с оригинальной программой МД моделирования [5], нами использовалась программа для многопроцессорных

МД вычислений LAMMPS (Large-scale Atomic Molecular Massively Parallel Simulator). Пакет использует интерфейс MPI (Message Passing Interface). Эффективность распараллеливания пакета LAMMPS исследована в работе [6]. Результат расчета уравнения состояния для Kr и Xe при температуре соответствующей 1.15 глубины потенциальной ямы парного потенциала Леннарда – Джонса приведен на рисунке 2, где так же показан расчет уравнения состояния для эталонного газа Леннарда-Джонса с помощью программы LAMMPS.

Получение уравнения состояния для смеси двух инертных газов состояло из предварительного этапа термализации каждой компоненты, находящейся в отдельной камере до одинаковой начальной температуры (рисунок 3) и последующего устранения перегородки между камерами (рисунок 4). В результате перемешивания температура газа быстро изменяется и после полного перемешивания выходит на равновесное значение, для которого и определяется давление.

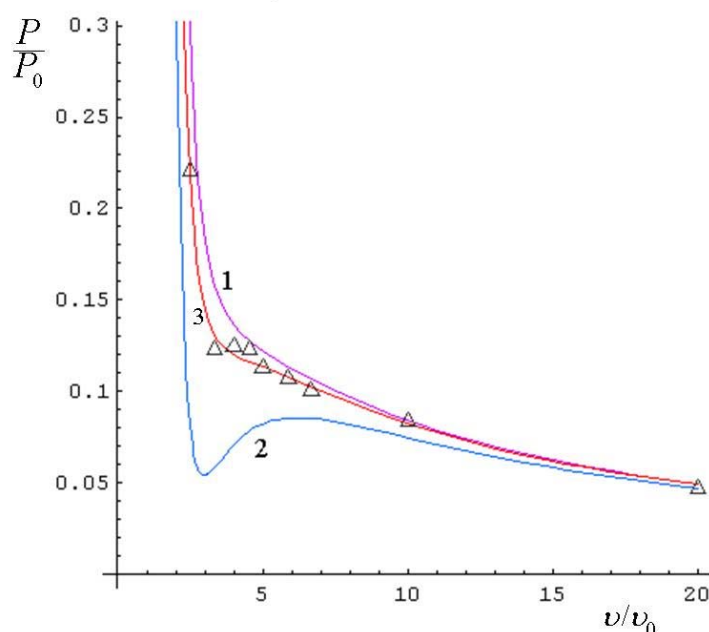


Рис.2. Уравнения состояния Kr, Xe и стандартного газа Леннарда – Джонса. Кривая 1 – Kr при $T = 190\text{K}$, 2 – Xe ($T = 310\text{K}$), 3 – стандартный газ Леннарда – Джонса при температуре соответствующей 1.15 глубины потенциальной ямы .

Таблица 1. Параметры потенциала Леннарда – Джонса и экспериментальные значения постоянных Ван – дер – Ваальса, температур T_1 – плавления, T_2 – кипения критической температуры T_c [7].

Атом	a_{LJ}	b_{LJ}	a_0 $\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^4}{\text{МОЛЬ}}$	b_0 $\frac{\text{см}^3}{\text{МОЛЬ}}$	T_1, K	T_2, K	T_c, K
Kr	5.71	1.35	0.23	39.55	116	120,4	206,7
Xe	6.39	1.76	0.42	51.56	166,4	171,6	290.4

Таблица 2. Результаты MD расчетов параметров Ван – дер – Ваальса для инертных газов. PC – программа ЛСВФ, TP – учет трехчастичных взаимодействий.

Атом	a	b	a	b	T_c, K	T_c, K
	PC LAMMPS	PC LAMMPS	TP	TP	PC LAMMPS	TPA
Kr	5.80	1.37	5.70	1.35	206.9	206.4
	5.15	1.40			180	
Xe	5.15	1.53	5.1	1.46	269.3	277
	5.15	1.40			294.2	

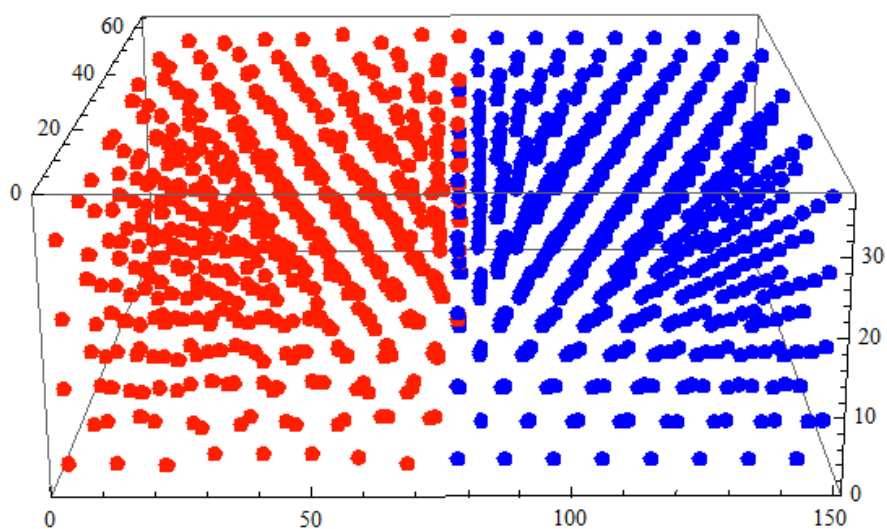


Рис.3. Начальная пространственная конфигурация газов Kr и Xe перед перемешиванием при температуре $T = 155$ К и удельном объеме $v/v_0 = 7.5$.

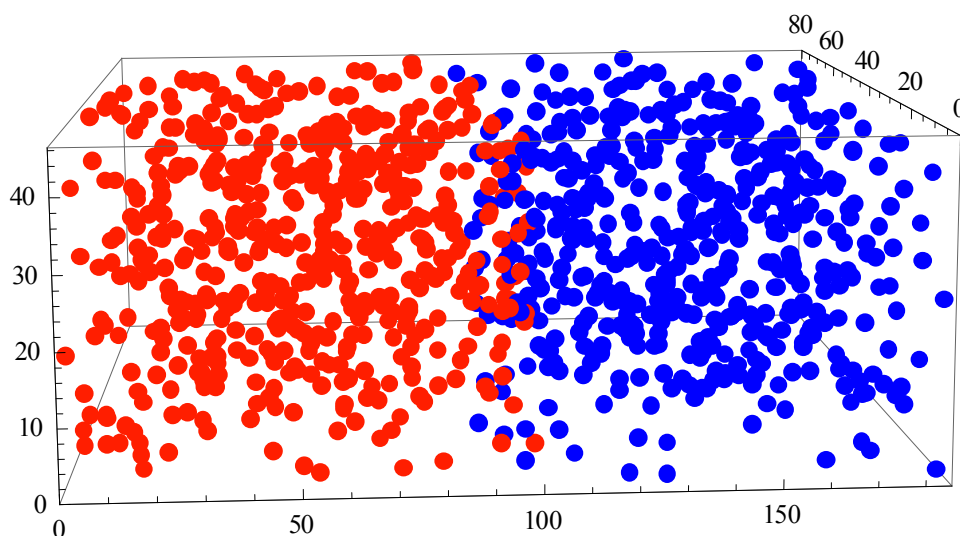


Рис.4. Пространственная конфигурация смеси Kr и Xe при температуре $T = 155$ К и удельном объеме $v/v_0 = 14$.

Уравнение состояния смеси Kr и Xe полученное нами методом МД приведено на рис. 5.

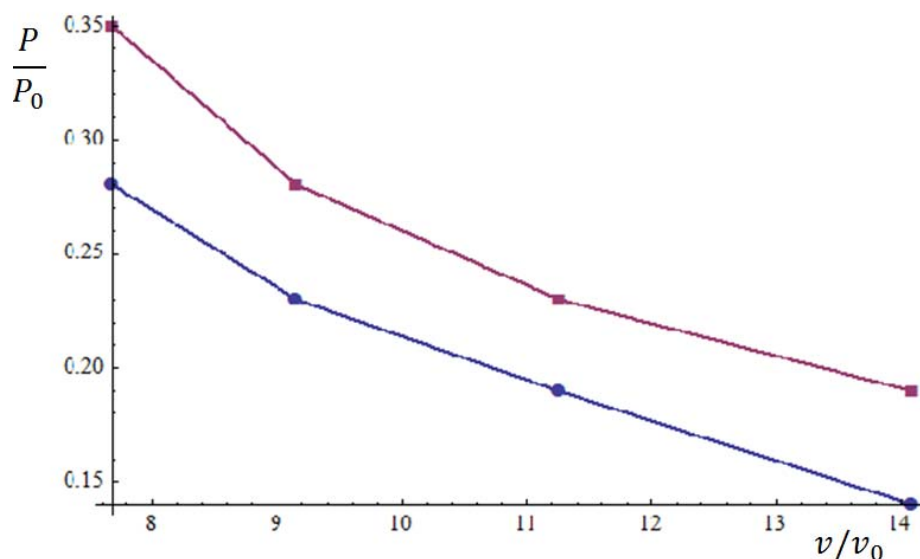


Рис.4. Уравнения состояния смеси Kr и Xe при температуре $T = 155\text{K}$ - нижняя кривая, верхняя кривая – приближение идеального газа.

Точность результатов метода МД определяется шагом разностного алгоритма интегрирования системы уравнений движения и в случае использования подхода связанного с вычислением вириала силы не превышает нескольких процентов, что не позволяет однозначно выявить необходимость учета влияния трехчастичных сил на уравнение состояния инертных газов.

Работа выполнена при поддержке гранта № 2262 государственного задания РФ.

Литература

1. Осипенко И.А., Кукин О.В., Гуфан А.Ю. // Физика твердого тела, 2013, том 55, вып.12, 2289-2296.
2. Анисимов С.И., Петров Ю.В. // Письма ЖЭТФ, 1997, том 26, №8, 595-599.
3. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем. – М.: МГУ. 1991. 800 с.
4. VerletL. // PhysicalReview. 1967. V.159, No.1.P. 98.
5. Хоконов А.Х, Хоконов М.Х., Доттуева М.В. 2014, том 78, вып. 8, 1006 – 1010.
6. Норман Г.Э., Янилкин А.В., Жиляев П.А., Куксин А.Ю., Писарев В.В., Стегайлов В.В. // Вычислительные методы и програм.2010.Т.11.С. 111.
7. Григорьев И.С., Мейлихов Е.З. Физические величины. Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.

ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ АБХАЗИИ

А.К. Ахсалба ¹, Я.А. Экба ²

¹*Абхазский государственный университет*

²*Институт экологии АНА*

г. Сухум, Абхазия

E-mail: asida_cen@mail.ru, ekba-yan@yandex.ru

Ключевые слова: мониторинг, атмосферные осадки, трансграничный перенос примесей, минерализация осадков, кислотность осадков, ионный состав осадков, радиоактивность, поступление минеральных веществ в почву, урбанизированные территории.

Введение

Данные мониторинга кислотности и химического состава атмосферных осадков необходимы для установления общего уровня атмосферного загрязнения, выяснения его динамики, оценки переноса веществ в атмосфере, определения сезонной и суммарной нагрузки содержащихся в осадках химических соединений на подстилающую поверхность. При этом примеси, содержащиеся в осадках, рассматриваются как индикатор загрязнения определенного слоя атмосферы. Это приобретает особое практическое значение для Абхазии, при разработке комплекса мероприятий по повышению качества сельхозугодий на основе поступления минеральных веществ в почву с атмосферными осадками, а также природных сред урбанизированных территорий.

Методы исследования

Метод основан на системном мониторинге метеоусловий, определение главных ионов и радиоактивности атмосферных осадков: измерение метеоэлементов (температуры, влажности, скорости, направление воздушных потоков, давления, количество атмосферных осадков).

Регулярные наблюдения за химическим составом и кислотностью атмосферных осадков на территории Абхазии были организованы в начале 2002 года. Сбор и анализ химического состава атмосферных осадков проводился в следующих пунктах: с.Хуап, центр г. Гудаута, метеоплощадка «Маяк», центр г. Сухум, центр г. Очамчыра, промзона г. Очамчыра.

Мониторинг химического состава атмосферных осадков состоит из двух фаз: отбор проб и лабораторный анализ. Первая фаза - сбор проб осадков (твердых и жидких) в специальное пробоотборное устройство. Количество осадков записывается по показаниям осадкомера Третьякова. Отобранные пробы отправляются в лабораторию. Соблюдение правил отбора, и отправки проб в лабораторию является одним из важнейших факторов обеспечения достоверности информации о составе атмосферных осадков. Вторая фаза

начинается, когда проба доставлена в лабораторию. Анализ химического состава атмосферных осадков проводят в лабораториях Абхазского центра экологического мониторинга (АГЦЭМ). В лабораториях определяются 9 главных ионов – макрокомпонентов (сульфаты, хлориды, нитраты, гидрокарбонаты, ионы аммония, натрия, калия, кальция, магния), а также величины рН, общей минерализации, и радиоактивность осадков. Этот перечень соответствует программе, принятой ВМО. В настоящее время в данных лабораториях, используются единые методы анализа загрязняющих веществ по ГОСТ 23268.3-78, ГОСТ 23268.10-78, ГОСТ 23268.17-78, РД 52.24.514-2002, РД 52.24.55-88, РД 118.02.503-92.

Периодический (ежемесячный) отбор проб атмосферных осадков и изучение их химического состава, математическая оценка поступления минеральных веществ с атмосферными осадками в почву.

Анализ воды дождевых осадков выпадающих в центральной части г. Сухум - ул. Академика Сахарова 71/11, а также в с.Хуап, центр г. Гудаута, метеоплощадке «Маяк» г.Сухум, центр г. Очамчыра и промзона г. Очамчыра (рис.1) проводится в лабораториях Абхазского государственного центра экологического мониторинга (АГЦЭМ)

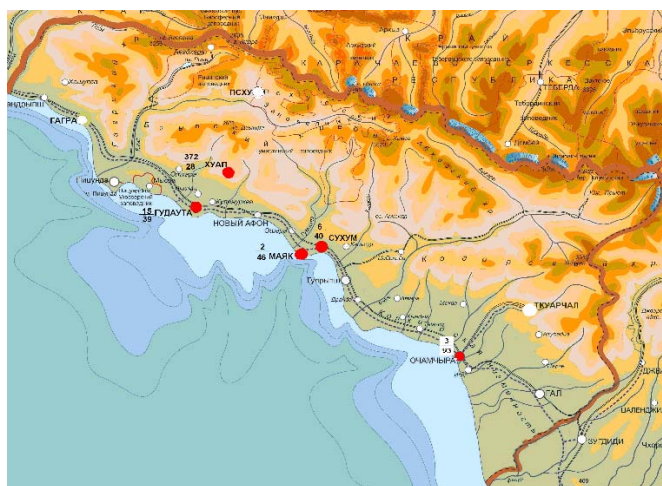


Рис.1. Пункты отбора проб атмосферных осадков на территории Абхазии: числитель – высота пункта наблюдений над уровнем моря, в м, знаменатель – сумма главных ионов (ΣM , в мг/ л).

Для сбора проб воды дождевых осадков нами используются два эксикатора с крышками диаметром по 25 см, на высоте 1, 85 м от поверхности земли.

При сборе проб осадков проводим метеорологические наблюдения: записываем направление и скорость ветра, измеряли температуру воздуха и относительную влажность, отмечаем вид осадков и их количество по измерениям осадкомера Третьякова по стандартной методике, принятой на станциях Росгидромета. Также фиксируем направление воздушных масс и особые атмосферные явления.

Анализ воды дождевых осадков проводим в оптимально короткие сроки после отбора проб. Содержание в пробах таких компонентов, как NO_3 , HCO_3 и

SO_4 определяли непосредственно после выпадения осадков и отбора проб, так как их концентрация изменяется во времени [1, с.236].

Анализ атмосферных осадков проводили на анализаторе воды АНИОН 7053 - портативный иономер/кондуктометр/кислородомер с запоминанием параметров градуировок 18 ИСЭ 18 каналов/1 вход (мВ/рН (рХ), М, С) + CO_2 + УЭП/Csal + °С (рис.2)

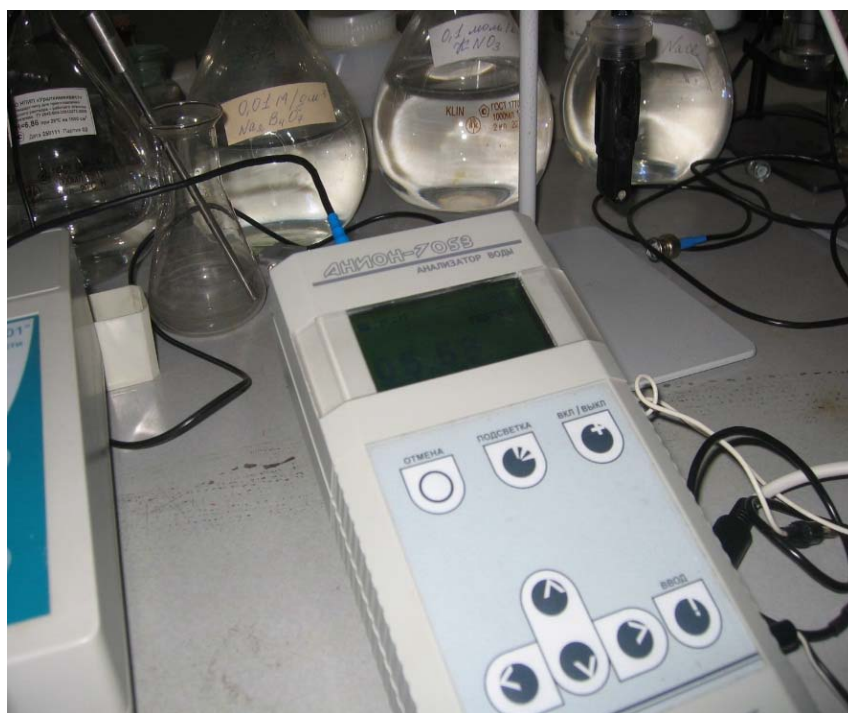


Рис.2. Анализатор воды АНИОН- 7053

Многоканальный анализатор АНИОН 7053 сочетает в себе возможности:

1. 18-ти канального иономера (коммутация через 1 физический вход),
2. кондуктометра для определения солесодержания,
3. кислородомера для определения низких концентраций растворенного кислорода (Сенсор кислорода с повышенной чувствительностью рекомендовано использовать в водах с содержанием растворенного водорода в концентрациях не превышающих 20 мкг/л).

Прибор АНИОН проходил поверку в Научном центре системы мониторинга РФ.

Измерения суммарной β -активности атмосферных осадков производился сотрудником лаборатории СФТИ пос. Агудзера на β -радиометре РКБ-4 (рис.3).

Объём исследуемой пробы 750 мл.

Поступление минеральных веществ в почву (D) с атмосферными осадками вычисляли по формуле:

$$D \text{ кг/га в год} = C_{\text{ср}} \cdot \sum m_i \cdot 10^{-2},$$

где $C_{\text{ср}}$ – средняя годовая концентрация элемента мг/л; $\sum m_i$ - годовое количество осадков, мм [3, с.24].



Рис.3. β-радиометр РКБ-4

Результаты и обсуждения

Термином "кислотные дожди" называют все виды метеорологических осадков - дождь, снег, град, туман, дождь со снегом, - рН которых меньше, чем среднее значение рН дождевой воды (средний рН для дождевой воды равняется 5,0) [3, с.21].

На величину рН влияет содержание в осадках различных химических элементов, важнейшими из которых являются сульфат – ионы (SO_4^{2-}), нитрат – ионы (NO_3^- , NH_4^+) способствующие подкислению осадков. Другие ионы (HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+}) присущи более щелочной среде. Вместе с тем, такие ионы, как N^+ , K^+ , Cl^- существенным образом не влияют на величину рН раствора [1, с.237].

Первые измерения рН осадков в Абхазии проводились в 1959г. [4, с.74]. Наблюдения проводились в следующих пунктах: Ауадхара, Гагра, Сухум Келасур и Гал.

Сравнительный анализ наблюдений за показателем рН на территории Абхазии по данным Г.Д. Супаташвили [4,с.87] показывает, что средние значения рН изменяются от 5,20 (Ауадхара, 1600 м над ур. м.) до 6,5 (Гагра, 7 м. над ур. м.). Наименьшее значение кислотности рН в атмосферных осадках отобранных на Ауадхаре относительно других пунктов наверняка связано с уменьшением щелочных ионов, так как с увеличением высоты местности и увеличением расстояния от берега моря концентрация примесей уменьшается.

Далее мониторинг за кислотностью осадков, также как и за ионным составом, как было сказано выше, был продолжен нами совместно с Абхазским государственным экологическим мониторингом в 2002 г. За время наблюдений на территории Абхазии значение рН осадков менялось значительно: от минимального рН - 4,45 (дождь в марте 2007 г. в центре Сухума) до максимального рН – 7,66 (дождь в апреле 2002 г. на Мяке). Наибольшая повторяемость (модальное значение) приходится на величину 6,0. Среднее значение рН по всем пунктам выше нормы и составляет 6,10. Более низкие значения рН, т.е. кислотность осадков выше в центре Сухума и Хуап (табл.1).

Таблица 1

Характеристика рН в суммарных пробах атмосферных осадков на территории Абхазии

Годы	Величина	рН
г.Сухум, Маяк		
IV.2002-I.2005	Среднее	6,15
	Минимум	5,50
	Максимум	7,66
Сухум – центр города		
VIII.2005-XII.2014	Среднее	5,92
	Минимум	4,45
	Максимум	7,62
Гудаута – центр города		
X.2005-III.2007	Среднее	6,35
	Минимум	5,60
	Максимум	7,10
Хуап		
XI.2006-III.2007	Среднее	5,98
	Минимум	5,46
	Максимум	6,42
Очамчыра– центр города		
III.2012	Среднее	6,64
	Минимум	6,45
	Максимум	6,83
Промзона г. Очамчыра		
III.2012	Среднее	6,45
	Минимум	5,51
	Максимум	6,97

Анализ проб осадков позволяет сказать, что в основном на территории Абхазии выпадают слабокислые и слабощелочные осадки. Это объясняется тем, что на территории Абхазии очень много известняковых пород, а процессы, связанные с размыванием и выветриванием известняков приводят к расщелачиванию осадков ($\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$). По сезонам года наблюдается изменение концентрации гидрокарбонатов. В теплый период (IV–X) концентрация гидрокарбонатов увеличивается, а в холодный (XI–III) – уменьшается, что связано с замерзанием и снеговым покровом горных пород.

Рассматривая годовой ход максимальных и минимальных значений рН (рис.4) можно обнаружить, что максимальные значения имеют отрицательный тренд ($y = -0,023x + 7,147$), что подтверждает повышение кислотности осадков.

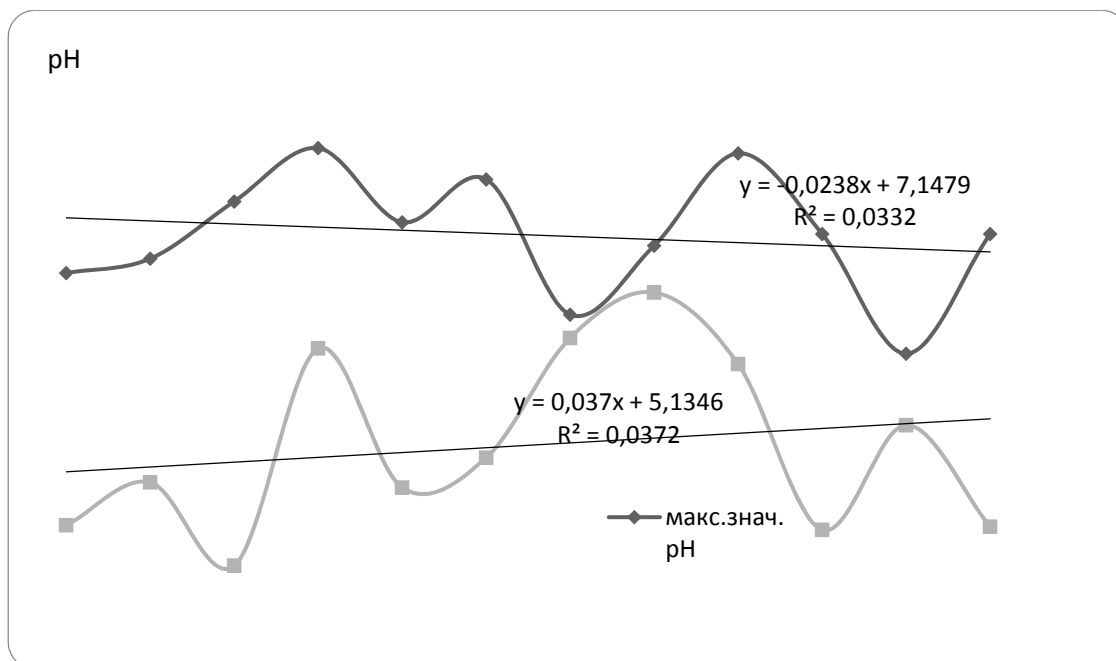


Рис.4. Годовой ход абсолютных максимальных и минимальных значений pH атмосферных осадков на территории г. Сухум 2002 – 2014 гг.

При анализе проб атмосферных осадков выявлена зависимость между показателем pH и типом воздушных масс. При перемещении северных воздушных масс через территорию Абхазии наблюдается повышение значения кислотности (среднее значение pH=6,12). Северные воздушные массы проникают на территорию Абхазии через г. Новороссийск огибая Кавказский хребет [5, с.43]. В результате своего перемещения через континент они захватывают сульфаты и нитраты, которые занижают значения pH осадков. Южные воздушные массы проходят над морем, где атмосфера содержит меньше примесей. Это происходит по двум причинам: во-первых, воздух над морем более чистый и содержит мало примесей, во-вторых с поверхности моря испаряется большое количество водяного пара, который несет с собой такие щелочные ионы, как натрий, гидрокарбонаты и др.

Общая минерализация осадков на территории Абхазии довольно, значительна (средние значения составляют 42,08 мг/л, при экстремальных значениях 84,50 мг/л – в центре Сухума, сентябре 2006 г. и 22,96 мг/л – в с. Хуап, декабре 2006 г.).

С увеличением высоты местности сумма осадков увеличивается, а содержание компонентов в них, наоборот, уменьшается. Уменьшение минерализации с высотой обусловлено, тем, что в верхних слоях атмосферы содержится мало аэрозолей [5, с.84].

Сравнительный анализ минерализации осадков на территории Абхазии (рис.5) показывает, что наибольшее среднее значение минерализации наблюдаются в Очамчyre (93 мг/л), а наиболее низкое в с. Хуап (28 мг/л).

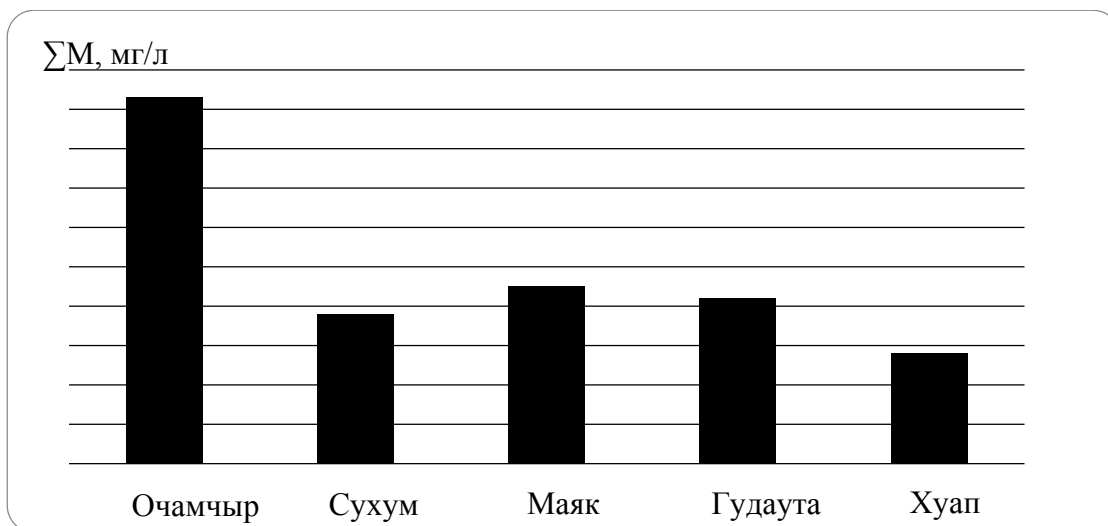


Рис.5. Изменение минерализации осадков на территории Абхазии за период 2002- 2014гг.

Наименьшее среднее значение минерализации в с.Хуап в отличие от других прибрежных районов связана с тем, что пункт отбора проб находится на расстоянии 16 км от берега моря и на высоте 372 м (по данным государственного управления по геологии, геодезии и картографии республики Абхазии).

В годовом ходе максимальные значения общей минерализации приходятся на апрель и ноябрь, минимум – сентябрь (рис.6). В весенний и осенний периоды года осадки более минерализованы, чем в летний период. Наверняка это связано с характером выпадения атмосферных осадков. Известно, что в условиях Абхазии в летний период года выпадают осадки в виде ливня, они меньше всего очищают атмосферный воздух [5, с.97].

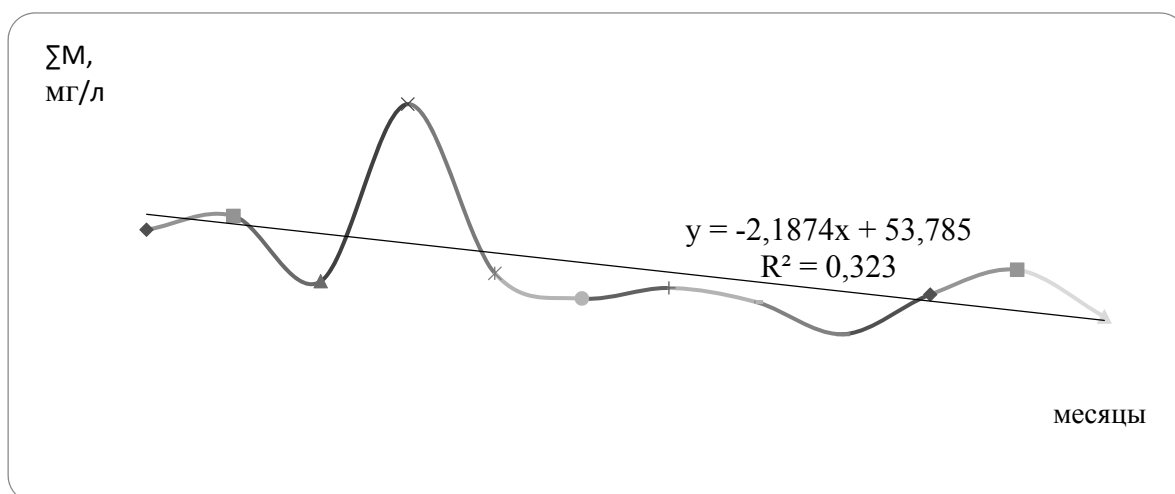


Рис. 6. Годовой ход общей минерализации атмосферных осадков г. Сухум за период с 2002 - 2014 гг.

Как было сказано выше, на формирование химического состава осадков оказывает влияние воздушные массы. В связи с направлением воздушных масс минерализация осадков изменяется. По нашим наблюдениям относительно более высокие значения минерализации наблюдаются при перемещении

воздушных масс с юга и юго-запада (49,95 мг/л), более низкие при северо-западном и северном (45,04 мг/л).

Как было сказано выше зная ионный состав атмосферных осадков и их количество можно определить поступление минеральных веществ в почву (D) с атмосферными осадками. Полученные в результате вычислений данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

Поступление минеральных веществ в почву (D кг/га в год) с атмосферными осадками в г. Сухум (центр)

Пункт отбора проб	NH ₄ ⁺ , мг/л	Na ⁺ +K ⁺ , мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	HCO ₃ ⁻ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л
Сухум (центр)	26,8	222,2	81,0	7,2	387,9	126,9	133,3	162,1

Видно, что доминируют среди минеральных веществ, поступающих в почву гидрокарбонат – ионы, суммарное содержание ионы натрия и калия, и нитрат-ионы.

Наиболее вероятными естественными источниками радиации на территории Абхазии могут быть изотопы углерода (C¹⁴), попадающие в атмосферу с поверхности земли и радиоактивный радон, просачивающийся через трещины в земной коре.

Информация о радиоактивности воздуха включает в себя данные о суммарной бета-активности (Σβ), в атмосферных осадках.

Среднемесячные значения не превышают ПДК (для атмосферных осадков – 40 Бк/л), характерной особенностью является сезонная изменчивость: максимальные значения радиоактивности \bar{A}_β достигаются летом и составляют 18,24 Бк/л (среднее) (рис.7).

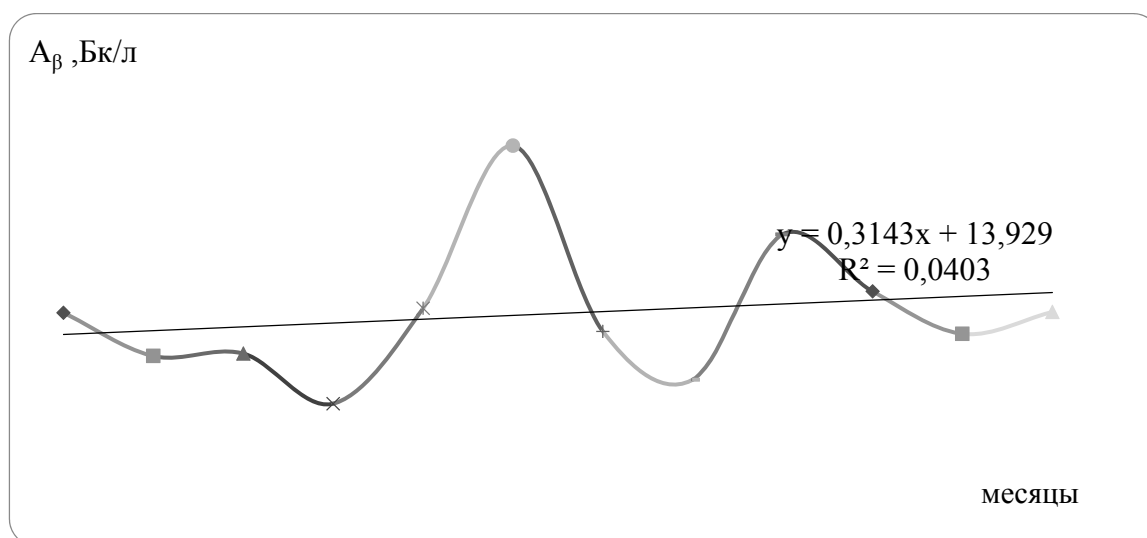


Рис.7. Годовой ход суммарной β-активности атмосферных осадков г. Сухум, 2002 – 2014 гг.

Летний максимум объясняется активизацией поступления радона из почвы в сухую и жаркую погоду и концентрацией его в приземном слое атмосферы. Дополнительным фактором, усиливающим этот процесс, является дефицит осадков в летнее время в течение длительного периода и их общий минимум в это время года.

Весной выпадает умеренное количество осадков, поэтому систематическое вымывание радионуклидов осадками не позволяет накопиться последним в значительных количествах в атмосфере $\bar{A}_\beta = 12,54$ Бк/л.

В зимний период радионуклидов с осадками выпадает больше, чем весной $\bar{A}_\beta = 14,87$ Бк/л, что объясняется эффективностью вымывания их из атмосферы твердыми осадками.

В осенний период в связи с активизации воздушных масс концентрация радионуклидов составляет примерно столько же как в летний период $\bar{A}_\beta=18,20$ Бк/л.

Максимальные значения концентраций радионуклидов (превышающих ПДК) в отдельных пробах атмосферных осадках на территории г. Сухум представлены в табл. 3.

К повышению концентрации радона может привести адвекция воздушных масс из районов со значительным содержанием урана в грунте.

Таблица 3

**Данные по β -радиоактивности и интенсивности осадков,
г. Сухим 2002-2014 гг.**

Дата	Суточное количество осадков, мм.	Направление переноса	β -радиоактивность, Бк/л
27.06.2002 28.06.2002	9,2	СЗ	57,40
29.06.2002 30.06.2002	12,3	СЗ	72,60
16.10.2006 17.10.2006	41,8	СЗ	59,80
05.06.2009	3,7	Ю	205,7
18.12.2009 19.12.2009	10,3	Ю	82,0

Таким образом, в связи с направлением воздушных масс величина водородного показателя (рН) и минерализация осадков изменяется. При перемещении воздушных масс с северо-запада и севера наблюдается выпадение дождевых эпизодов со значениями рН меньше нормы и уменьшение концентрации общей минерализации осадков. Атмосферные осадки выпадающие на территории Абхазии относятся к гидрокарбонатно-натриево- калиевому классу. Выявлено увеличение радиоактивности в отдельных пробах атмосферных осадков.

Литература

1. Ахсалба А.К., Экба Я.А. Особенности формирования химического состава атмосферных осадков в Сухуме. Известия Южного федерального университета. Технические науки. Таганрог, 2009.-№6. – С.234-240.
2. Дбар Р.С., Экба Я.А., Ахсалба А.К. Исследование загрязнения атмосферных осадков на территории Абхазии// Материалы II Международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы экологии в условиях современного мира". - Майкоп, 2002. -С. 76-78
3. Еремина И.Д. Многолетние наблюдения за химическим составом атмосферных осадков в Москве// Вестник Моск.ун-та, 2004 г. – Сер. 5. - №2. – С. 21-26.
4. Супаташвили Г.Д. Некоторые закономерности формирования химического состава атмосферных осадков в Грузинской ССР// Тр. Ин-та океанологии, 1973. - Т.63. - С.72-91.
5. Экба Я.А., Дбар Р.С. Экологическая климатология и природные ландшафты Абхазии.- Сочи, "Папирус-М-Дизайн", 2007.- 240с.

ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СРЕДЫ И БИОТЫ

Н.И. Бахова

*Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины
г. Киев, Украина*

E-mail: bakhova_nataly@mail.ru

Стремительное развитие информационно-коммуникационных технологий и широкое их внедрение во все сферы деятельности человека привели к формированию совершенно новой информационной среды общества – инфосферы.

Несмотря на то, что информатизация призвана стать основанием кардинального изменения уровня жизнедеятельности человека, она сама по себе не может способствовать оптимизации жизненной среды человека.

Овладение нарастающими потоками информации привело к следующим проблемам:

- информационная безопасность;
- информационное загрязнение и заражение;
- информационная экология.

В основе многих выдвинутых теорий и концепций информационного общества лежит общепризнанный феномен нарастания значения информации в жизни общества. Производство, распределение и потребление информации рассматривается как преобладающая сфера экономической деятельности.

Построение любой управленческой структуры (правление различных предприятий, министерство, государство) основано на принципе иерархической организации.

Иерархия управленческой структуры, казалось бы, очень далека от физических и, тем более, геофизических проблем. Однако это далеко не так.

Динамика взаимоотношений человека и биоты с верхней частью литосферы является основным предметом изучения экологической геофизики.

Литосфера, являясь материальной основой биосферы, выполняет свою геофизическую экологическую функцию, обеспечивая и поддерживая пригодные для существования живых организмов энергоинформационные условия [1, с.132].

Активные участки земной коры обладают как благоприятными, так и дискомфортными свойствами по отношению к процессам функционирования биоты. Устойчивое существование и приспособление живых организмов обусловлено общей гравитационной и температурной обстановкой на Земле в процессе эволюции биосферы. Однако наряду с природными геофизическими полями литосферы есть поля техногенного происхождения, негативно влияющие на состояние биосферы и здоровье человека.

Эволюционный процесс развития человеческого общества происходит на основе баланса между очень сложными природными явлениями – энтропией (дезорганизацией) и негэнтропией (организацией).

В современное время изучение особенностей информационного взаимодействия геолого-геофизической среды и биоты на основе теории информации приобретает первостепенное значение.

Ученые прошлых столетий не могли знать о практическом, реальном воздействии научно-технических достижений на повседневную жизнь человека. Эти последствия приходится изучать сегодня, осмысливая их положительные и негативные стороны.

В центре внимания ученых оказались следующие проблемы:

- информационное загрязнение атмосферы и поверхности океана;
- уменьшение до катастрофических значений негэнтропии, необходимой для жизнеобеспечения живых организмов.

Разработка новых технологий, направленных на защиту информационной устойчивости системы «литосфера-биота» становится сегодня актуальной задачей геоэкологии.

Рассмотрим несложную модель, которая наглядно показывает адаптацию живой системы к информационным потокам.

В сложных открытых физических системах возможно расслоение на информационные и динамические подсистемы по аналогии с иерархией управленческой структуры. Физическая система, через которую могут протекать потоки энергии и информации (негэнтропии), называется открытой [2, с.329].

Предположим, что в открытую физическую систему X извне поступает упорядоченная энергия с мощностью P , поток негэнтропии $-S_i$ и вещество с темпом M (рис.1) [2, с.329].

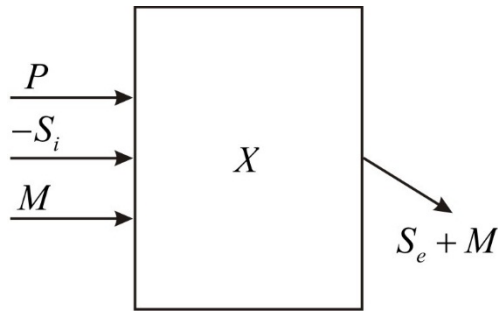


Рис. 1. Схематическое изображение открытой системы X

Небольшая часть негэнтропии $-S_i$ расходуется на поддержание и совершенствование внутренней структуры системы X .

Необратимые процессы внутри системы X приводят к рождению энтропии, которая вместе с избыточной массой выбрасывается наружу в виде отходов $S_e + M$ (рис. 1). Отходы производят «тепловое загрязнение» среды в виде возрастания внешней энтропии S_e [2, с.329].

В открытых физических системах со сложно организованной внутренней структурой может происходить расслоение единой системы на информационную (управляющую) и динамическую (силовую) подсистемы. Динамическая и информационная подсистемы тесно взаимосвязаны друг с другом [2, с.329].

Структурные элементы системы X , способные сильно влиять на динамику системы сравнительно малыми возмущениями (сигналами), образуют подсистему управления C_X (рис. 2) [2, с.330].

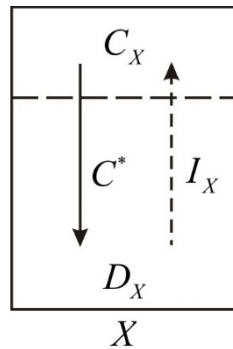


Рис. 2. Схематическое изображение иерархической открытой системы X

Иными словами, сложные динамические системы сами собой могут расслаиваться на два уровня иерархии: подсистему управления C_X и динамическую подсистему D_X . Следует отметить, что подсистема управления C_X тоже динамическая, но более «деликатная» относительно силовой системы D_X [2, с.330].

Блок C_X получает информацию I_X о своей динамической подсистеме D_X и на основе этой информации формирует сигналы управления C^* для блока D_X . Кроме того, блок C_X может работать с более слабыми процессами обмена энергией, то есть с сигналами.

Усложнение внутренней организации подсистемы C_X приводит к тому, что блок C_X может откликаться не на интенсивность приходящих сигналов, а на их форму, то есть «смысловую часть». Таким образом, блок C_X становится информационной системой с набором внутренних архивов. Внутренние архивы, в свою очередь, производят «процессинг» приходящей информации с выработкой управляющих сигналов, адресованных динамической подсистеме D_X [2, с.331].

Иерархическая система, показанная на рис. 2, называется системой с информационным поведением [2, с.331].

Теперь усложним задачу. Рассмотрим две системы X и Y с информационным поведением (рис. 3) [2, с.330].

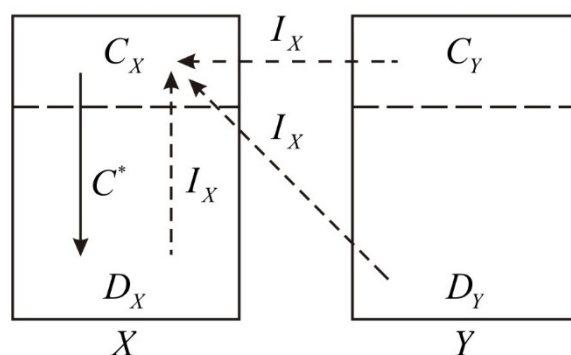


Рис. 3. Схематическое изображение иерархических открытых систем X и Y

Высокочувствительный блок C_X принимает сигналы I_X от [2, с.331]:

- своей динамической подсистемы D_X ;
- подсистемы C_Y системы Y ;
- подсистемы D_Y системы Y .

Сигналы должны переносить информацию, следовательно, негэнтропия должна быть получена откуда-то извне. Блоки C_X и C_Y могут пользоваться [2, с.331]:

- частью той негэнтропии, которая поступает в блоки D_X и D_Y ;
- другими потоками негэнтропии, которые существуют в неравновесном внешнем мире.

Необходимо подчеркнуть, что у микрочастиц элементы информационного поведения появляются в виде коллапсов волновых функций. По мере укрупнения и усложнения структур к коллапсам волновых функций добавляются неравновесные коллективные параметры порядка, которые играют роль динамических переменных [2, с.331].

Вблизи точек ветвления коллапсы волновых функций и бифуркации динамических переменных выглядят как свободные поступки или как проявление свободы воли. По этой причине в Природе заложена возможность свободного развития [2, с.331].

Открытые физические системы, находящиеся в потоках внешней энергии, могут повышать свой уровень упорядоченности за счет возникновения дополнительных макроскопических степеней свободы («ячеек памяти»). Число степеней свободы возрастает с увеличением потока и упорядоченности внешней энергии [3, с.163].

В Природе далекие от равновесного состояния физические системы с накопленной потенциальной энергией способны генерировать мощные лавинообразные упорядоченные процессы. Физическая система естественным образом стремится перейти к равновесному состоянию [3, с.165; 4, с.570].

К таким упорядоченным процессам относятся [3, с.165]:

- лавины, образующиеся за счет накопленной в горах гравитационной энергии снежных масс;
- циклоны и смерчи, мощность которых определяется высвобождением энергии конденсации атмосферного водяного пара;
- землетрясения, в результате которых высвобождается значительный объем внутренней энергии Земли.

Для физической самоорганизации необходимы два элемента «питания» – энергия и негэнтропия. Только сумма энергии и негэнтропии может обеспечить стационарное поддержание структуры нелинейной диссипативной системы [2, с.327].

После прекращения подачи энергии или распада накопленной потенциальной энергии все самоорганизованные состояния распадаются. Система постепенно переходит к основному состоянию, которое характеризуется одной молекулярной ячейкой памяти с единственным физическим состоянием в этой ячейке. Информация, характеризующая такую систему, обращается в ноль. Такая ситуация аналогична состоянию максимальной неупорядоченности, когда термодинамическая энтропия обращается в ноль при приближении температуры к абсолютному нулю [4, с.571].

Замкнутые системы, подчиняясь второму началу термодинамики, не могут спонтанно увеличивать свою упорядоченность (или уменьшать энтропию). Замкнутые системы стремятся перейти в устойчивое состояние минимальной упорядоченности (или максимальной неупорядоченности – энтропии) [4, с.570].

В противоположность физическим упорядоченным системам биологические системы характеризуются молекулярными (а не макроскопическими) степенями свободы, плотность которых более чем на двадцать порядков превосходит плотность макроскопических степеней свободы любых открытых физических систем в разных потоках внешней энергии [4, с.571].

Таким образом, существует достаточно большой разрыв между количественными характеристиками организации физических и биологических систем. Это говорит о том, что самоорганизация физических систем во внешних потоках энергии и самоорганизация живых систем имеют принципиально разную природу. Никакие изменения в окружающей среде не способны увеличить величину биологической и экологической упорядоченности [4, с.571].

Упорядоченность живых организмов каждого вида поддерживается в течение всего времени его существования (порядка миллиона лет) за счет [4, с.572]:

- конкурентного взаимодействия особей в популяции;
- устранения особей с пониженной конкурентоспособностью в ходе естественного отбора.

Образующиеся в ходе естественного отбора вакансии занимают потомками особей, которые сохранили свой уровень упорядоченности.

В противоположность физической упорядоченности, отсутствие конкурентного взаимодействия и стабилизирующего отбора приводит к распаду генетической упорядоченности организмов любого вида, несмотря на потребление потоков питания и воспроизводства особей [4, с.572].

Итак, жизнь представляет собой открытую систему. Воздействия окружающей среды (потоки энергии, питания) на жизнь столь низко организованы по сравнению с самой жизнью, что не могут повысить уровень упорядоченности последней. Поэтому на протяжении времени, много меньшего времени эволюционных изменений, все индивидуальные самовоспроизводящиеся живые организмы вне их популяции ведут себя подобно замкнутым физическим системам. Вне популяций, то есть в отсутствие конкурентного взаимодействия и отбора, который выполняет стабилизирующую функцию, особи и их потомки могут только терять свой уровень упорядоченности. В таких живых системах действует аналог второго начала термодинамики – происходит утрата накопленной информации и увеличение энтропии, несмотря на потребление внешних потоков энергии (питания) [4, с.572].

Поток информации, обрабатываемый естественной биотой (10^{35} бит/с) на 20 порядков превышает поток информации, обрабатываемый современной цивилизацией (10^{16} бит/с). Следовательно, биотическая регуляция не может быть заменена технологической [3, с.168].

Фантастический разрыв в потоках информации в биоте и цивилизации преодолеть не удастся, несмотря на ошеломляющие успехи в современном развитии компьютерной техники и всемирной информационной сети. Человек не сможет заменить управляющий потенциал биоты средствами развитой им цивилизации [3, с.168].

Казалось бы, нет причин для информационного беспокойства.

Однако ускользнул от внимания закон распада: любая система, в которой записана информация, с течением времени вырождается, а сама информация может постепенно терять свою ценность [5, с.339].

Важно отметить, что распад совершается гораздо медленнее для мертвой (записанной) информации, чем для живой информации [5, с.339].

Живая информация передается с энергией, необходимой для ее обнаружения.

Мертвая информация не связана с энергией или неэнтропией. Для того чтобы прочесть такую информацию, необходимо снабдить ее энергией [5, с.339].

Для большей наглядности изложения в качестве живой системы выберем систему X , а в качестве системы Y может выступать весь внешний мир (рис. 4). Иными словами, система X «погружена» во внешний мир и должна адаптироваться к энергетическим и информационным потокам.

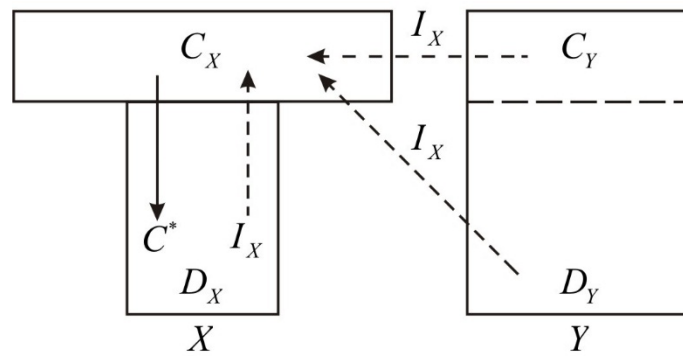


Рис. 4. Схематическое изображение живой системы X и системы внешнего мира Y

Интенсивное накопление в блоке управления C_X потоков информации (живой и мертвой) приведет к разбалансированию системы X : блок управления C_X увеличивается, динамический блок D_X уменьшается. Для наглядности на рис. 4 показано расширение блока C_X по горизонтали.

Может возникнуть такая ситуация, что блок D_X будет вынужден «отсоединиться» и «выскользнуть» от подавляющего действия блока C_X и примкнуть к системе Y .

Если придать образность поведению системы X , то получилось, что динамическая система D_X — «дело» не в шляпе, а вне информационной шляпы. Блок D_X будет вынужден избегать перерасхода энергии, необходимого для чтения и обработки мертвой информации.

Физическую устойчивость приемлемой для жизни окружающей среды современная естественная наука принимает как аксиому.

Настало время преодолеть такую парадигму отношения естественной науки к живой Природе.

Проблема социальной ответственности ученого имеет глубокие исторические корни. На протяжении веков, со времен зарождения научного познания, вера в человеческий разум сопровождалась сомнением:

- как будут использованы творения разума;
- является ли знание силой, служащей человеку, и не обернется ли оно против него.

В настоящее время подобные сомнения имеют пренебрежимо малую информационную емкость, особенно для юридических наук.

Биосфера прошла сложный путь эволюции, зародившись на раннем этапе развития Земли.

Проинтегрированные и хранящиеся в памяти биосферы сведения содержат информацию о временно́м поведении любой живой системы и ее окружения. Следовательно, имеется возможность прогнозирования событий и принятия решений с определенной целью; и что еще более важно, есть уникальная возможность получить информационное указание о том, какая траектория к цели наиболее предпочтительна.

Литература

1. Бахова Н.И. Негэнтропийный принцип информации в геофизике / Вестник НАУ. – 2011. – № 4. – С. 132–138.
2. Кадомцев Б.Б. Динамика и информация / Б.Б.Кадомцев. – 2-я редакция. – М.: Редакция журнала Успехи физических наук, 1999. – 394 с.
3. Горшков В.В. Информация в живой и неживой природе / В.В.Горшков, В.Г.Горшков, В.И.Данилов-Данильян, К.С.Лосев, А.М.Макарьева // Экология. – №3, 2002. – С. 163-169.
4. Горшков В.В. К вопросу о возможности физической самоорганизации биологических и экологических систем / В.В.Горшков, А.М.Макарьева // ДАН. – Том 378, №4, 2001. – С. 570-573.
5. Бриллюэн Л. Наука и теория информации / Л.Бриллюэн. – М.: Государственное изд-во физ.-мат. литературы, 1960. – 392 с.

ОБТЕКАНИЕ ПРИ РАЗРЫВАХ УСТОЙЧИВОСТИ И ОРОГРАФИЧЕСКИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В СТРАТОСФЕРЕ

Беданок М.К., Берзегова Р.Б.

*Майкопский государственный технологический университет
г. Майкоп, Россия*

E-mail: bedan64@mail.ru, rozaberzegova@mail.ru

Проблема обтекания препятствия воздушным потоком исследуется давно. Большинство работ посвящены различным аспектам моделирования обтекания гор в случае, когда натекающий поток однороден по скорости и устойчивости. Другими словами, когда скорость и градиент падения температуры одинаковы на всех высотах. Однако в реальности атмосфера имеет более сложный характер расслоения. Анализ данных радиозондирования показывает, что в большинстве случаев в натекающем потоке скорость и устойчивость меняются с высотой [1]. До сегодняшнего времени учесть эти изменения удалось немногим из-за сложности [1,2,3,4]. При этом подавляющее число исследователей утверждает, что энергия возмущений, возникающих в тропосфере, в большинстве своем распространяется в верхние слои атмосферы, а в частности в стратосферу.

В данной работе применяется гидродинамическое моделирование орографических возмущений на основе нелинейной трехслойной аналитической модели, учитывающей послойные разрывы устойчивости. Атмосфера полагается состоящей из трех слоев. Нижний слой в модели представляет тропосферу, средний слой – нижнюю стратосферу, верхний (неограниченный по высоте) – все верхние слои атмосферы.

Рассматривается система уравнений движения, адиабатичности и несжимаемости для двумерного случая

$$\begin{cases} (\bar{\nabla} \bar{\nabla}) \bar{v} = -RT_1 \bar{\nabla} \frac{\rho'}{\rho} + \frac{T'}{T_1} \bar{g}, \\ (\bar{\nabla} \bar{\nabla}) T' = -(\gamma_a - \gamma) w, \\ (\bar{\nabla} \bar{\nabla}) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где штрихами справа вверху отмечены возмущения соответствующих величин. Условие несжимаемости позволяет ввести функцию тока посредством формул

$$u = -\frac{\partial \psi}{\partial z}, \quad w = \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (2)$$

В силу стационарности изолинии этой величины совпадают с траекториями движения.

Перекрестное дифференцирование первых уравнений системы (1) с введением функции тока позволяет исключить давление. Далее используя якобианы представить ее в виде [1,5]:

$$\frac{\partial(\psi, \nabla^2 \psi)}{\partial(x, z)} = \frac{g}{T_1} \frac{\partial T'}{\partial x}, \quad \frac{\partial(\psi, T')}{\partial(x, z)} = (\gamma_a - \gamma) \frac{\partial \psi}{\partial x}, \quad (3)$$

где

$$\frac{\partial(A, B)}{\partial(x, z)} = \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial z} - \frac{\partial A}{\partial z} \frac{\partial B}{\partial x} \quad \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}. \quad (4)$$

В силу того, что в натекающем потоке все возмущения отсутствуют [1], имеем:

$$T' \rightarrow 0, \quad \frac{\partial \psi}{\partial x} \rightarrow 0, \quad \psi \rightarrow \psi_0(z), \quad \nabla^2 \rightarrow \frac{d^2}{dz^2} \quad \text{при } x \rightarrow -\infty. \quad (5)$$

Под ψ_0 понимается функция тока в натекающем потоке. Таким образом, решение исходной задачи сводится к решению уравнений (3) для двух искомых функций. Причем, уравнения нелинейные. Граничные условия представлены условием (5). Линеаризация осуществляется переходом к рассмотрению некоторых частных ситуаций. Уравнения (3) имеют первые интегралы, которые имеют вид:

$$T' = f(\psi) - \int_0^z (\gamma_a - \gamma) dz, \quad (6)$$

$$\nabla^2 \psi = f_1(\psi) + \frac{g}{T_1} \frac{\partial f}{\partial \psi}. \quad (7)$$

Так как свойства натекающего потока полностью известны, то вид произвольных функций f и f_1 проще определять там. Для определенных профилей скорости и устойчивости в натекающем потоке вид этих функций таков, что уравнения задачи становятся линейными [1]. Практически единственным интересным для атмосферы вариантом является случай, когда

$$U = const, \quad \gamma = const \quad (8)$$

В нашей работе атмосфера представлена тремя слоями и в натекающем потоке, далеко перед неровностями земли, в каждом из слоев вертикальный

градиент температуры постоянен и различен, а скорость постоянна и одинакова [1]:

$$U = const, \quad \gamma_j = const \text{ при } x \rightarrow -\infty, \quad j=1,2,3. \quad (9)$$

Индекс j соответствует номеру слоя. Выдвинутые предположения позволяют, описанным выше методом, свести решение исходной системы нелинейных уравнений (1) к решению уравнения Гельмгольца для возмущений функции тока в трех выделенных слоях:

$$\nabla^2 \psi'_j + \chi_j^2 \psi'_j = 0, \quad \chi_j^2 = \left(\frac{N_j}{U} \right)^2, \quad N_j^2 = \frac{g(\gamma_a - \gamma)}{T_c}, \quad (10)$$

где N - частота Брента-Вяйсаля, γ_a - сухоадиабатический градиент, T_c - характерная температура, g - ускорение силы тяжести.

При таком подходе слои будут отличаться, очевидно, по величине коэффициента уравнения χ , или величиной известного масштаба Лира:

$$\lambda_j = 2\pi \frac{U}{N_j}. \quad (11)$$

Гора задается в виде $z = z_* + h(x)$, а поверхности раздела можно задать в виде $z = z_* + H_j + \xi_j$, $|\xi_j| \rightarrow 0$ при $x \rightarrow -\infty$, $j=1,2,3$, где H_j и ξ_j - высота в натекающем потоке и смещение в зоне возмущений поверхностей раздела.

Решение задачи (10) строилось с учетом, что оно должно удовлетворять условиям скольжения на земле и поверхностях раздела, условиям непрерывности давления при переходе через любую поверхность раздела. Эти условия, согласно исследованиям [1,2,6] имеют вид:

$$\psi_1(x, z_* + h(x)) = h(x). \quad (12)$$

$$\psi_j = \psi_{j+1}, \quad \frac{\partial \psi_j}{\partial z} = \frac{\partial \psi_{j+1}}{\partial z}, \quad z = z_* + H_j + \xi_j, \quad j=1,2,3. \quad (13)$$

В качестве первого приближения строится решение в предположении, что величиной ξ_j в (13) можно пренебречь по сравнению с $(z_* + H_j)$, т.е. полагаем $\xi_j = 0$. Также предполагается, что волновая энергия в верхнем слое может распространяться только вверх.

По сравнению с обычно применяемыми, данная модель имеет ряд преимуществ:

- 1) не используется гипотеза о малости возмущений;
- 2) учитывается вертикальная неограниченность и расслоенность атмосферы;
- 3) учитываются реальные двумерные особенности обтекаемого рельефа [1].

Наше исследование будет посвящено изучению характера изменений возмущений в слоях и их зависимости от высот поверхностей раздела.

Вспомним результаты теоретического и экспериментального исследований Лонга и анализ их [7,8]. Он рассматривал однослойную модель, в которой на высоте H движение было ограничено сверху жесткой

горизонтальной крышкой. Лонг смог найти аналитически зависимость возмущений от высоты горы и внутреннего числа Фруда

$$F_i = \frac{U}{NH}. \quad (14)$$

Причем гора была достаточно гладкой и протяженной. Полученная зависимость изображена на рис. 1, где на оси абсцисс отложены значения внутреннего числа Фруда, а на оси ординат – высоты обтекаемой горы. Из всех точек следует обратить внимание на точки оси абсцисс, в которых $F_i = \frac{1}{n\pi}$, $n = 1, 2, 3, \dots$, т.к. согласно анализу в этих точках решение задачи перестает существовать [7]. Значит, течение не может иметь ламинарный характер при любой высоте горы. Со стороны физики это прямой указатель на наступление полного резонанса для волновых возмущений в рассматриваемом канале высотой H . В свою очередь для этого необходимо чтобы половина масштаба Лира в толщине канала укладывалась целое число раз, т.е., чтобы

$$H = \frac{n\lambda_1}{2}. \quad (15)$$

Нетрудно заметить, что (15) есть условие полного отражения волн от жестких границ канала. Возвращаясь к особым точкам $F_i = \frac{1}{n\pi}$, $n = 1, 2, 3, \dots$ скажем, что в промежутках между ними течение должно сохранять ламинарный характер только в областях, где высота горы достаточно мала. На рис.1 эти области ограничены сверху плавными кривыми, высота и форма которых зависит от F_i . Промежуток значений числа Фруда определяется интервалом $(n \div (n+1))$ и в каждом таком промежутке указанная зависимость подобна. Однако при увеличении n высота таких областей быстро уменьшается. Согласно исследованиям Дэвиса [9] реально стоит ограничиваться значениями $n = 1, 2$ и только условно значением 3.

В данной работе будем проводить расчеты, когда значения градиента температуры принимали 6, 0,545, 0 град/км при скорости натекающего потока 15 м/с. Поверхности раздела не являются жесткими горизонтальными крышками для слоев. Значит, полный резонанс исключается, но можно ожидать возбуждения интенсивного волнообразования, т.е. квазирезонанса. Степень близости к этому состоянию будем на основе (15) оценивать потому, насколько в двух нижних слоях близки к целому числу следующие величины:

$$n_j = \frac{2H_j}{\lambda_j}. \quad (16)$$

Рассмотрим 6 вариантов, каждый из которых будет иллюстрироваться рисунком траекторий движения при обтекании рельефа, характеризующего горную область вблизи Майкопа. Причем рельеф в расчетах будет воспроизводиться с точностью в 2-3 десятка метров [1]. На рисунках наземная траектория неотличима от вводимого рельефа; натекающий поток направлен слева направо. Нетрудно заметить, что в левых частях рисунков натекающий

поток почти не возмущен уже на расстоянии более 10 км перед горами. Все расчеты проводились до высот порядка 30 км.

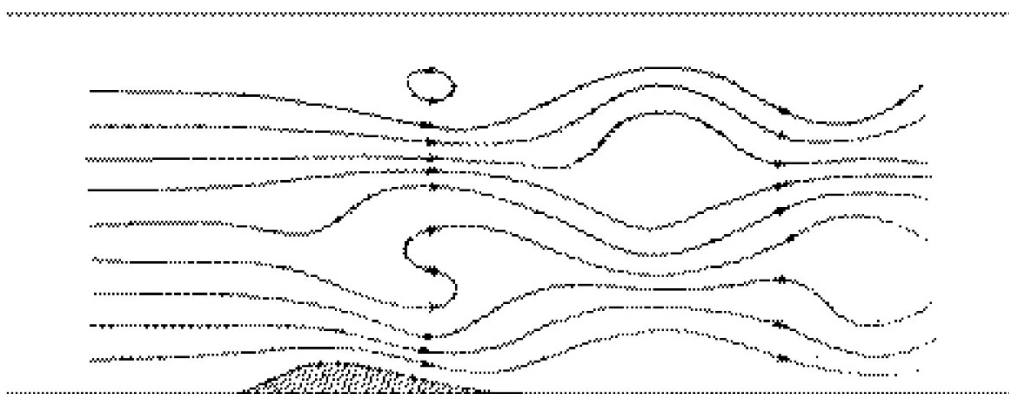
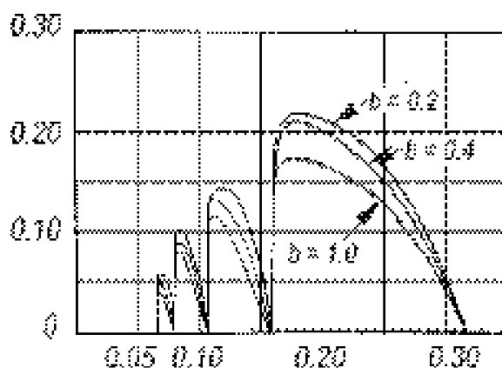
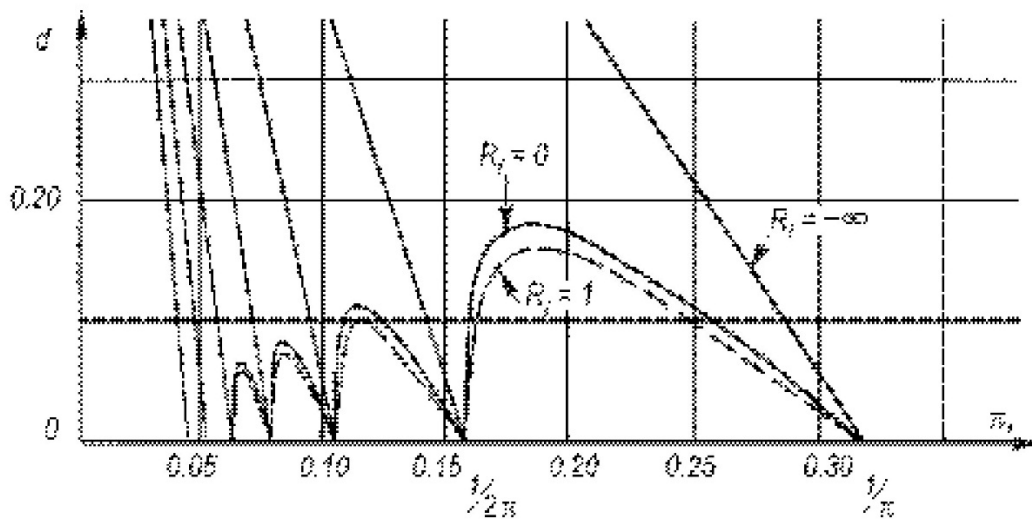


Рис. 1. Орографические возмущения по Лонгу.

Случай 1 (рис.2). В двух нижних слоях значения n_j равны соответственно 2,01 и 1,44. Это значит, что на плоскости параметров Лонга мы оказались в начале третьего диапазона значений внутреннего числа Фруда и в середине первого.

Согласно рис. 1 в тропосфере ситуация близка к квазирезонансу. Вторая поверхность раздела практически не возмущена.

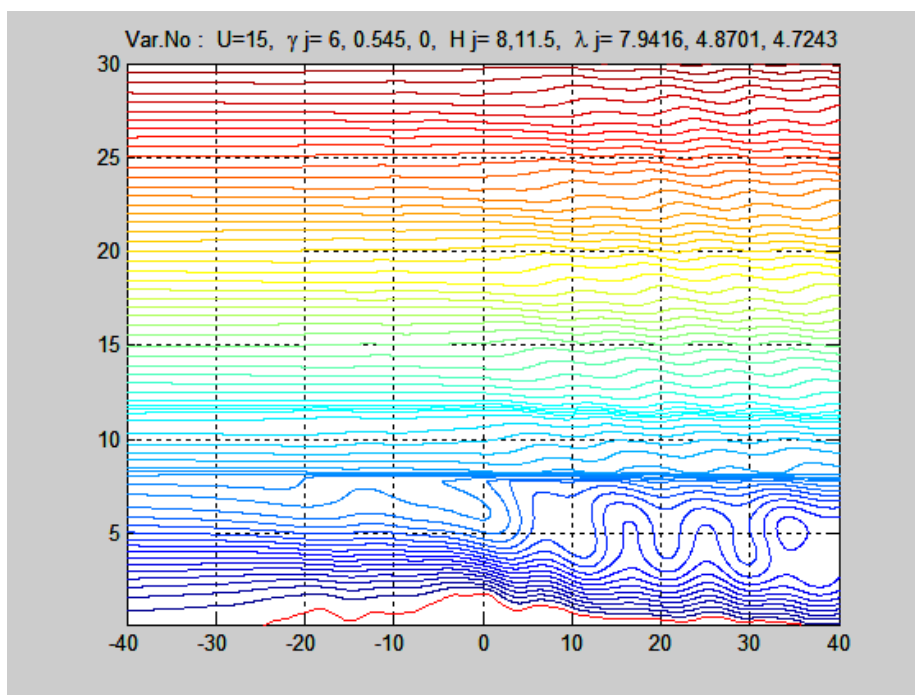


Рис. 2. Траектории обтекания гор – вариант 1

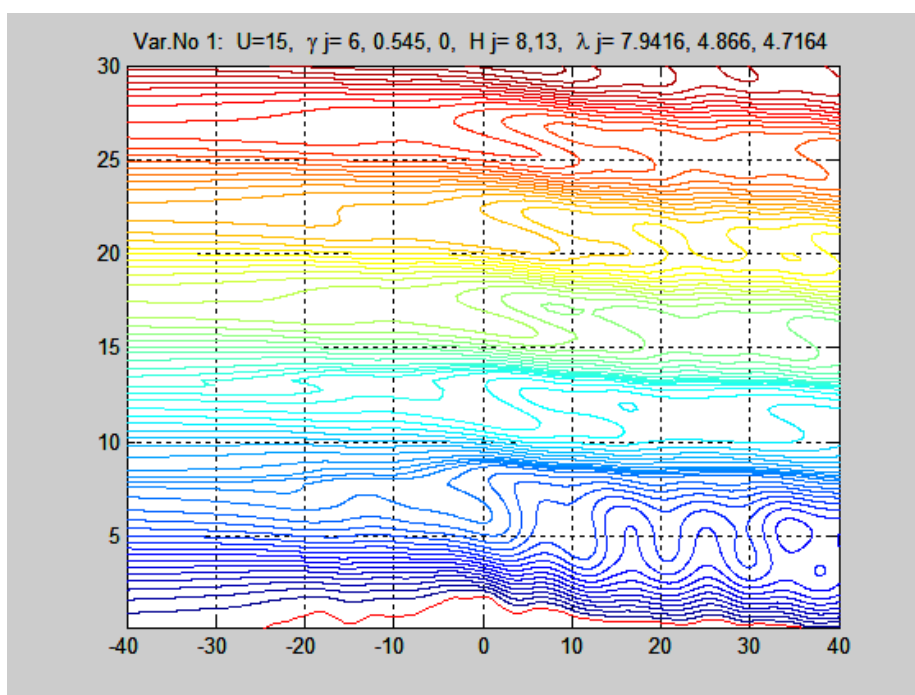


Рис. 3. Траектории обтекания гор – вариант 2

Случай 2 (рис.3). В двух нижних слоях значения n_j равны соответственно 2,01 и 2,055. В тропосфере опять ситуация близка к квазирезонансу, но еще и в среднем слое возникла такая же ситуация. Вторая поверхность раздела заметно возмущена, что собственно и привело к появлению волн в верхнем слое.

Случай 3 (рис.4). В двух нижних слоях значения n_j равны соответственно 2,278 и 2,084. Поверхности раздела были приподняты так, чтобы они более точно расположились между роторными зонами, т.е. в середине безволновых потоков. По сравнению со вторым случаем видим, что интенсивность возмущений возросла во всех слоях. От ситуации квазирезонанса в тропосфере мы достаточно удалились и ждали ослабления волн. В среднем слое такое удаление пренебрежимо мало.

Можно сделать вывод: усиление волн связано не только с близостью к квазирезонансной ситуации, а вполне возможно с тем, что поверхности раздела приподняты. Тем самым они как бы дают свободу для развития собственных волновых колебаний в нижних слоях. Форма второй поверхности раздела приобрела более волновой характер и это привело к усилению возмущений и высокой интенсивности волн в верхнем слое.

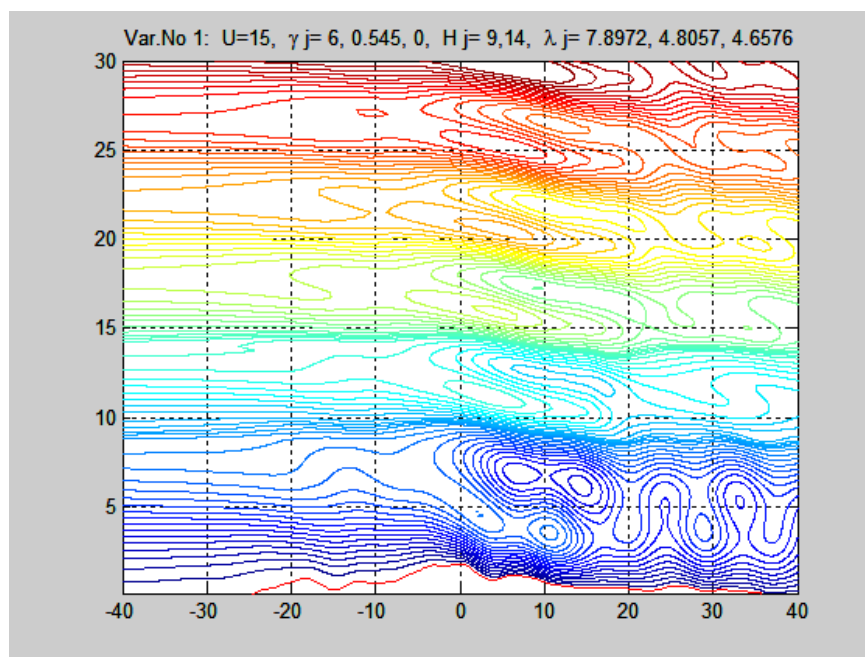


Рис. 4. Траектории обтекания гор – вариант 3

Случай 4 (рис 5). В двух нижних слоях значения n_j равны соответственно 2,414 и 2,306. Толщины обоих нижних слоев были несколько увеличены. По сравнению с третьим случаем значения n_j говорят о том, что мы в обоих слоях удалились от квазирезонанса: в тропосфере незначительно, в среднем слое достаточно.

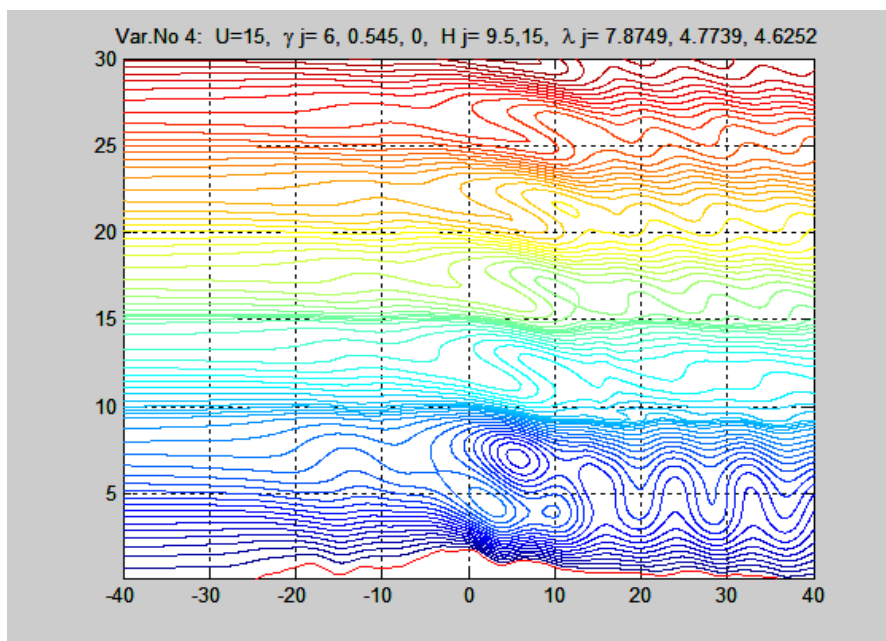


Рис. 5. Траектории обтекания гор – вариант 4

Из рис. 5 видно, что интенсивность волн изменилась в хорошем соответствии с изменениями величин n_j .

Случай 5 (рис.6). В двух нижних слоях значения n_j равны соответственно 2,547 и 3,59. Высоты поверхностей раздела увеличены на 0,5 и 3,5 км. Мы добивались увеличения значения n_2 . В плоскости параметров Лонга в среднем слое переместились из второй резонансной области во вторую.

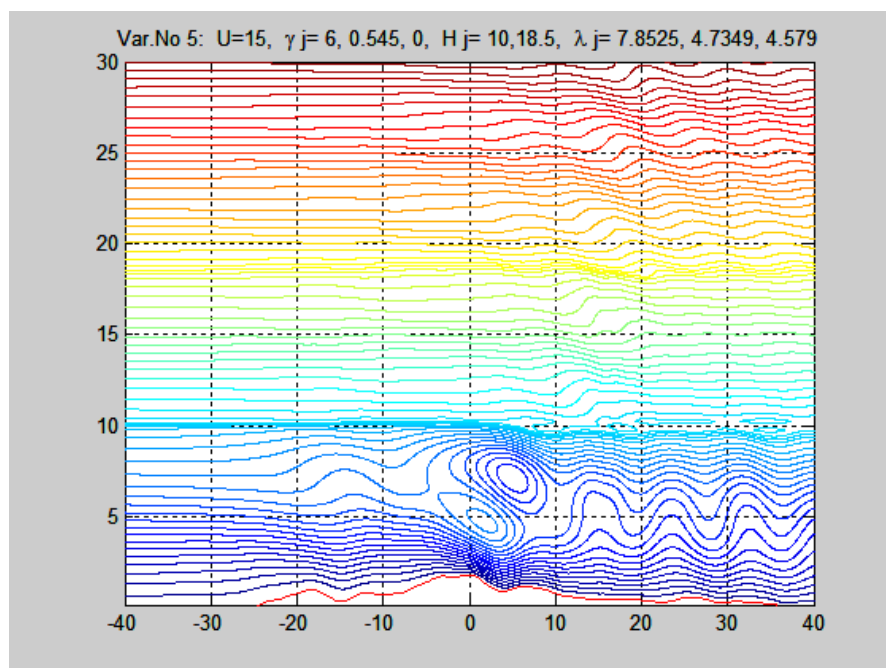


Рис. 6. Траектории обтекания гор – вариант 5

Сравнивая с четвертым случаем, видим, что возмущения немного уменьшились в тропосфере и заметно ослабли в верхних слоях. Но кривые рис. 1 дают понять, что любой переход в область с большими значениями n должен сопровождаться увеличением возмущений, чего не произошло в нашем случае. Значит можно сделать вывод, что для свободных поверхностей раздела зависимость возмущений от величины n_j более сложная и необходимы дополнительные исследования.

Случай 6 (рис.7). Рассмотрим вариант в случае 1, только во всех слоях примем вертикальный градиент температуры таким, как он задавался в тропосфере. Тем самым модель превращается в однослойную, где устойчивость тропосферы распространяется на все слои, а поверхности раздела приобретают искусственный характер.

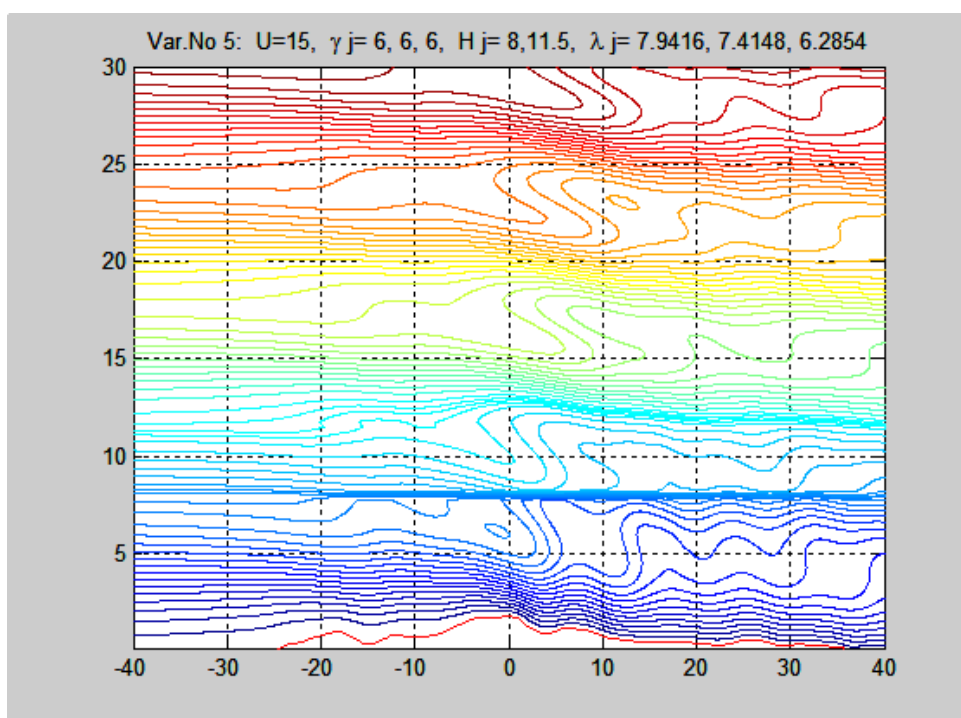


Рис. 7. Траектории обтекания гор – вариант 6

По сравнению с траекториями на рис. 2 очевидно сильное влияние расслоения атмосферы на картину обтекания, а также насколько существенно расслоение может изменять интенсивность волновой энергии, поступающей вверх снизу.

Литература

1. Кожевников В.Н. Возмущения атмосферы при обтекании гор. – М.:, 1999. – 160 с.
2. Кожевников В.Н., Беданов М.К. Нелинейная многослойная модель обтекания произвольного профиля. Изв. РАН, ФАО, т.29, № 6, 1933.
3. Беданов М.К., Берзегова Р.Б. Моделирование обтекания гор произвольного профиля и климат (Кисловодск). Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий // Материалы II Международной науч.-практ. конф., посвященной 20-летию МГТУ. – Майкоп, 2013.
4. Durran Dale R. Another look at downslope windstorms. J. Atm. Sc., v.1, 1986.

5. Кожевников В.Н. Орографические возмущения воздушного потока. Диссертация на соискание ученой степени канд. физ.-мат. наук. МГУ, физический факультет, 1965.
6. Кожевников В.Н. Об учете стратосферы на орографические возмущения в тропосфере. Изв. АН. СССР., ФАО., № 8, 1975.
7. Long R.R. Some aspects of the flow of stratified fluids. 3. Continuous density gradients. Tellus, v. 7, № 3, 1955.
8. Кожевников В.Н. Обзор современного состояния теории мезомасштабных орографических неоднородностей поля вертикальных токов. Тр. ЦАО, вып. 98, 1970.
9. Davis R.E. The two-dimensional flow of a stratified fluid over an obstacle. J. Fluid Mech., v. 36, № 1, 1959.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ КОГЕРЕНТНОГО ПРИЁМА В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ МЕТОДОМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В КОРОТКОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНЕ РАДИОВОЛН

С.Ю. Белов, И.Н. Белова

*МГУ им. М.В. Ломоносова
г. Москва, Россия*

E-mail: belov_Sergej@mail.ru

Аннотация: работа посвящена исследованию рассеивающей способности земной поверхности в КВ-диапазоне с помощью дистанционной диагностики «шероховатых» поверхностных и подповерхностных диэлектрических структур.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, КВ-диапазон, параметр рассеяния сигнал/шум.

Введение

Важнейшими аспектами при использовании средств космического базирования для целей природопользования и экологического мониторинга являются выбор рабочего диапазона зондирования и вопросы влияния сред на проходящее излучение. Выбор диапазона позволяет учитывать подповерхностный слой толщины \sim длины волны падающего излучения. Интерпретация получаемых данных производится на основе статистической мультипликативной модели сигнала [1]. Тестирование метода получения “параметра рассеяния” сигнал/шум в произведено на примере двукратного отражения зондирующего сигнала при его вертикальном распространении [2].

В связи с тем, что параметр рассеяния формируется и неоднородностями диэлектрической проницаемости подповерхностных структур, данным методом при организации мониторингового зондирования, возможно выявлять области изменения этих сред, например, на предмет оценки сейсмической опасности и сейсмического риска.

Экспериментальная установка для синхронной регистрации ионосферных сигналов различной кратности

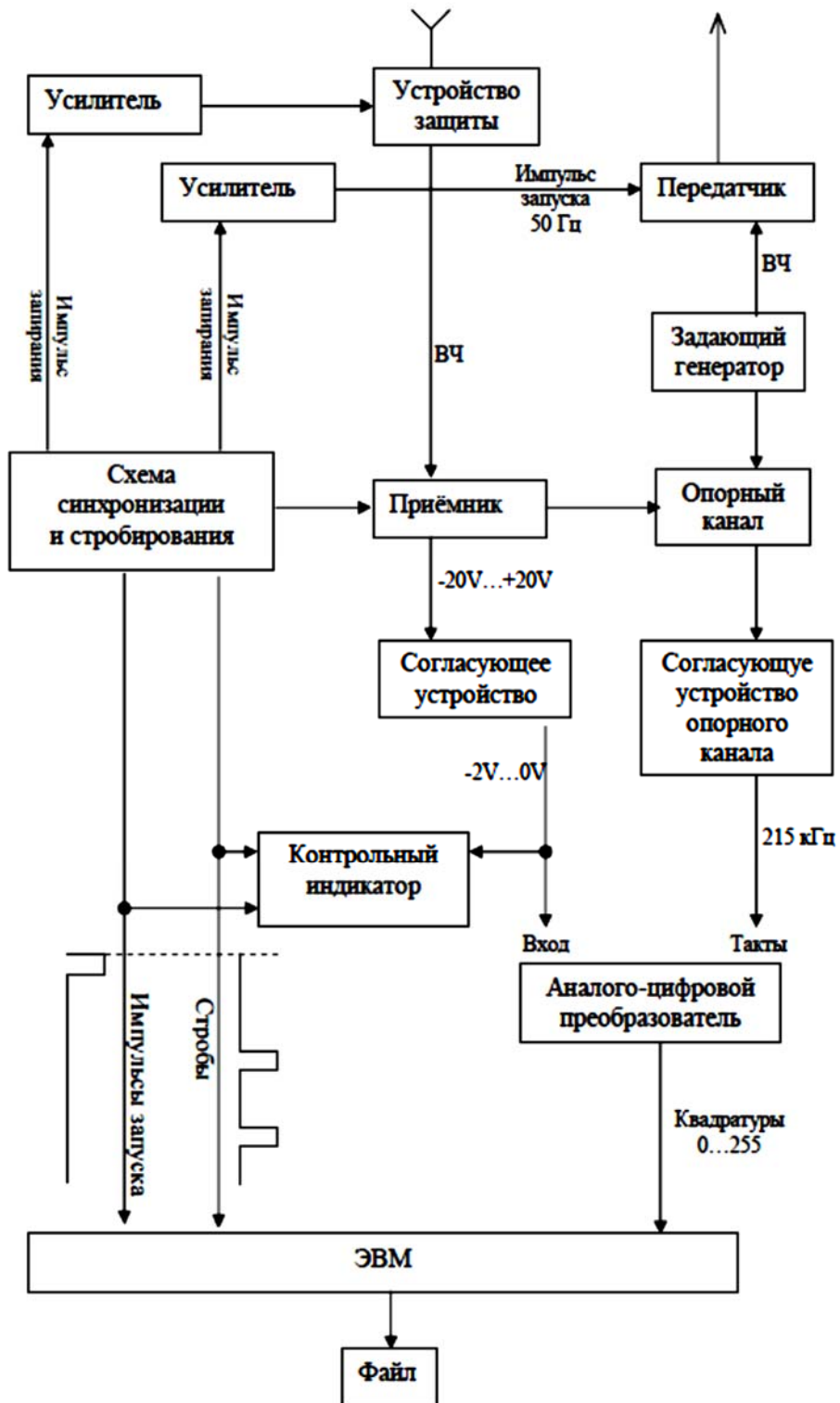


Рис. 1. Функциональная схема экспериментальной установки.

Для тестирования метода при изменении параметра рассеивающей “подложки” в типичных ионосферных условиях был выполнен численный эксперимент на ЭВМ, анализ данных которого показал, что:

1. Метод дистанционной диагностики в КВ-диапазоне чувствителен по исследуемому параметру. При объёме выборки $N \geq 240$ точность определения изучаемого параметра не хуже 5 %.

2. Чувствительность метода, его точностные характеристики сохраняются даже при существенном изменении параметров сред распространения.

3. Сопоставление данных численного и натурального экспериментов указывает, что для обеспечения оценки параметра рассеяния в условиях реального эксперимента с точностью сравнимой с аппаратурной погрешностью можно рекомендовать увеличивать длительность сеансов наблюдения до $8 \div 10$ минут.

Для получения необходимых экспериментальных данных используется импульсный метод когерентного приёма. Этот метод позволяет регистрировать низкочастотные квадратурные составляющие ионосферного сигнала $E_c(t)$, $E_s(t)$. По ним возможно определение огибающей $R(t)$ и фазы $\Phi(t)$, то есть функции модуляции сигнала. Аппаратура когерентного приёма позволяет также непосредственно регистрировать огибающую и фазу отражённого от ионосферы сигнала. Такой комплексный подход к изучению свойств радиосигнала тем более необходим при изучении кратных ионосферных отражений, где одновременно действует целый ряд факторов, определяющих поле ионосферного сигнала.

Для того чтобы применить аппаратуру когерентного приёма к исследованию кратных ионосферных отражений, необходимо обеспечить возможность выделения и одновременной регистрации параметров, относящихся к сигналам разной кратности. При этом необходимо учитывать изменение ряда требований к работе аппаратуры (величин погрешностей, стабильности генераторов, масштабы времени) по сравнению с требованиями к установкам для изучения однократных отражений.

Всё вышесказанное и определило пути модернизации аппаратуры когерентного приёма для обеспечения работы по исследованию свойств кратных отражений. В установке используется схема регистрации низкочастотных квадратурных компонент ионосферного сигнала $E_c(t)$, $E_s(t)$ и огибающей $R(t)$. Модернизация обеспечила регистрацию упомянутых параметров сигнала одновременно для сигналов различной кратности. Это достигнуто применением специальной многоканальной системы стробирования и регистрации. На рис. 1 представлена структурная схема установки со схемой регистрации и стробирования. Установка позволяет осуществлять одновременную регистрацию параметров кратных ионосферных отражений. Ниже рассматривается работа и назначение отдельных блоков.

Принцип работы основных блоков.

Задающий генератор вырабатывает напряжение синусоидальной формы с амплитудой 1-2 В в диапазоне частот 2-15 МГц. Это напряжение поступает на передатчик, управляемый синхронизирующими импульсами. В результате на передающую антенну поступают прямоугольные радиоимпульсы регулируемой длительности в интервале $100 \div 400$ мкс. Период следования импульсов 20 мс, что достаточно для приёма нескольких кратных отражений за время между посылками. Передатчик имеет импульсную мощность около 12-15 кВт. Излучение происходит с помощью антенны типа «ромб» с диагоналями 50 м и 25 м по горизонтали и вертикали соответственно.

Отражённый от ионосферы сигнал принимается на симметричный диполь с длиной луча 14 м, и по двухпроводному кабелю поступает на вход приёмника, в нём происходит усиление сигналов. Коэффициент усиления может регулироваться, максимальное его значение 20 дБ. Далее происходит преобразование частоты. В качестве гетеродина в схеме преобразования используется генератор по схеме индуктивной трёхточки. Со смесителя приёмника напряжение подаётся на усилитель промежуточной частоты, в котором предусмотрена регулировка, как коэффициента усиления, так и полосы пропускания. Усилитель имеет 4 каскада усиления с трансформаторами промежуточной частоты. Второй и третий трансформаторы имеют регулировку, которая позволяет изменять полосу пропускания в пределах 7-30 кГц.

Усиленное напряжение промежуточной частоты детектируется и поступает на усилитель низкой частоты приёмника, а также на АЦП. На контрольный индикатор поступает напряжение низкой частоты с согласующего устройства после приёмника и стробирующие импульсы со схемы синхронизации и стробирования. Контрольный индикатор позволяет визуально выбрать сигналы нужных кратностей и определить порядок их регистрации.

Метод когерентного приёма предусматривает, в частности, сравнение фаз принятого сигнала и излучённого. Для этого необходимо иметь канал опорного напряжения. Так как в данной установке сравнение происходит на промежуточной частоте, то на входе канала опорного напряжения происходит преобразования частоты задающего генератора в промежуточную в блоке смесителя опорного канала. Опорное напряжение промежуточной частоты формируется из напряжения задающего генератора и гетеродина приёмника. Далее опорное напряжение поступает в усилитель промежуточной частоты канала опорного напряжения. Усиленное до необходимого уровня опорное напряжение поступает в согласующее устройство опорного канала, где из синусоидального напряжения формируется последовательность импульсов. Полученные импульсы подаются на АЦП. В результате возможна регистрация квадратурных составляющих сигнала.

Для одновременной регистрации параметров сигналов различных кратностей существенно изменена функциональная схема регистратора, создана многоканальная система стробирования и специальный

синхронизатор. Ранее регистратор обеспечивал запись на киноплёнке квадратурных составляющих сигналов различной кратности, а также энергетической огибающей и суммарной фазы.

ЭЛТ является контрольным индикатором в системе для визуального наблюдения и наведения стробов. Изменяя временное положение стробов, можно выбрать нужное отражение, так как различной кратности соответствуют различные задержки относительно зондирующего импульса. Попадание сигналов различной кратности в соответствующий канал регистратора АЦП обеспечивается схемой синхронизации и стробирования и контролируется по контрольному индикатору. Управление работой измерительного комплекса и согласование его узлов осуществляется схемой синхронизации. На вход которой поступает напряжение частоты 50 Гц, которое запускает все основные блоки установки. С этой частотой формируется модулирующий импульс для управления работой передатчика, импульс запирающего приёмного канала на время зондирующего импульса, а также ряд напряжений для управления работой контрольного индикатора.

О методике экспериментальных исследований.

Ранее были рассмотрены вопросы теории общих методик и способов определения параметров сигнал-шум при исследовании свойств кратных ионосферных отражений: способ определения параметра β для отражений различной кратности; способ определения β_2 в условиях новой статистической модели для кратных отражений; оценка рассеивающей способности «шероховатой» земной поверхности в КВ-диапазоне [1, 2].

Достаточно общий характер носит также выполненный сравнительный анализ эффективности различных методик определения параметра β [2].

Этот анализ с одной стороны позволил обосновать выбор оптимальной методики надёжной оценки параметра β в условиях настоящего эксперимента. С другой стороны анализ имеет более общую значимость, поскольку получение оперативных и надёжных сведений о β представляет интерес при решении задач надёжности и совершенствования работы каналов связи, а также позволяет судить о механизме ионосферного и земного рассеяния, о структуре сигнала. При этом обоснована перспективность когерентных методик определения параметра β [3].

Параметр рассеивающей способности «шероховатой» земной поверхности в КВ-диапазоне может зависеть: от пространственной концентрации построек, их распределения и сочетания с открытыми пространствами (степень их поляризации с условно природными элементами); от функционального содержания районов (жилые, производственные или рекреационные), обуславливающего интенсивность и характер деятельности; а также и от неоднородностей диэлектрической проницаемости подповерхностных структур.

Заключение

Мониторинг поверхности земли методом дистанционного зондирования в коротковолновом диапазоне радиоволн может позволить оперативно проводить диагностику подповерхностных структур, выявлять области

изменения этих сред, например, на предмет оценки сейсмической опасности и сейсмического риска. Данный диапазон позволяет диагностировать и подповерхностный слой земли, поскольку параметр рассеяния формируется и неоднородностями диэлектрической проницаемости подповерхностных структур.

Литература

1. Миркотан С. Ф., Белов С. Ю., Захаров В. И. Дистанционная диагностика рассеивающей способности “шероховатой” земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн. // Радиотехника и электроника. – 1999. – Том 44. – № 10. – С. 1190-1194.

2. Миркотан С. Ф., Белов С. Ю. О параметре возмущённости неоднородной флуктуирующей ионосферной плазмы. // Радиотехника и электроника. – 1998. – Том 43. – № 11. – С. 1382 – 1384.

3. Белов С. Ю. Методы оценки параметра сигнал/шум в коротковолновом диапазоне радиоволн. // Физические проблемы экологии (Экологическая физика) №16. Сборник научных трудов под ред. В. И. Трухина, Ю. А. Пирогова, К. В. Показеева. М.: МАКС Пресс. 2010, с. 31 – 38.

ВОЗМОЖНОСТИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В.В. Бучацкая, П.Ю. Бучацкий

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Адыгейский государственный университет»
г. Майкоп, Россия*

E-mail: butch_p99@mail.ru

Для решения задач, связанных с переходом на экологически чистые, надежные, безопасные и конкурентоспособные энергоресурсы, необходим широкий спектр экологически чистых энергетических технологий. Для достижения этой цели важную роль могут сыграть возобновляемые источники энергии (ВИЭ) и технологии их использования (ТВИЭ). Многие страны успешно стимулируют использование ВИЭ в структуре энергоснабжения [1].

Одним из основных преимуществ возобновляемой нетрадиционной энергетики является уменьшение негативного воздействия на окружающую среду в сравнении с традиционными источниками энергии, при этом каждый вид источников оказывает на нее различное как прямое, так и косвенное влияние [2]. При использовании возобновляемых нетрадиционных источников энергии снижаются выбросы различных загрязняющих веществ, в том числе парниковых газов, по сравнению с традиционными источниками энергии. ВИЭ могут также играть роль в уменьшении местного загрязнения атмосферы, улучшая качество воздуха в городах и зонах отдыха.

Для успешного применения моделей ВИЭ и технологий их реализации необходимо оперировать большим объемом исходных данных, характерных для исследуемого района местности – климатическими, актинометрическими, метеорологическими, геологическими и др. Хранение такого рода информации по итогам многолетних наблюдений и удобный доступ к ней обеспечивается базами данных в составе геоинформационных систем (ГИС).

Большинство существующих программных продуктов этого класса представляют собой сложные, с некоторыми аналитическими способностями, визуализаторы информации. Поэтому необходимо развитие нового типа ГИС, ориентированных на анализ больших объемов неоднородных данных. Это требует включения в состав ГИС баз данных для хранения информации об исследуемых объектах (с привязкой к конкретной местности и территории) и расчетно-аналитического блока.

БД ГИС являются по сути интегрированными и совместно используемыми хранилищами постоянных данных и становятся доступными для пользователей на этапах их создания и эксплуатации посредством системы управления базами данных (СУБД) [3].

ГИС технологии предоставляют широкие возможности моделирования реального мира с целью проведения манипулирования, анализа и представления его составляющих - пространственных объектов и явлений. Каждая конкретная геомодель должна быть наиболее эффективной для той проблемы, на которую она ориентирована. Особенности ГИС позволяют применять в равной степени динамические и статистические модели. Основу процессов разработки и анализа в ГИС составляет цифровое моделирование, позволяющее переходить к другим видам моделирования – векторным и растровым моделям, моделям квадриметрического дерева, буферизации, анализа сетей, построения цифровых моделей местности и пр. На основе перечисленных видов моделирования могут быть построены модели более высокого уровня обобщения: иерархические и сетевые, реляционные, инфологические и даталогические и пр. Особая роль в рамках ГИС принадлежит сочетанию математических и картографических моделей. Модели объектов, хранящихся в БД, формируются из простых частей - моделей данных, определяемых способами их организации. Модель данных является основой структуры БД, а их системно-организованное множество формирует единую информационную модель БД.

Таким образом, анализ данных и моделирование составляют ядро ГИС-технологий.

Моделирование объектов и процессов не является обязательной функцией компонентов в составе ГИС-технологии - основное внимание в последней изначально было сосредоточено на вводе и представлении пространственно распределенных данных, а также их анализе с использованием достаточно четко определенного круга методов. Однако, на сегодняшний день, уже обоснована необходимость и возможность включения аналитических блоков и в состав ГИС, и в контур информационных систем,

интегрирующих возможности различных технологий в составе комплексного программного приложения.

Возможны два основных подхода к интеграции ГИС-технологии и технологий моделирования [4].

1. Использование ГИС-пакета как дополнительного модуля компьютерной модели процесса, обеспечивающего формирование массивов входных данных, а также представление результатов моделирования, выполняемого с помощью реализованных традиционными методами моделей на экране дисплея, либо в виде твердой копии.

2. Полная интеграция ГИС и профильной модели процесса на основе реализации модели языковыми возможностями ГИС-пакета или прикладного программного обеспечения. Такой подход позволяет моделировать объект или процесс как единый для всей территории с учетом особенностей пространственной вариации его факторов. В общем случае именно он является предпочтительным при разработке пространственно распределенных моделей объектов и процессов.

Для достижения поставленной цели – включения модели ВИЭ в состав ГИС-модели – выбран второй подход. На его основе возможно создание отдельных функциональных модулей с помощью различного инструментального программного обеспечения, а затем их интеграция в единый программный комплекс.

Создание проблемно-ориентированных геоинформационных систем (ГИС), в основу которых положена картографическая, топографо-геодезическая, аэрокосмическая информация, представленная в цифровом виде, дополненная многоцелевой тематической информацией, ориентированной на конкретного потребителя, открывает возможности широкого применения ГИС для решения целого комплекса задач в области управления, планирования и рационального использования природных ресурсов территорий.

Одной из таких является задача оценки эффективности вовлечения НВИЭ в энергобаланс региона. Она имеет территориальную привязку. Использование традиционных АСУ и САПР в этом случае существенно ограничено из-за отсутствия в них возможности обработки геопространственных данных. Наиболее перспективными с точки зрения возможности всесторонней обработки геопространственных данных, как уже было отмечено выше, явились геоинформационные системы. Большинство подобных систем в настоящее время используется в основном для сбора данных, создания и редактирования электронных карт и визуализации результатов исследования. Ряд из них включает и средства, позволяющие проводить определенный анализ данных. В тоже время геопространственные данные при автоматизации процессов принятия решений еще не нашли должного применения в соответствующих программных средствах.

Выше сказанное определяет необходимость реализации оптимизационных моделей и технологий поддержки принятия решений с использованием ГИС-технологий. Такая постановка вопроса требует

проведения специальных исследований и разработок, что является актуальной задачей. Для ее решения необходима разработка отдельных программных модулей в составе программного обеспечения для ГИС-технологий с включением оптимизационных моделей и алгоритмов поддержки принятия решений на основе геопространственных данных [5].

Методы поддержки принятия решений могут быть использованы в ГИС для решения различных практических задач (классификации типа загрязнения по разным факторам, определения категорий пригодности земель для конкретного вида сельскохозяйственных культур, решения задачи о наилучшем использовании посевной площади), в том числе и для оценки эффективности вариантов вовлечения НВИЭ в энергобаланс территории. Поставленная задача требует учета характеристик местности (солнечная, ветровая активность, наличие и качество геотермальных источников и т.д.), возможности размещения энергетических установок для преобразования энергии от нетрадиционных источников (наличия требуемой площади земель, характеристики грунта), стоимости самих этих установок и их доставки и сборки на заданной территории, последствия причиненного ущерба экологии района размещения установок.

Весь процесс анализа проблемной ситуации состоит из трех основных компонентов: оценка реальной ситуации, использование ГИС, принятие решения.

Рассмотрим некую территорию, нуждающуюся в дополнительных источниках энергии. Это может быть отдельно расположенный объект (удаленная ферма, станция, производственное предприятие или другой объект), территориальное образование (например, сельское поселение и т.д.). Эта территория может быть расположена на открытой равнинной местности, в горном или прибрежном районе. На основе собранных необходимых данных создается модель исследуемого объекта (т.е. модель реальной ситуации). Собранные данные должны иметь пространственные и атрибутивные характеристики, которые в своей совокупности позволят пользователю ГИС решить поставленную задачу. Таким образом, важнейшее значение здесь имеют два фактора: выбор источников данных и качество собранной информации.

Полученные характеристики вводятся в ГИС, которая содержит, таким образом, несколько "слоев" (layers) данных, составляющих в целом модель реальной ситуации. Посредством частичного наложения или комбинирования отдельных "слоев" можно выявлять и распознавать различные пространственные соотношения и взаимосвязи. Кроме того, поскольку все данные хранятся в базе данных, они могут использоваться для статистического анализа.

Данные, полученные на выходе ГИС, могут использоваться для принятия решений о строительстве в исследуемой местности объектов преобразования энергии от нетрадиционных источников.

Отметим, что роль геоинформационных технологий в этом вопросе сводится к предоставлению пользователю информации в такой форме, которая

облегчает принятие решений. Далее выполняется построение оптимизационной модели и поиск ее эффективного решения. Исследования завершаются оценкой значимости найденных вариантов решений и принятием решений.

Указанный подход реализован в виде программного комплекса оценки эффективности вариантов вовлечения ВИЭ в энергобаланс региона [6].

Литература

1. Внедрение возобновляемых источников энергии: принципы эффективной политики и стратегии [Электронный ресурс] // International Energy Agency. – Режим доступа https://www.iea.org/media/translations/russian/deploying_renewables_rus.pdf.
2. Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире [Электронный ресурс] // Энергетика: история, настоящее и будущее. – Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/>.
3. Лайкин, В.И. Геоинформатика: учебное пособие / В.И. Лайкин, Г.А. Упоров. – Комсомольск-на-Амуре: Изд-во АмГПГУ, 2010.
4. Журкин, И.Г. Геоинформационные системы / И.Г. Журкин, С.В. Шайтура. – М.: КУИЦ-ПРЕСС, 2009.
5. Бучацкий П.Ю. Инструментальные средства геоинформационных систем для информационной поддержки этапов системного анализа / П.Ю. Бучацкий, В.В. Бучацкая // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2014. №4. С. 154-160.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013660038 Программный комплекс оценки эффективности вариантов вовлечения нетрадиционных возобновляемых источников энергии в энергобаланс региона («СИБУРЭН-ККА 1.0») / П.Ю. Бучацкий, В.В. Бучацкая, В.С. Симанков, А.В. Шопин.

ДИАГНОСТИКА ТОЧЕК КОНЦЕНТРАЦИИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНО ПОДОБНОЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Т.П. Варшанина, В.Н. Коробков

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Адыгейский государственный университет»
г. Майкоп, Россия*

E-mail: vtp01@mail.ru, gic-info@yandex.ru

Abstract. This work shows that a satisfactory compliance has been obtained between the calculated parameters of structurally similar geodynamic model and instrumental data of monitoring of tectonic and seismic processes. This model is promising for the analysis of geodynamic processes in the unlimited area and for preliminary diagnostics of points of tectonic tension concentration, for their subsequent geophysical remote monitoring and for effective point forecasting seismic hazard.

Прогнозирование землетрясений до настоящего времени относится к слабо формализованной задаче. В процесс прогнозирования включают данные мониторинга комплекса индикаторов различных геофизических полей, ряды которых ограничиваются длительностью периода инструментальных наблюдений. В то время как основной причиной землетрясений является система энергетических потоков в мантии и земной коре с длительностью ритмов от 1-2 миллиардов до 1-2 миллионов лет [4]. Для успешного прогнозирования землетрясений, полученный за период инструментальных наблюдений объём геофизических данных не может быть статистически репрезентативным.

Структурно подобная пространственно-временная геодинамическая модель [1], разработанная методом структурной маски энергетических географических полей [2] позволяет воссоздать на территории пространственно-временную последовательность тектонических процессов за миллионы лет. В возможности модели входит вычисление динамики направления и относительной скорости движения тектонических элементов и области концентрации тектонических напряжений.

Методы

Структура энергетического поля земной коры, продуцирующего вертикальные движения земной поверхности, воспроизводилась в результате вычисления мощности разностного слоя между базисными поверхностями рельефа, высотное положение которых приближенно соответствует поверхностям выравнивания определённого геологического возраста [6].

Растровые карты базисных поверхностей строились с использованием стандартных ГИС-инструментов по отметкам высот, расположенных по линии пересечения тальвегов водотоков соответствующего порядка с матрицей высот корректной относительно гидрологической сети.

Растровые карты мощности разностного слоя между смежными базисными поверхностями строились путем вычитания из значения высоты (в метрах) в каждой точке базисной поверхности старшего (третьего, четвертого и т. д.) порядка значение высоты в каждой точке базисной поверхности младшего (второго, третьего и т. д.) порядка. При этом положительные разности высот между смежными базисными поверхностями соответствуют восходящим тектоническим движениям, а отрицательные – нисходящим. Мощность разностного слоя представляется в виде изолиний одинаковой мощности разностного слоя – изогипсопахит.

Векторное пространственно-временное поле структурно подобное полю тектонических напряжений территории строилось в соответствии с очевидным условием, что граням тектонических блоков, которые испытывают наибольшее тектоническое напряжение, принадлежат наибольшие отметки высот. Вследствие этого наибольший градиент мощности разностного слоя между базисными поверхностями использован в качестве параметра, характеризующего относительную скорость и направление исторического движения тектонических элементов земной коры. При этом векторная составляющая наибольшего градиента мощности разностного слоя указывает

на направление движения, а величина равна его относительной скорости. Континуальное поле тектонических напряжений вычислялось в узлах решётки с равномерным шагом относительно карты изогипсопахит. Дискретное поле тектонических напряжений относительно тектонических блоков определялось по результирующему вектору, вычисляемому по значениям величин наибольшего градиента мощности разностного слоя относительно узлов решетки, попадающих в границы каждого тектонического блока от точки его геометрического центра.

Пространственно-временная дифференциация тектонических движений территории от плиоцена до четвертичного времени включительно исследовалась по картам остаточного рельефа, характеризующих мощность разностного слоя от последовательной серии базисных до топографической поверхности.

Результаты и обсуждение

Последовательная серия карт остаточного рельефа на территорию Адыгеи от плиоцена до четвертичного времени включительно отражает общую закономерность нарастания интенсивности стеснённых деформаций от северной равнинной части до осевой зоны Большого Кавказа, выражающейся в прямой связи скорости поднятия со степенью дробления поверхности. В то же время вычисление сравнительной интенсивности как континуального, так и дискретного поля тектонических напряжений свидетельствует о перманентном снижении на всей территории скорости вертикальных движений за этот же период. Выявлены две области концентрации тектонических напряжений: у южной границы Скифской плиты в районе Скалистого хребта и в осевой зоне Большого Кавказа в районе Нагорья Лагонаки. Определены типы тектонического напряжения между блоками и в линеаментах. Напряжение сжатия фиксируется по факту конвергенции наибольшего градиента мощности разностного слоя, напряжение растяжения – по факту дивергенции наибольшего градиента мощности разностного слоя соседних блоков относительно разделяющих блоки разломов.

Верификация разработанной геодинамической модели произведена в результате сравнения пространственной дифференциации скоростей вертикальных тектонических движений на территории исследования, вычисленных с помощью геодинамической модели, с данными повторного нивелирования за период 1925-1992гг [5]. Модельные данные скоростей вертикальных движений тектонических блоков в мм/год за четвертичный период были рассчитаны с учетом продолжительности времени формирования толщ так называемого «остаточного рельефа» от базисной поверхности первого порядка до топографической поверхности. Пространственная дифференциация скоростей вертикальных движений тектонических блоков по инструментальным данным за 20-й век была представлена grid-поверхностями, разработанными по приведённым Д.А. Лилиенбергом картосхемам. Вычисление коэффициента корреляции производилось между максимальными и средними значениями скоростей вертикальных движений

тектонических блоков, полученными по модельным данным за четвертичный период и инструментальным данным за 20-й век (таблица 1).

Удовлетворительная степень сопряженности рядов со значениями коэффициента корреляции от 0,70 до 0,78 (при высоком уровне достоверности) обнаружена между средними и максимальными значениями скорости вертикальных движений блоков, определенными с одной стороны инструментальными наблюдениями за 20-ый век, с другой – с помощью индикационного параметра за весь четвертичный период.

Таким образом, пространственная дифференциация вычисленной мощности разностного слоя приближенно отображает преобладающую тенденцию реальных тектонических движений территории за четвертичный период. Имеется основание для заключения о том, что разработанный способ построения пространственно-временной геодинамической модели может служить инструментом для исследования поля тектонических напряжений на территориях неограниченной площади за предыдущие миллионы лет.

Таблица 1

Коэффициент корреляции скорости вертикальных тектонических движений между модельными за четвертичный период и инструментальными данными за 20-й век

Модельные данные	Инструментальные данные	
	Средние значения	Максимальные значения
Средние значения	0,78 t=8,12%*	
Максимальные значения		0,70 t=8,63%*

*При $t_{табл} = 2,576$

Единственный целостный макроблок на территории исследования, принадлежащий южной оконечности Скифской плиты, ограничен с севера Азово-Кубанским предгорным прогибом, с юга – Ахтырским коро-мантийным разломом и Северо-Юрской депрессией. Результирующий наибольший градиент мощности разностного слоя этого макроблока за четвертичный период выявляет невысокую относительную скорость движения на юго-восток с концентрацией тектонических напряжений в области Скалистого хребта, представляющего собой северный борт Северо-Юрской депрессии (рис.1). В пределах макроблока за историческое время известно 21 сейсмическое событие магнитудой от 2.0 – 5,0 [3]. В пределах макроблока относительно каждого эпицентра землетрясений вычислен индикатор тектонического напряжения – результирующий наибольший градиент мощности разностного слоя, характеризующий его величину за четвертичный период. В зоне Скалистого хребта наибольшая величина результирующих относительно эпицентров

векторов соответствует преобладающему направлению горизонтального движения макроблока, но присутствуют также эпицентры с противонаправленными векторами (рис. 2).

Коэффициенты множественной корреляции между магнитудой землетрясений и величиной и направлением результирующих за четвертичный период векторов макроблока относительно эпицентров составил 0.43 (табл. 2). Аналогичный результат получен при расчёте коэффициента множественной корреляции между магнитудой и параметрами результирующих векторов рассчитанных отдельно для каждого блока, входящего в макроблок (рис. 3, табл. 3). Полученное значение коэффициента корреляции свидетельствует о наличии связи между магнитудой сейсмического события и модельными данными в заданной точке. Весомость оцениваемой связи увеличивается при учёте двух допущений. Во-первых, необходимо принимать во внимание, что рассчитанный наибольший градиент мощности разностного слоя отражает суммарное за весь четвертичный период значение величины тектонического напряжения, динамика которого, как известно, имеет пульсационный характер. Во-вторых, существует возможность того, что привязка некоторых эпицентров в исходных данных может быть приблизительной.

Закономерность связи между магнитудой землетрясений и рассчитываемой в модели величиной индикатора тектонического напряжения указывает на возможность точечного прогнозирования землетрясений, в результате специализированного мониторинга в выявленных очагах концентрации тектонических напряжений.

Для автоматизированного выделения точечных очагов концентрации тектонических напряжений на территориях неограниченной площади разрабатываются алгоритм и модуль автоматизированной классификации структуры векторных полей наибольшего градиента мощности разностного слоя.

Заключение

Удовлетворительное соответствие вычисляемых параметров разработанной геодинамической модели с инструментальными данными мониторинга тектонических и сейсмических процессов свидетельствует о её структурном подобии полю тектонических напряжений территории. Это доказывает перспективность применения метода структурной маски энергетических географических полей для анализа геодинамических процессов на территориях неограниченной площади и для предварительной диагностики точек концентрации тектонических напряжений, с последующим их геофизическим и дистанционным мониторингом и на этой основе эффективным точечным прогнозированием сейсмоопасности.

Таблица 2

Оценка корреляции между магнитудой и параметрами результирующего вектора индикатора тектонических напряжений в макроблоке

ID	Магнитуда	Величина градиента	X_DELTA	Y_DELTA
9	4,10	24,11	19,53	14,14
20	3,90	27,12	17,15	-21,01
30	3,90	20,84	10,69	-17,89
31	4,20	13,35	9,72	-9,15
34	3,90	50,34	15,49	-47,89
35	3,60	276,41	39,09	-273,63
36	5,00	7,95	1,56	-7,79
70	2,20	98,83	16,93	-97,37
71	3,90	34,28	-13,69	31,43
72	3,60	27,57	-11,67	24,97
85	3,40	13,01	6,35	-11,35
87	3,30	16,06	4,50	-15,42
89	3,30	112,62	46,61	-102,52
90	3,10	178,72	65,58	-166,25
100	4,40	33,43	17,43	28,52
105	3,60	42,63	15,15	-39,85
108	3,10	24,43	24,34	2,08
112	4,00	15,87	8,47	-13,42
119	3,30	147,52	80,06	-123,91
129	3,90	27,82	16,47	-22,43

	X_DELTA	Y_DELTA	Магнитуда
X_DELTA	1,000000	-0,711361	-0,366683
Y_DELTA	-0,711361	1,000000	0,420580
Магнитуда	-0,366683	0,420580	1,000000
YX1	-0,366683		
YX2	0,420580		
X1X2	-0,711361	Множ. корреляция 0,431405429	

Таблица 3

Оценка корреляции между магнитудой и параметрами результирующего вектора индикатора тектонических напряжений в блоках, входящих в макроблок

ID	Магнитуда	Величина градиента	X_DELTA	Y_DELTA
9	4,10	13,72	-5,50	12,56
20	3,90	13,66	0,37	-13,65
30	3,90	16,22	4,39	-15,62
31	4,20	13,96	3,18	-13,60
34	3,90	20,99	8,82	-19,05
35	3,60	98,48	38,03	-90,84
36	5,00	8,34	-8,05	2,18
70	2,20	30,24	11,21	-28,09
71	3,90	29,84	23,54	18,34
72	3,60	21,75	12,02	18,12
85	3,40	8,98	-0,94	-8,93
87	3,30	6,08	4,20	-4,40
89	3,30	71,13	-22,52	-67,47
90	3,10	115,64	-25,53	-112,79
100	4,40	21,02	-11,72	17,45
105	3,60	23,46	-6,11	-22,65
108	3,10	11,61	10,89	4,02
112	4,00	12,02	-0,86	-11,99
119	3,30	90,10	19,39	-87,99
129	3,90	19,26	-9,68	-16,65

	X_DELTA	Y_DELTA	Магнитуда
X_DELTA	1,000000	0,030812	-0,155555
Y_DELTA	0,030812	1,000000	0,421183
Магнитуда	-0,155555	0,421183	1,000000
YX1	-0,155555		
YX2	0,421183		
X1X2	0,030812	Множ. корреляция 0,45367972	

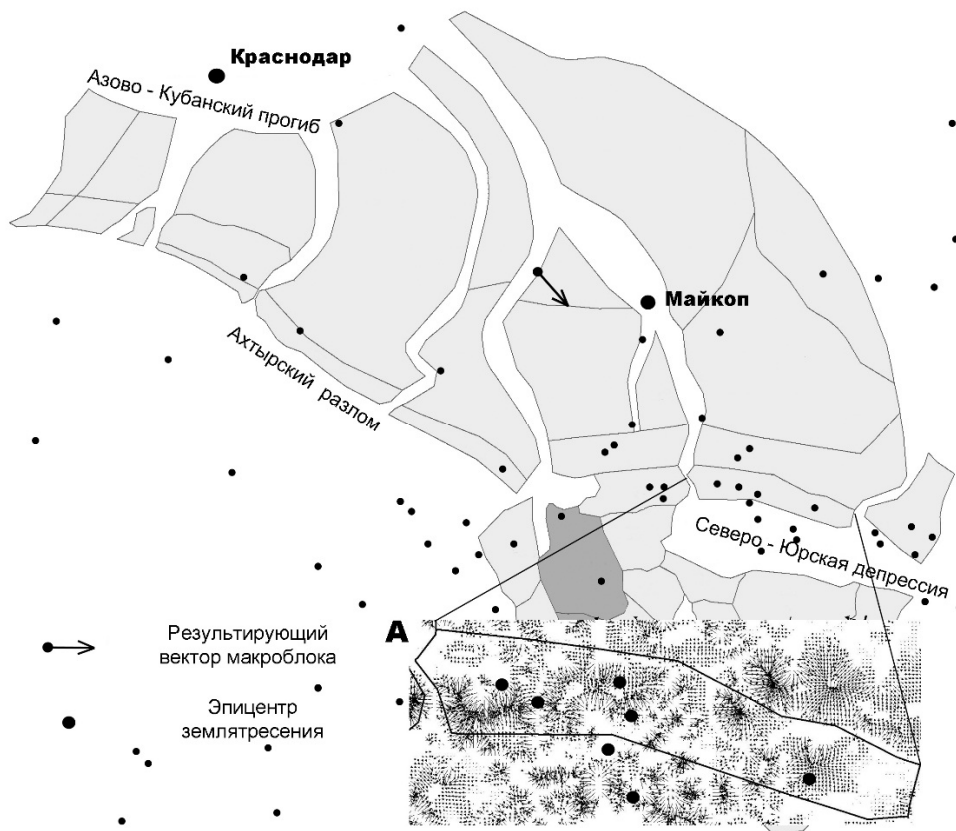


Рис. 1 Направление результирующего наибольшего градиента мощности разностного слоя в макроблоке; А – локализация эпицентров землетрясений в континуальном поле тектонических напряжений в блоке Скалистого хребта.

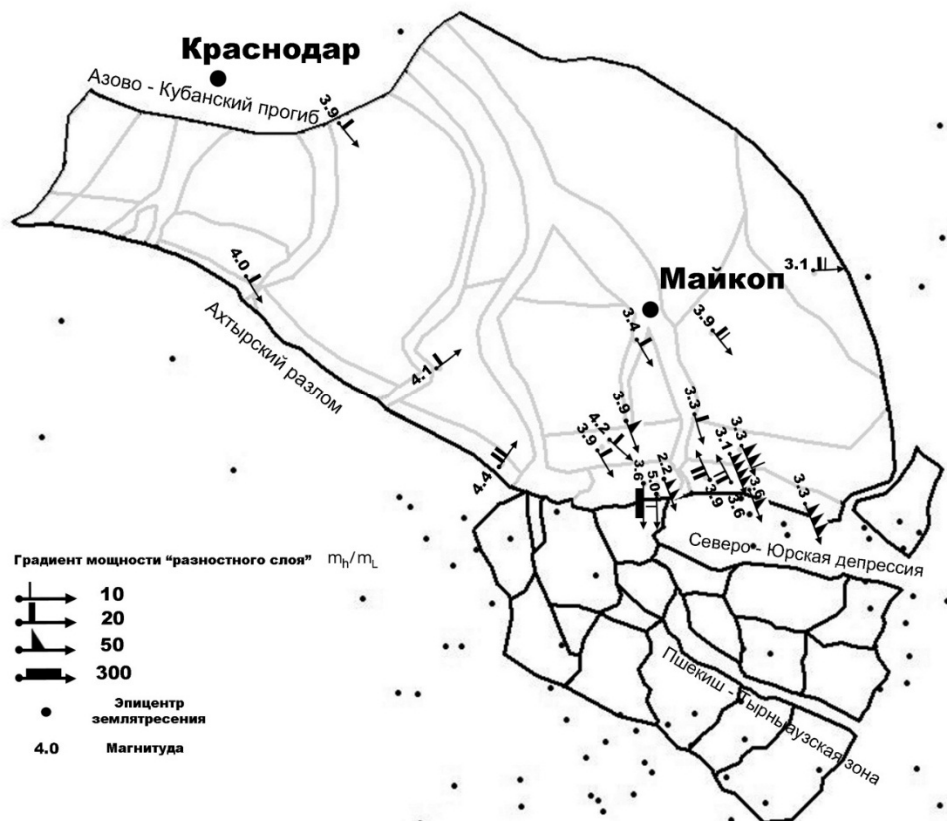


Рис.2 Результирующие наибольшие градиенты мощности разностного слоя относительно эпицентров землетрясений в макроблоке.



Рис.3 Результирующие наибольшие градиенты мощности разностного слоя в каждом блоке, входящем в макроблок, относительно эпицентров землетрясений.

Литература

1. Варшанина Т.П., Плисенко О.А., Солодухин А.А., Коробков В.Н.. Структурно-подобная геодинамическая модель Краснодарского края и Республики Адыгея. – Москва-Майкоп: Изд. Дом «Камертон». 2011. 128 с.
2. Варшанина Т.П., Хунагов Р.Д. ГИС научных исследований процессов изменчивости геосистем. //Вестник Адыгейского государственного университета. Серия «Естественно-математические и технические науки». – Майкоп. 2014. – Вып. 4 (147). С. 207-214.
3. Годзиковская А.А. Каталог землетрясений Кавказа с древнейших времен по 2000 г. URL: <http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/caucasus>.
4. Гончаров М.А., Талицкий В.Г., Фролова Н.С. Введение в тектонофизику. – М.: Изд-во КДУ. 2005. 496с.
5. Лиленберг Д.А. Картографо-геодинамические модели современных движений морфоструктур Кавказа и Закавказья для разных эпох // Геоморфология. 1997. – Вып.4. С. 63-75.
6. Философов В.П. Краткое руководство по морфометрическому методу поиска тектонических структур. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1960. – 93 с.

АНАЛИЗ ДАННЫХ НА ПОЛНОЙ СФЕРЕ И ПОСЛЕДНИЕ КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

О.В. Верходанов

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук
Нижний Архыз, Карачаево-Черкесская республика, Россия*

E-mail: vo@sao.ru

Аннотация. В обзоре рассмотрены основные методы разбиения сферы на маленькие площадки - пикселизации и связанные с этой задачей проблемы. Детально рассмотрены методы пикселизации неба, применяемые в области современной наблюдательной астрофизики и космологии. Обсуждаются последние космологические результаты, полученные в рамках описанных подходов, и стандартная космологическая модель.

1. Введение

Последнее десятилетие исследований в области космологии связано с амбициозными экспериментами, включающими космические и наземные наблюдения реликтового излучения (СМВ - Cosmic Microwave Background — космический микроволновой фон). Среди них особенно выделяются две космические миссии: NASA WMAP (<http://lambda.gsfc.nasa.gov>, (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) [1,2] завершившаяся в 2010 г. И ESA Planck (<http://www.rssd.esa.int/Planck/>) [3] завершившаяся в 2013 г. Значение этих экспериментов определяется их важным вкладом в выбор модели Вселенной и измерение ее главных параметров с хорошей точностью. Достигнутые успехи связаны, в первую очередь, с появлением новых технологий и инструментов в сантиметровой, миллиметровой и субмиллиметровой астрономии. Развитие методов обработки наблюдений космического микроволнового фона позволяет сравнить эти наблюдения с теоретическим описанием процессов в ранней Вселенной.

В технологической цепочке обработки микроволновых данных и измерения космологических параметров можно выделить несколько этапов:

- 1) регистрация временных рядов (TOD - time ordered data);
- 2) пикселизация данных СМВ и подготовка многочастотных карт наблюдений;
- 3) разделение компонент сигнала с использованием данных наблюдений на различных длинах волн (см. например, [4-8]);
- 4) анализ статистики сигнала на карте СМВ (см. например, [9-11], также большой обзор работ приведен в [12]);
- 5) гармонические преобразования ``карта - сферические гармоники'',
- 6) получение углового спектра мощности $C(l)$ и его анализ,
- 7) оценка космологических параметров (см. например, [13,14]).

Проблема представления и анализа карты неба возникает не только в микроволновых обзорах небесной сферы, но во всех диапазонах электромагнитного спектра (от гамма до низкочастотного радио, например, гамма BATSE [15], рентгеновский ROSAT [16], оптический SDSS [17], инфракрасные IRAS [18] и 2MASS [19], радио 1.4 ГГц NVSS [20], радио 45 МГц [21], а также при исследовании нейтрино (IceCube [22,23]) и космических лучей. Кроме того, системы пикселизации неба оказываются важными и при построении баз данных, требующих быстрого поиска небесных объектов.

В данном обзоре мы остановимся на одном пункте технологической цепочки, посвященном процедуре пикселизации неба. Процесс пикселизации неба - представление сферы в виде объединения соответствующих разрешению маленьких площадок --- пикселов (слово 'pixel' - picture element было использовано Фредериком Биллингсли (JPL) в 1965 г. для описания минимальных элементов видеоизображений Луны и Марса с космических аппаратов

[24]). Понятие "пиксел" включает координаты или номер элемента изображения, а также некоторые величины (измерения), соответствующие данной площадке: число зарегистрированных фотонов, температуру, цвет и т.п.

2. Пикселизация

Выбор той или иной схемы пикселизации зависит от особенностей решаемой задачи. Введение обычной пикселизации, используемой на ПЗС-матрицах, с одинаковыми по размеру квадратными пикселями, является сейчас достаточно простой (банальной) задачей, и в предельном, применяемом лишь для визуализации, случае такое разбиение сферы также может

быть использовано. При анализе пикселов в прямоугольной (цилиндрической) системе

координат на "развернутой" небесной сфере необходимо учитывать проекционные искажения и изменение площади пиксела в зависимости от удаленности от экватора.

2.1. Иерархическая треугольная сетка НТМ

Центральная проблема в гигантских (терабайтных) архивах наблюдательных данных - быстрый доступ к выбранному участку или объекту на небесной сфере. Наиболее яркий пример - открытая база данных оптического Слоановского обзора (Sloan Digital Sky Survey - SDSS, <http://www.sdss.org>), содержащая информацию о ~200 млн. небесных объектов (звезд, галактик, квазаров и др.) в пяти оптических цветах и предназначенная как для работы профессиональных астрономов, так и для образовательных целей. Для обеспечения Интернет-доступа к архиву был разработан сервер 'SkyServer', действующий в рамках специальной пикселизационной схемы: иерархической треугольной сетки (Hierarchical Triangular Mesh, <http://www.skyserver.org/html/>) [25]. Пикселизация НТМ основана на разбиении сферы на элементы сферического октаэдра (рис.1), где каждый сферический треугольник рекурсивно разбивается на меньшие треугольники (рис.2).

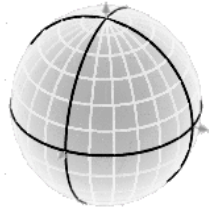


Рис.1.
Разбиение сферы в виде
октаэдра. Слева: октаэдр.
Справа: сферические
треугольники с вершинами
октаэдра.



Рис.2. Иерархическое разбиение треугольника с
ростом разрешения.

При первичном разбиении на базовые пиксели выделяется восемь пикселей одного размера, получаемых пересечением на сфере трех больших окружностей: экватора и двух меридианов, проходящих по долготам 0 и 90 град. Иерархическая схема начинает работать при следующем шаге улучшения разбиения: каждый пиксел делится на четыре приблизительно равных по площади сферических треугольника, названных трикселами. Трикселы образуются соединением середин трех сторон треугольника предыдущего уровня, задаваемыми дугами больших окружностей. Площади трикселов одного уровня иерархии различаются в рамках $\pm 70\%$ от средней площади, составляющей $2\pi/4^{d+1}$, где d - глубина уровня триксела (шаг рекурсивного разбиения). Для заданой глубины число трикселов составляет $N_{\text{pix}} = 8 \times 4^d$, длина минимальной стороны - $p/2^{d+1}$, длина максимальной больше минимальной в $\sim p/2$ раз.

Разбиение на трикселы является мощным средством индексации полей на картах и значительно ускоряет поиск небесных источников излучения в базах данных. Система индексации строится на основании базовых восьми трикселов (или трикселов нулевого уровня), обозначаемых соответственно для Севера (N) и Юга (S) как N0 - N3 и S0 — S3. Каждый триксел имеет три вершины, отмеченные номерами 0, 1 или 2. Середины противоположных отрезков отмечаются как 0, 1 и 2.

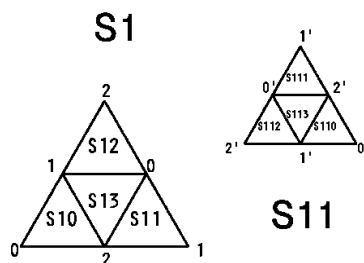


Рис.3. Образование имен трикселов с помощью нумерации углов.

На следующих уровнях номера трикселов образуются добавлением одной из цифр 0, 1 или 2, которые показывают вершину, разделяемую с родительским трикселом (рис.3). Центральный триксел отмечается цифрой 3. Получающаяся длина имени триксела также показывает уровень иерархии. В обозначение номера при таком разложении последовательно включаются

обозначение 0-ого уровня от 0 до 7, а потом номера (от 0 до 3) трикселов следующих уровней. Такая нумерация позволяет связать центр триксела с уникальным 64-битовым идентификатором, называемом HtmID и представляющим соответствующую иерархию. В этом представлении индексация работает до 31-го уровня. Для примера - 25-ый уровень дает разрешение до 60 см на Земле или 0.02 сек дуги на сфере. Отметим, что не каждому целому числу из данного диапазона соответствует какой-либо триксел. Также нет уникального триксела, соответствующего выбранной точке неба, т.к. одна точка сферы может принадлежать трикселам разной иерархии. Но каждому трикселу с индексом HtmID соответствует уникальная площадка на сфере.

2.2. Разбиение сферы в эксперименте COBE

В задачах, связанных с гармоническим разложением сигнала, применяются специальные схемы разбиения сферы. Актуальность проблемы пикселизации значительно возрасла с появлением данных космического эксперимента COBE (Cosmic Background Explorer, <http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/>). Команда COBE применила так называемую квадрилатерализованную (т.е. представленную в виде шести квадратов) небесную проекцию куба - QSC (Quadrilateralized Sky Cube) Projection. На рис.4 показан пример квадрилатерализованной проекции карты Земли.

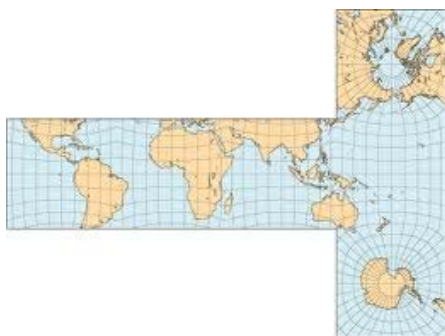


Рис.4. Квадрилатерализованная
Земли.

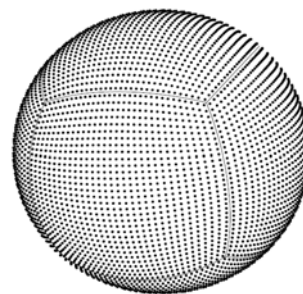


Рис.5. Пикселизация на основе проекция карты
куба (из работы [26]).

На основе такой проекции строится система пикселизации (рис.5):

1) В сферу вписывается куб, и стороны сферы, соответствующие граням куба, разбиваются на пикселы с помощью равномерной квадратной сетки. Пиксел представляет собой множество точек, ближайших к данному узлу сетки по сравнению с другими узлами.

2) В пикселах интегрируется излучение, регистрируемое в стягиваемых ими телесных углах.

3) Центры пикселов слегка смещены по окружности, чтобы сделать их приблизительно равными по площади.

В QSC-сетке пиксел будет приблизительно квадратным со стороной $\sim(4\pi/N)^{1/2}$, где N - количество пикселов.

Точки, наиболее удаленные от центров пикселов, лежат в углах этих квадратов, так что соответствующее расстояние $d_{\text{cube}} = \sim(2\pi/N)^{1/2}$. Для

минимизации величины d удобно перейти к пикселизации на основе платоновых тел, но с другой формой ячейки.

Уже при применении схемы разбиения неба на основе QSC-сетки стало понятно, что система пикселизации при анализе протяженного излучения на сфере существенно влияет на качество описания данных. Однако надо сразу отметить, что выбор схемы пикселизации хоть и важен, но все же не является финальным шагом анализа данных космического микроволнового фона. В этой задаче важную роль играет разложение измеренных анизотропии температуры и поляризации по сферическим гармоникам и анализ их спектра мощности. Однако некоторые схемы пикселизации могут очень точно описывать карту и в то же время быть неудобными для гармонического разложения. Это показывает, что выбор лучшей схемы пикселизации карт неба зависит от целей проводимого исследования.

Процедура построения карты проводится для выбранной пикселизации неба, свойства которой также обеспечивают и точность интегрирования при выполнении гармонического разложения сигнала. Проблема интегрирования на сфере обсуждалась еще в 70-е годы прошлого века (см. например работы [27-30]). Эта задача стала актуальной в астрофизике с появлением полных обзоров неба и необходимостью разложения по сферическим гармоникам протяженного сигнала. В настоящее время алгоритм пикселизации карт неба, а именно метод разбиения неба на участки, в которых по определенным правилам интегрируются наблюдательные данные, является одним из важных моментов в теории обработки реликтового излучения.

2.3. Современные сетки пикселизации для протяженного излучения

В данном разделе мы рассмотрим некоторые предложенные и/или реализованные схемы пикселизации карты неба для исследования протяженного излучения.

2.3.1. Пикселизация на основе икосаэдра

Рассматривая возможные схемы пикселизации, Макс Тегмарк [26] впервые задался вопросом, что следует понимать под *хорошей* схемой пикселизации карт неба. Он акцентировал внимание на двух критериях, которые можно применить при выборе правила расположения N точек (или центров пикселей) на сфере: 1) Необходимо минимизировать наибольшее расстояние d до ближайшего пикселя (например, угловых точек от центров пикселей в квадратной сетке); 2) сетка должна обеспечивать возможность точного интегрирования в узлах.

Выбор критерия минимума d приводит к выбору более предпочтительной формы пикселей, чем квадрат. Так, для ячеистой сетки, где пиксел шестиугольный, можно без труда вычислить, что $d_{\text{icosa}} \sim (8\pi/(3^{4/2}N))^{1/2}$, т.е. получается значение, которое приблизительно на 12% меньше, чем в случае квадратной сетки. Чтобы использовать это преимущество, необходимо заменить куб на сфере платоновым телом с треугольными гранями, например, тетраэдром, октаэдром или икосаэдром. Таким образом, выбор d задает не только разрешение и расположение пикселей, но и определяет их форму. Отметим, что одной из основных задач при построении сетки является

получение равных по площади пикселей. Это условие становится важным при решении задач свертки и интегрирования, так как равные веса позволяют использовать соответствующее одинаковое значение dW в подынтегральном выражении.

В случае применения квадрилатерализованной проекции, как в COBE, когда пикселы располагаются на прямоугольной сетке на гранях куба (в тангенциальной плоскости), число "растягиваний" увеличивается к краям граней. Как тангенциальная, так и радиальная проекции немного деформируют пикселы таким образом, что при удалении от центра исходной грани большее число пикселей на сфере отличается от тех, что были бы при равномерной сетке. В этом случае крайне желательно, чтобы грани были настолько малыми (и, следовательно, более плоскими), насколько это удастся сделать. Платоново тело с наименьшими гранями и, следовательно, наибольшим числом таких граней - икосаэдр, содержащий 20 треугольников (рис.7). Такое разбиение дает преимущество более чем в три раза по числу граней по сравнению с кубом, что, в свою очередь, приводит к улучшению качества вычислений из-за близости площадей пикселей. Кроме того, треугольники покрывают небо более равномерно (с меньшим искажением площади) [26] (рис.8).

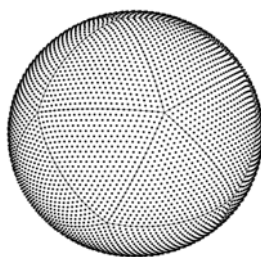


Рис.7. Схемы пикселизации на основе икосаэдра [26].

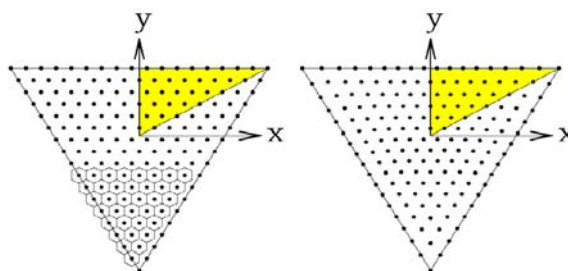


Рис.8. Регулярная треугольная сетка (слева) модифицируется таким образом, чтобы получить пикселы одинаковой площади. Пикселы имеют форму шестиугольника. Грань треугольного икосаэдра может быть симметрично разложена на 6 одинаковых правильных треугольников (на рис. один из них затушеван), а площадь выравнена для симметрии (справа).

При детальном рассмотрении рисунка, видно, как искажается положение центров пикселей (сдвиг к центру большого треугольника на правом рисунке по сравнению с левым; ср. также положение пикселей вдоль оси X) чтобы получить пикселы равной площади при проекции на сферу. Для построения сетки пикселизации на основе икосаэдра выбирается схема,

подобная используемой в эксперименте COBE: 1) в сферу вписывается икосаэдр, у которого, в свою очередь, грани разбиваются правильной треугольной сеткой; 2) точки (центры пикселов) наносятся на сферу в радиальной проекции; 3) точки слегка смещаются, чтобы сделать все пикселы приблизительно одинаковой площади.

Пикселизация на основе икосаэдра имеет преимущество перед квадрилатерализованной сеткой, так как обладает большим числом вращательных симметрий. Соответствующие матрицы вращения заранее могут быть внесены в программное обеспечение и в дальнейшем быстро вызываться при необходимости в процессе анализа данных.

2.3.2. Пикселизация Иглу

Критенден и Турок [31] предложили другой тип пикселизации, названной авторами Иглу (из-за схожести с жилищем эскимосов), в результате которой сфера разбивается на кольца (или ряды пикселов) с краями, лежащими на постоянной широте, и каждый ряд разбивается на одинаковые пикселы линиями постоянной долготы (Рис.9). Такие пикселы имеют приблизительно трапециевидную форму, становясь почти прямоугольными вдали от полюсов. Северная и южная полусферы разбиваются на пикселы одинаково. Среди преимущественных моментов Иглу можно отметить следующие: (1) разбиение очень простое, (2) разбиение, являясь азимутальным, позволяет легко сделать пикселы одинаковой площади, причем большинство из них будет практически квадратными; (3) самое большое преимущество - края пикселов задаются постоянными линиями в сферической полярной системе координат φ и f . Это позволяет проводить точные и быстрые интегральные вычисления сферических гармоник, используя значения пикселов, а также легко проводить моделирование и надежно восстанавливать угловой спектр мощности из реальных данных.

Для оценки качества предлагаемой схемы Иглу авторы [31] рассматривают три критерия:

* *Отсутствие искажения пикселов.* Введение сетки пикселизации подавляет пространственные гармоники короче, чем задаваемое пикселями разрешение. Чтобы минимизировать этот эффект надо сделать максимальное расстояние внутри пиксела (диагональ или диаметр) настолько малым, насколько это возможно. Идеальный, но недостижимый предел - иметь пикселы в форме круга. Тогда максимальный диаметр будет $D=4/(N_{tot})^{1/2}$, где N_{tot} - полное число пикселов на сфере. Для квадратных пикселов аналогичный размер будет $D=(8p/N_{tot})^{1/2}$, что на ~25% больше, чем в случае кругов. Авторы вводят понятие уровня искажения пиксела как отношение максимального диаметра к диаметру в идеальном (круговом) случае.

* *Пикселы одинаковой площади.* Выполнение этого критерия желательно, чтобы получить лучшее разрешение для фиксированного числа пикселов и, таким образом, в первом приближении иметь одинаковый статистический вес.

* *Построение иерархии.* Иерархическая схема пикселизации позволяет легко переходить к другому разрешению, что иногда бывает необходимо при

анализе данных. В пикселизации Иглу иерархию можно воспроизвести, точно вложив области с высоким разрешением в области с низким разрешением. В идеальном случае можно установить минимальный набор пикселей, имеющих минимальные искажения и приблизительно равные площади на каждом уровне.

Авторы [31] вводят четыре различных сетки в рамках подхода Иглу:

1) простейшее разбиение: по широте q и долготе f , которое можно построить в пикселизации Иглу - цилиндрическая сетка с равноудаленными узлами — ECP (Equidistant Cylindrical Projection).

При реализации схемы ECP пиксели около полюсов будут очень узкими.

2) Схема двенадцати пикселей (3:6:3), с разделением на пиксели равной площади. Разбиение по широте делается по координате $q = \pm 30^\circ$.

3) Схема двенадцати пикселей (3:6:3), с разделением на пиксели с равным шагом по широте.

4) Разбиение на 12116 базовых пикселей одинаковой площади. При разбиении на пиксели равной или почти равной площади приходится уменьшать число элементов в кольце при приближении к полюсу (рис.9).

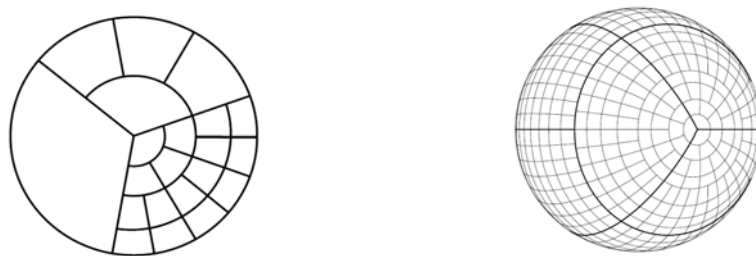


Рис.9. Иглу. Левый рисунок демонстрирует полярную шапку для случае разбиения типа Иглу, которое является иерархическим и дает маленькое искажения пиксела.

Это показано на правом рисунке с пикселизацией типа 3:6:3, где каждый из 12-ти базовых пикселей разбит на 64 пиксела равной площади.

Можно построить пикселизацию Иглу с равными шагами по широте подобно ECP или с пикселями равномерной площади. Преимущество разбиения с равным шагом по широте состоит в том, что пикселизация может быть проведена простейшим бинированием ECP-пикселизации, позволяющей строить сетку с заданным числом пикселей. Кроме того, позволяя площади пикселей меняться, их можно делать менее искаженными. Пикселизация с равными площадями не будет иметь сетку с точно расставленными узлами по широте, но у нее будет другое преимущество, состоящее в том, все пиксели будут иметь одинаковый статистический вес.

Пикселизация Иглу также может быть иерархической. Чтобы ее такой сделать, необходимо сначала построить на сфере сетку базовых пикселей с относительно небольшим их числом. Сетка должна быть оптимизирована так, чтобы искажение пикселей было минимальным. Потом каждый из больших (базовых) пикселей делится на четыре с помощью сечений по долготе и широте. Разбиение по широте выбирается так, чтобы сохранить у пикселей равные площади или оставить постоянный шаг по широте между рядами. Таким образом организуются более мелкие пиксели с общим увеличением их

числа в четыре раза. Процедура повторяется до достижения требуемого разрешения. Уменьшение числа пикселей приводит к увеличению уровня пиксельного искажения, так что приходится выбирать компромисное решение. Несмотря на явные преимущества применения нескольких базовых пикселей, остается сложным местом вычисление их весов по сравнению с равномерной сеткой. Иерархическое разбиение приводит к тому, что некоторые из субпикселей становятся более искаженными, чем на уровне более низкого разрешения. Такое происходит около полюсов. При удалении от полюсов искажения уменьшаются. Если полярную шапку просто делить по \square и \bowtie сечениям, пиксели будут становиться все более и более искаженными, как и в случае пикселизации ECP. Для стандартной пикселизации Иглу авторы [31] выбрали сетку с исходным разбиением полярных шапок на три треугольных (клиновидных) грани. При разбиении с более высоким разрешением клин разбивается на четыре части: один центральный клин и три окружающих области (Рис.9). Процесс разбиения является итерационным.

2.3.3. Пикселизация HEALPix

Фактически первой схемой пикселизации, сопровождаемой развитым программным обеспечением, стала HEALPix (Hierarchical Equal Area isoLatitude Pixelisation, <http://healpix.jpl.nasa.gov>) - иерархическая сетка пикселизации с равными площадями и положениями пикселей одного ряда на одной широте [32]. Авторы определили основные требования к математической структуре дискретной сетки на полном небе и объединили их в трех пунктах:

1) *Иерархическая структура базы данных.* Такое требование является необходимым для очень больших баз данных и также постулировалось для квадрилатерализованного сферического куба. Простой аргумент, говорящий в пользу этого требования, заключается в том, что все элементы данных из прилежащего многомерного пространства (здесь поверхность сферы) являются также соседними в древовидной структуре базы данных. Это свойство облегчает применение различных топологических методов при анализе и позволяет легко конструировать вейвлет-преобразования на треугольных и квадратных сетках с быстрым выбором соседних пикселей.

2) *Равные площади дискретных элементов разбиения.* Это требование является очень полезным, так как белый шум на выборочной частоте инструмента при интегрировании точно приводит к белому шуму в пиксельном пространстве, а регистрируемый сигнал записывается без зависимости от размера пикселя. Здесь, конечно, серьезное внимание нужно также уделить тому, чтобы выбрать пиксели достаточно маленького размера по сравнению с исходным инструментальным разрешением и поэтому избежать чрезмерного сглаживания сигнала и зависимости от формы пикселя.

3) *Распределение пикселей одного ряда на сфере вдоль одной широты.* Это свойство существенно для получения высокой скорости вычислений во всех операциях выполнения расчетов сферических гармоник. Так как присоединенные полиномы Лежандра рассчитываются в результате

медленных рекурсий, отклонение узлов сетки от одной широты приведет в результате к большим потерям времени с ростом числа обрабатываемых точек.

На основе этих требований к сетке для анализа карт микроволнового фона на сфере было предложено разбиение (рис.10).

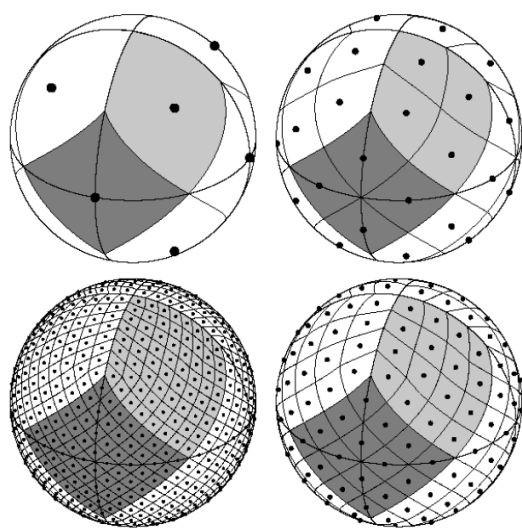


Рис.10. Ортографический вид разбиения HEALPix на сфере. Наложенные экваторы и меридианы иллюстрируют восьмигранную симметрию HEALPix. Самое низкое разрешение соответствует 12 базовым пикселям. Сфера иерархически мозаично разбита на криволинейные четырехугольники. Светло-серым цветом отмечен один из восьми (по четыре на юге и севере) идентичных полярных базовых пикселей. Темно-серым цветом показан один из четырех одинаковых экваториальных базовых пикселей. Разрешение мозаики возрастает при делении каждого пикселя на 4 новых. Рисунок демонстрирует (по часовой

стрелке от положения сверху—слева к положению снизу-слева) увеличение разрешения за три шага от базового уровня. Разрешение характеризуется параметром N_{side} (здесь равным 1, 2, 4, 8), который определяет полное число пикселей на $N_{pix} = 12N_{side}^2$, т.е. сфера в данном примере разбивается соответственно на 12, 48, 192, и 768 пикселей. Площади всех пикселей с выбранным разрешением одинаковые. Пиксели расположены на линиях постоянной широты, что важно для гармонического анализа с вычислением сферических гармоник. Рис. воспроизведен из работы [32].

Базовое разрешение в HEALPix задается двенадцатью пикселями (или гранями) на трех кольцах вокруг полюсов и экватора. Следующий уровень иерархии формируется из предыдущего разбиением каждого пикселя предыдущего уровня на четыре равных пикселя. Таким образом, разрешение определяется параметром N_{side} (Рис.10), который задает число разбиений базового пикселя. Этот параметр применяется для выбора требуемого разрешения карты, обусловленного, например, диаграммой направленности антенны

Все кольца одинаковой широты расположены между верхними и нижними углами экваториальных граней (т.е. $-2/3 < \cos q < 2/3$) или в экваториальной зоне. После деления на одинаковое число пикселей получаем $N_{eq} = 4N_{side}$. Оставшиеся кольца расположены внутри областей полярных шапок ($|\cos q| > 2/3$) и содержат переменное число пикселей, возрастающее от кольца к кольцу с увеличением расстояния от полюса на один пиксел в каждом квадрате.

Таким образом, карта с пикселизацией HEALPix имеет $N_{pix} = 12N_{side}^2$ пикселей одной площади $W_{pix} = p/(3N_{side}^2)$. Программное обеспечение для пикселизации HEALPix включает программы и библиотеки. Оно содержит

процедуры гармонического разложения на сфере для карт анизотропии температуры и поляризации.

2.3.4. Пикселизация GLESP

Все, что обсуждалось ранее в связи с пикселизацией, было в основном посвящено выбору оптимальной формы пикселей или заполнения сферы, а вопрос о точности вычисления интегралов гармонического анализа ставился после выбора схемы пикселизации. Напомним однако, что пикселизация данных СМВ на сфере является лишь частью основной проблемы, состоящей в определении коэффициентов a_{lm} разложения сигнала СМВ на сферические гармоники (см. также [33]).

2.3.4.1. Схема пикселизации

Коэффициенты a_{lm} вычисляются с помощью стандартного разложения карты анизотропии температуры $\Delta T(q, f)$ по сферическим гармоникам

$$\Delta T(\theta, \phi) = \sum_{\ell=2}^{\infty} \sum_{m=-\ell}^{m=\ell} a_{\ell m} Y_{\ell m}(\theta, \phi)$$

$$Y_{\ell m}(\theta, \phi) = \sqrt{\frac{(2\ell + 1)(\ell - m)!}{4\pi(\ell + m)!}} P_{\ell}^m(x) e^{im\phi}, \quad x = \cos \theta$$

где $P_{\ell}^m(x)$ - присоединенные полиномы Лежандра, ℓ — номер сферической гармоники (мультиполя), m --- номер моды мультиполя. Для непрерывной функции $\Delta T(x, f)$ коэффициенты разложения a_{lm} вычисляются следующим образом:

$$a_{\ell m} = \int_{-1}^1 dx \int_0^{2\pi} d\phi \Delta T(x, \phi) Y_{\ell m}^*(x, \phi),$$

где $Y_{\ell m}^*$ обозначает комплексное сопряжение $Y_{\ell m}$. Несколько более сложная схема используется при анализе поляризации СМВ.

В 2003 г. была предложена схема пикселизации GLESP, ориентированная прежде всего на гармонический анализ [34,35]. В этом случае первостепенное значение уделяется именно точности вычисления интеграла в последнем уравнении, связанного с координатой q . Используя этот момент как отправной пункт к построению сетки, можно изменить подход к проблеме обработки данных на сфере, который, в частности, определяет и схему пикселизации. Для точного вычисления интеграла при расчете a_{lm} удобно использовать метод Гауссовых квадратур, предложенный Гауссом еще в 1814 г. и развитый Кристоффелем в 1877г. Основная идея метода состоит в том, чтобы при интегрировании по x в формуле использовать весовые функции $w(x)$ для достижения точного равенства:

$$\int_{-1}^1 dx \Delta T(x, \phi) Y_{\ell, m}^*(x, \phi) = \sum_{j=1}^N w_j \Delta T(x_j, \phi) Y_{\ell, m}^*(x_j, \phi)$$

где N - максимальный ранг полинома Лежандра. Здесь и весовая функция $w_j = w(x_j)$, и функция $DT(x_j, q) Y_{lm}^*(x_j, q)$ должны браться в корнях сетки $P_N(x_j) = 0$. Известно, что уравнение $P_N(x_j) = 0$ имеет точно N нулей в интервале $-1 < x < 1$. Для метода Гаусса—Лежандра весовые коэффициенты даются формулой [36]:

$$w_j = \frac{2}{1 - x_j^2} [P'_N(x_j)]^{-2}$$

и могут быть заранее вычислены совместно с набором x_j . Применение подобного метода вычисления интеграла, основанного на квадратуре Гаусса, позволяет без итераций проводить расчеты, связанные с преобразованием сигнала, с точностью, ограниченной лишь машинным представлением плавающих чисел. Такое решение задачи гармонического разложения карт анизотропии температуры и поляризации является наиболее эффективным с точки зрения минимизации вычислительных ошибок по сравнению с другими имеющимися подходами. Такую сетку пикселизации, когда центры пикселей совпадают с узлами в квадратуре Гаусса-Лежандра, а пиксели имеют квазиравные площади, мы называем пикселизацией неба по методу Гаусса-Лежандра или GLESP (Gauss--Legendre Sky Pixelization, <http://www.glesp.nbi.dk>) [34]. Данные СМВ имеют некоторый предел разрешения и, следовательно, верхний предел суммирования по l в уравнении вычисления интеграла, $l < l_{\max}$, где l_{\max} --- максимальный мультиполь, принятый при обработке данных на сфере. Это означает, что, при построении сетки нулей в точках x_j и весов w_j ($j=1, 2, \dots, N$) можно использовать $N = N_{\max}$, где N_{\max} связана с l_{\max} .

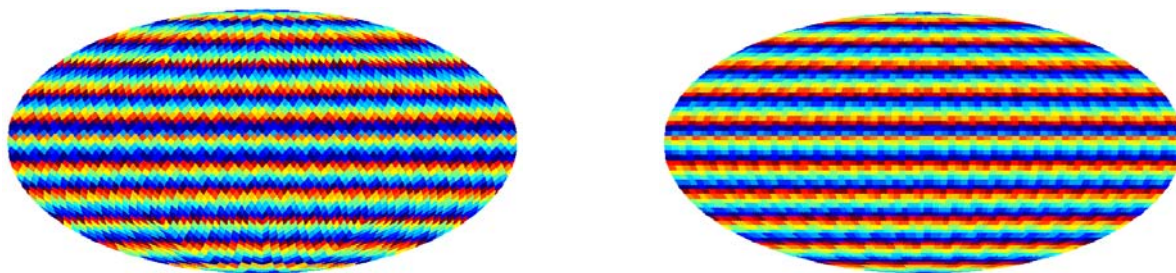


Рис. 11. Два типа пикселизации на сфере: пиксели в молвейде-проекции HEALPix (слева) и GLESP (справа).

Угловое разрешение, достигаемое при измерении данных СМВ, определяет верхний предел суммирования в уравнении интеграла. Чтобы избежать ограничений Найквиста, мы используем число колец пикселей, равное $N > 2l_{\max}$. На рис. 11 сравнивается форма пикселей и их распределение на сфере в эллиптической проекции для HEALPix и GLESP. Следуя предыдущим рассуждениям, мы определяем новую схему пикселизации GLESP следующими пунктами: 1) В полярном направлении $x = \cos q$ мы задаем набор x_j , $j=1, 2, \dots, N$ как сетку корней уравнения. 2) Каждый корень x_j определяет положение кольца с N_j центрами пикселей с f -координатами f_i .

3) Все пиксели имеют почти равные площади. 4) Каждый пиксел имеет заданный вес w_j .

Мы рассмотрели несколько схем пикселизации на сфере, предложенных для анализа протяженного излучения. Две из них: иерархическая HEALPix и иерархическая GLESP — распространяются с сопровождающим программным обеспечением. В настоящее время использование того либо другого типа пикселизации является делом вкуса и предпочтением в предоставляемых пользовательских функциях пакета программ. Скорость вычисления на современных ноутбуках в обоих пакетах не показывает существенной разности (например, разложение карты по мультиполям или ее восстановление из сферических гармоник занимает несколько секунд для мультиполей вплоть до $l_{\max}=2000$). Последние версии HEALPix при четырех вычислительных итерациях имеют приблизительно такую же точность как GLESP. Оба подхода могут быть использованы для анализа поляризации излучения.

Следующий этап после построения карты - выделение сигнала реликтового фона. Измеряемый в эксперименте сигнал содержит, помимо РИ, вклады галактических фоновых компонент и галактических и внегалактических радиоисточников, что можно условно расписать как

$$\text{Сигнал} = (\text{РИ} + \text{галактические компоненты} + \text{источники}) * \text{ДН} + \text{Шум},$$
где символ '*' обозначает операцию свертки, описывающую интегрирование под скользящим пересечением двух функций; галактические компоненты - сумма синхротронного, свободно-свободного излучения, излучения пыли и молекулярного газа, ДН - диаграмма направленности антенны радиотелескопа. При построении алгоритмов выделения реликтового фона из многочастотных данных, используют два свойства РИ: 1) независимость от частоты (признак излучения абсолютно черного тела), что отличает его от других фоновых компонент и 2) отсутствие корреляции со всеми фоновыми излучениями, как должно быть, так как РИ - случайный процесс.

С учетом этих свойств и многочастотных наблюдений можно восстановить распределение сигнала на всей небесной сфере. Один из методов построения полной карты анизотропии температуры РИ представляет собой комбинацию наблюдательных данных на разных частотах с домножением на некоторые коэффициенты, которые позволяют в результате удалить галактический сигнал и тем самым выделить микроволновый реликтовый фон. Другой способ выделения РИ - оценка вклада всех компонент мешающего фонового излучения Галактик, зависимость от частоты которых мы знаем из лабораторных измерений. После разделения компонент выделяется карта космического микроволнового фонового излучения. Исследование ее статистических свойств, таких как угловой спектр мощности, позволяет определить своевременную космологическую модель, описывающую глобальные свойства Вселенной.

3. Космология

Угловой спектр мощности $C(l)$ СМВ вычисляется для сигнала реликтового излучения, очищенного от фона. Он рассчитывается по данным

разложения карты на сферические гармоники с учетом их вклада в карту, описываемого коэффициентами $a_{\ell m}$. Спектр мощности определяется взвешенной суммой квадратов амплитуд мод гармоник для заданного номера ℓ , описываемых коэффициентами $a_{\ell m}$. Как мы помним, эти коэффициенты вычисляются при разложении карт по мультиполям и показывают вклад гармоник в анализируемую карту.

Угловой спектр мощности $C(\ell)$ вычисляется по формуле

$$C(\ell) = \frac{1}{2\ell + 1} \left[|a_{\ell 0}|^2 + 2 \sum_{m=1}^{\ell} |a_{\ell m}|^2 \right]$$

Здесь необходимо также сказать, что мы наблюдаем $C(\ell)$ на *нашем* небе. Если поместить наблюдателя в другую точку нашей Вселенной, $C(\ell)$ будет слегка отличаться. Настоящий спектр $C(\ell)$ можно оценить, осреднив данные всех наблюдателей, что аналогично осреднению по ансамблю допустимых Вселенных. Присутствие шума в наблюдательных данных также не дает возможности получить истинные значения коэффициентов $a_{\ell m}$ при разложении по мультиполям. Но даже если бы у нас имелись идеальные данные, то для низких мультиполей ℓ мы могли бы измерить только $(2\ell+1)$ мод. Это приводит к внутренним невязкам (разбросу значений) при определении спектра, называемым космической (лучше сказать, космологической) вариацией. Напомним, что форма спектра мощности обусловлена влиянием большого набора процессов на ранних этапах эволюции Вселенной, генерирующих анизотропию реликтового излучения в период рекомбинации водорода и связанных с возмущениями плотности, скорости и метрики, эволюционирующих в режиме звуковых волн. Амплитуда возмущений реликтового излучения (РИ) после рекомбинации модулируется звуковыми волнами в плазме на фазе до рекомбинации в точном соответствии с предсказанным А.Д. Сахаровым [37] эффектом барионных осцилляций. Характеристикой анизотропии РИ, обусловленной Сахаровскими осцилляциями, и является спектр мощности флуктуаций в пространстве мультиполей. Таким образом, условия формирования флуктуаций СМВ, а, следовательно, и определяющие их космологические параметры, ``впечатаны'' в спектр мощности этого излучения и фактически определили современное состояние Вселенной. Для измерения космологических параметров, в первую очередь, необходимо построить карту РИ, и на основе вычисленных данных построить угловой спектр мощности. Основная карта РИ миссии Планка и соответствующий угловой спектр мощности $C(\ell)$ показаны на рис.12.

Как для данных предыдущей космической миссии - WMAP, при аппроксимации углового спектра мощности, измеренного спутником Planck, применялась модель, описываемая шестью основными космологическими параметрами [13,14] (так называемая модель Λ CDM — с доминирующими темной энергией и холодной темной материей). Среди основных параметров - угловой размер горизонта на момент рекомбинации.

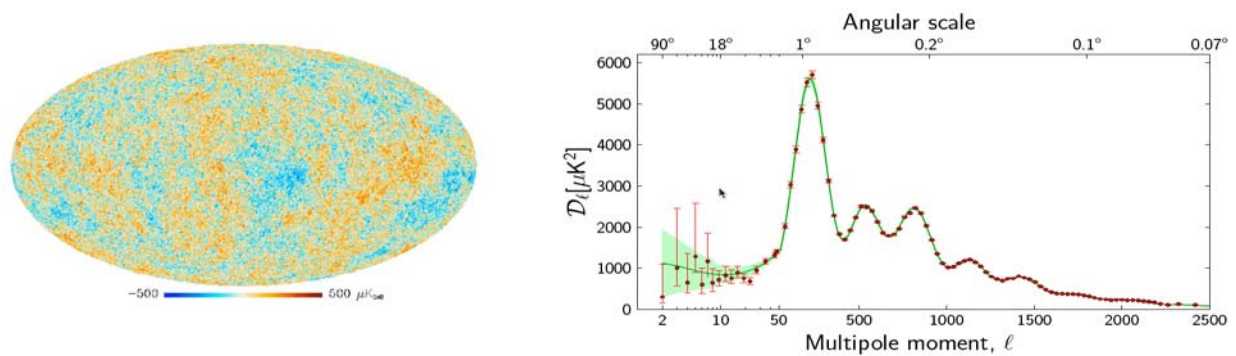


Рис. 12. Карта реликтового излучения по данным Планка (слева) и угловой спектр мощности (справа). Космическая вариация (или космическая неопределенность) в спектре мощности отмечена зеленым фоном.

Его величина оценивается по положению пиков в угловом спектре мощности, обозначается $100q^*$ и равна $1.04122^\circ \pm 0.00045^\circ$. Другой определяемый параметр - амплитуда первичных возмущений. Параметр обозначается A_s , а соответствующее принятое стандартное значение берется в виде натурального логарифма: $\ln(10^{10}A_s) = 3.062 \pm 0.029$. Следующий определяемый космологический параметр - скалярный спектральный индекс. В простейшем случае предполагается, что у первичных возмущений плотности разных размеров величина амплитуды одинаковая, но на самом деле имеется некоторый наклон, который измеряется спектральным индексом $n_s = 0.9677 \pm 0.0060$. Еще два параметра - плотности барионной (видимой) и темной материи. Их значения берутся по отношению к критической плотности и равны соответственно $W_b = 0.049\%$ и $W_{CDM} = 0.259\%$, а их сумма - плотность материи $W_m = 0.308\%$.

И, наконец, эпоха (время) вторичной ионизации, когда нейтральный газ во Вселенной стал ионизованным за счет ультрафиолетового излучения первых звезд и активных ядер галактик. Этой эпохе соответствует красное смещение $z_{re} = 8.8$, что говорит о времени появления первых звезд в эпоху, когда Вселенной было 570 млн. лет. Вместо последнего параметра z_{re} в расчетах используют другую, но полностью соответствующую ему величину - оптическую толщину t в эпоху реионизации (по данным Планка $t = 0.066 \pm 0.016$), которая характеризует уровень взаимодействия фотонов РИ и электронов. Чем больше оптическая толщина, тем сильнее "размазываются" флуктуации и амплитуда пиков в спектре мощности падает. Измеренные параметры позволяют зафиксировать космологическую модель и определить остальные параметры как с использованием только данных Планка, так и с применением данных других экспериментов в согласованных оценках. Среди остальных параметров отметим плотность темной энергии $W_L = 0.692 \pm 0.012$, величина которой связана и с размером q^* , и с прохождением фотонов РИ сквозь формирующиеся скопления галактик за космологическое время (где меняется энергия пролетающего фотона за счет эффект Сакса-Вольфа). Другим важным параметром является параметр расширения Хаббла в настоящую эпоху - постоянная Хаббла, равная по данным Планка $H_0 = 67.81 \pm 0.92$ км/с/Мпк. С параметром Хаббла связан и возраст Вселенной

$t_0=13.799\pm 0.038$ млрд. лет, который в простейшем случае можно представить, если считать параметр Хаббла постоянной (а это не так) как обратную величину: $1/H_0$. Знание оптической толщи, которая определяет свойства среды и связана с плотностью материи, а также применение данных о гравитационном линзировании фиксирует дисперсию спектра мощности распределения вещества. Эта величина описывается параметром $s_8=0.823\pm 0.018$, характеризующим сгущение материи в кубе радиусом 8 Мпк. Еще один параметр плотности - $W_K=1-W_0$, описывающий кривизну Вселенной, связан с суммарной плотностью всех компонент энергии W_0 , объединяющей W_L , W_{CDM} , W_b , плотности излучения и нейтрино, и с размером характерных пятен РИ на момент рекомбинации q^* . Используя только данные РИ, куда входят и измерения WMAP и учитывается линзирование, имеем оценку кривизны: $W_K=0.001\pm 0.0019$, а с учетом данных оптических обзоров - на порядок меньше. Это является признаком того, что наша Вселенная с высокой точностью плоская (т.е. сумма углов любого треугольника, построенного на больших масштабах равна 180°), что в свою очередь говорит в пользу теории инфляционного расширения. Отметим еще пять параметров, два из которых связаны с нейтрино. Обнаружение осцилляций солнечных нейтрино - признак того, что они имеют массу и соответственно влияют на процессы формирования крупномасштабной структуры, в которой наблюдаются последствия барионных осцилляций, что проявляется и в распределении РИ. Но влияние нейтрино может быть компенсировано действием параметров W_L и, как следствие, H_0 . Это немного ограничивает применение методики, но все же позволяет получить оценку верхней границы суммарной массы разных типов нейтрино (обозначается как Sn_i): только по данным РИ (включая WMAP) имеем $Sn_i < 0.715$ эВ, а по данным РИ и крупномасштабной структуры - $Sn_i < 0.194$ эВ. Кроме фотонов, плотность излучения Вселенной еще связывается с эффективным числом типов нейтрино (обозначается N_{eff}). Эта величина также, как и масса нейтрино, зависит от разнообразия используемых данных. По данным крупномасштабной структуры и РИ Планка получено значение $N_{eff}=3.04\pm 0.33$. Эта величина согласуется со стандартной величиной из данных по нуклеосинтезу Большого Взрыва, где $N_{eff}=3.046$. Дробность числа типов нейтрино не должна смущать, так как это лишь положение точки максимума на функции правдоподобия (при использовании нужно округлять). По данным РИ Planck определил также долю барионов в первичном гелии, равную $Y_p=0.249\pm 0.026$, наложил верхнюю границу на уровень возмущений пространства за счет гравитационных волн во время Большого Взрыва (это так называемое отношение тензорной моды возмущений к скалярной; без данных по поляризации Планка есть только верхняя граница $r_{0.002}<0.113$, так что выводы о величине параметра делать рано), а также показал, что, если рассматривать темную энергию как динамическое поле (которое обозначается параметром w в уравнении состояния и называется квинтэссенцией), то данные Планка не демонстрируют факт его существования. В последнем случае — для

динамического поля - параметр w должен отличаться от -1 , но пока его установленное значение равно $w = -1.019 \pm 0.080$.

Миссия Planck дала возможность заглянуть и в первые мгновения существования нашего Мира - в эпоху космической инфляции - очень быстрого (экспоненциального) расширения Вселенной. Эта модель объясняет и одинаковость законов Природы в разных концах наблюдаемой Вселенной, и отсутствие кривизны на больших масштабах, а также связывает первичные квантовые флуктуации плотности с наблюдаемой крупномасштабной структурой Вселенной. Одним из признаков инфляции является однородность флуктуаций РИ (точнее говоря, гауссово распределение их амплитуд). Исследованию этого факта также уделено много внимания в работе Планка. В частности, оценен уровень отклонений первичных возмущений от гауссовости. Уровень очень низкий, как и ожидается при действии инфляционного механизма. Другое проявление инфляции - существование гравитационных волн в период быстрого расширения, амплитуду которых можно измерить по данным поляризации РИ. Были проверены также геометрические и топологическим свойствам Вселенной, которые можно было бы увидеть в распределении реликтового фона. Используя наблюдательные данные и моделирование сигнала РИ в разных топологических многосвязных пространственно-временных Вселенных, авторы работы закрыли многосвязные модели Вселенной с плоской, гиперболической и сферической геометрией. Кроме того, было показано, что данные Планка не позволяют достоверно сказать о корреляциях, которые бы присутствовали в случае нетривиальных топологий, вроде Вселенной в виде додекаэдра или кубического тора. С высокой степенью значимости отсутствуют топологические дефекты в виде космических струн - очень массивных, чрезвычайно протяженных и практически предельно тонких образований, которые могли бы сохраниться с эпохи Большого Взрыва. На существование этих объектов наложено сильное ограничение по данным РИ Планка.

Подводя итог, скажу, что тип космологической модели - Λ CDM, практически совпадающей по параметрам с измерениями в других космологических экспериментах, твердо установлен. Это является прекрасным результатом. Множественные измерения эффекта Сюняева--Зельдовича, построение карты молекулярного газа Галактики и другие важные результаты открыли новые возможности в астрофизике. Аномалии на карте РИ все еще нуждаются в убедительном объяснении. Но уже полученные результаты помогают продвинуться по пути познания Вселенной. Математические методы, благодаря которым получены упомянутые выдающиеся результаты, в частности, связанные и с построением карты на полной сфере, и с исследованиям систем пикселизации, продолжают развиваться и открывать новые рубежи нашего Мира в разных областях знания.

Работа по данной теме поддержана грантом РФФИ № 13-02-00027.

Литература

1. Bennett C.L., et al., ApJS 148, 1 (2003), astro-ph/0302207.
2. Jarosik N., et al., ApJS 192, 14 (2011), arXiv:1001.4744.
3. Planck Collaboration: Ade P.A.R., et al., Astron. Astrophys. 571, A1 (2014), arXiv:1303.5062.
4. Hinshaw G., et al., ApJS 170, 288 (2007), astro-ph/0603451.
5. Tegmark M., de Oliveira-Costa A., Hamilton A., Phys.Rev.D 68, 123523 (2003).
6. Leach S. M., et al., on. Astrophys. 491, 597 (2008), arXiv:0805.0269.
7. Stolyarov V., Hobson M.P., Ashdown M.A.J., Lasenby A.N., MNRAS 336, 97 (2002).
8. Doroshkevich A.G., Verkhodanov O.V. Phys.Rev.D 83, 043002 (2011), arxiv:1008.4094.
9. Chiang L.-Y., Naselsky P.D., Verkhodanov O.V., Way M.J. ApJ 590, L65 (2003), astro-ph/0303643
10. Naselsky P.D., Doroshkevich A.G., Verkhodanov O.V. ApJ 599, L53 (2003), astro-ph/0310542.
11. Coles P., Dineen P., Earl J., Wright D. MNRAS 350, 989 (2004).
12. Верходанов О.В. Успехи физических наук 182, 1177 (2012).
13. Hinshaw G., et al., ApJS 208, 19 (2013).
14. Planck Collaboration: Ade P.A.R., et al., Planck 2015 results. XIII. Cosmological parameters (2015), arXiv:1502.01589.
15. Pacias W.S., et al. ApJS 122, 465 (1999), astro-ph/9903205.
16. Voges W., et al. Astron. Astrophys. 349, 389 (1999), astro-ph/9909315.
17. Abazajian K., et al., AJ 126, 2081 (2003).
18. Beichman C.A. et al., Infrared astronomical satellite (IRAS) catalogs and atlases, V.1: Explanatory supplement (1988).
19. Cutri R. M., et al., Explanatory Supplement to the 2MASS Second Incremental Data Release (2002).
20. Guzman A.E., May J., Alvarez H., Maeda K. Astron.Astrophys. 525, A138 (2011).
21. Condon J. J., et al. Astron. J. 115, 1693 (1998).
22. Abbasi R., et al. Phys. Rev. D 82, 072003 (2010).
23. Boser S. [for the IceCube Collaboration] (2012), arXiv:1205.6405.
24. Lyon R.F. A brief history of 'pixel' IS&T/SPIE Symposium on Electronic Imaging (2006).
25. Kunszt P.Z. et al., ESO Astrophys. Symp., 631 (2001) Springer-Verlag.
26. Tegmark M., ApJ 470, L81 (1996).
27. Stroud A.H. Approximate Calculation of Multiple Integrals (Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1971).
28. Sobolev S.L. Introduction to the theory of cubature formulae (Moscow: NAUKA, 1974).
29. Mysovskikh I.P. In "Quantitative Approximation" eds. R. A. Devore & K. Scherer (New York: Academic Press, 1976).
30. Konjaev S.I. Mat. Zametki 25, 629 (1979).
31. Crittenden R.G., Turok N.G. Exactly Azimuthal Pixelizations of the Sky, Report-no: DAMTP-1998-78 (1998), astro-ph/9806374.
32. Gorski K.M., et al. ApJ 622, 759 (2005).
33. Верходанов О.В., Дорошкевич А.Г. Успехи физических наук 183, 849 (2013).
34. Doroshkevich A.G., et al., Int.J.Mod.Phys. D 14, 275 (2005), astro-ph/0305537.
35. Doroshkevich A.G., et al., Int.J.Mod.Phys. D 20, 1053 (2011), arXiv:0904.2517.
36. Press W.H., et al., Numerical Recipes in FORTRAN, Second Edition (Cambridge University Press, 1992).
37. Сахаров А.Д. ЖЭТФ 49, 345 (1965).

К ВОПРОСУ ОБ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ПРЕДПОСЫЛКАХ ПРОЦЕССОВ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

В.В. Власюк

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук
Нижний Архыз, Карачаево-Черкесская республика, Россия*

E-mail: vvlas@sao.ru

Реальность самого процесса глобального потепления на планете Земля давно не вызывает никаких сомнений. Современные данные метеорологических наблюдений уверенно свидетельствуют о том, что за последние 100 лет средняя температура поверхности Земли выросла на 0,74 °С, причем темпы ее роста постепенно увеличиваются: примерно две трети потепления имели место после 1980 года, а каждое из последних трех десятилетий было теплее предыдущего [1].

Несмотря на очевидность идущего процесса, у специалистов пока не сложилось единого мнения как в оценке вкладов различных факторов в этом явлении, так и по сценариям климатических изменений в будущем.

По прогнозам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) – наиболее авторитетной международной организации в области климата – в ближайшие 20 лет рост температуры составит в среднем 0,2 °С за десятилетие, а к концу 21 века температура Земли может повыситься от 1,8 до 4,6 °С. Такой разброс в оценках связан с использованием целого комплекса моделей будущего климата, в которых учитывались различные сценарии развития мировой экономики и общества. В своем Пятом докладе МГЭИК указала, что «Антропогенное воздействие отмечено в потеплении атмосферы и океана, в изменении глобального водного цикла, в уменьшении снежного покрова и льда, в росте среднего уровня моря, а также в изменении числа экстремальных погодных явлений. После Четвертого оценочного доклада получены дополнительные доказательства антропогенного воздействия. Очень вероятно (95-100%), что человеческая деятельность является основной причиной наблюдающегося потепления, начиная с середины 20-го столетия» [2].

В рамках моделей, развиваемых МГЭИК, изменение климата и его последствия в разных регионах мира будут различными. Так, результатами роста глобальной температуры станут уровень моря, изменение количества и характера осадков, рост пустынь. Потепление сильнее всего проявится в Арктике, оно приведет к дальнейшему отступлению ледников, вечной мерзлоты и морских льдов. К другим последствиям потепления относятся: увеличение частоты экстремальных погодных явлений, включая волны жары, засухи и ливни; окисление океана; вымирание биологических видов из-за изменения температурного режима. К важным для человечества последствиям

относится угроза продовольственной безопасности из-за негативного влияния на урожайность (особенно в Азии и Африке) и потеря мест обитания людей из-за роста уровня моря [3].

Но все же следует отметить, что, несмотря на популярность таких вариантов развития климата на Земле, существуют и альтернативные точки зрения, в которых большая роль отводится неантропогенным факторам. Среди них - вариации так называемой «солнечной постоянной» - количества солнечной энергии, получаемой на внешней границе атмосферы Земли в расчете на 1 кв.м. поверхности. Первым разработал теорию влияния астрономических факторов на земной климат сербский астрофизик Миланкович, связавший периодичность появления ледниковых периодов с вариациями среднегодовой мощности солнечного излучения из-за циклических изменений орбитальных параметров движения Земли[4]. Следует отметить, что новейшие данные по вариациям температуры и содержания парниковых газов в атмосфере, полученные из анализа материала глубоких скважин в Антарктиде[5], также хорошо укладываются в рамки теории Миланковича.

Российский ученый Х.И. Абдусаматов обратил внимание на гораздо менее значительные вариации температур – в пределах до 1.5-2 °С – на так называемый «малые ледниковые периоды» с периодом порядка 200 ± 70 лет [6]. Как считает автор, их причина заключается в переменности собственно солнечного излучения.

Светимость Солнца и его спектр изменяются на временных интервалах от нескольких лет до тысячелетий. Эти изменения имеют периодические составляющие, наиболее выраженной из которых является 11 - летний цикл солнечной активности (цикл Швабе). Изменения также включают в себя аperiodические колебания. В последние десятилетия (с 1978 года) солнечная активность измеряется с помощью космических аппаратов, для более ранних периодов она рассчитывается с использованием косвенных индикаторов.

На рис.1 приведены данные о значениях солнечной постоянной в 1979-2014 гг, полученные рядом космических миссий [7]. Из него хорошо видно, что на фоне циклических вариаций с периодом 11 лет просматривается общий тренд к снижению этой величины на всем изучаемом интервале времени. Реконструкция данных по солнечной постоянной, основанная на данных о количестве солнечных пятен привела Х.И. Абдусаматова к выводу о наличии квазидвухвековой переменности солнечного излучения с амплитудой в 0.5% [8]. Основное расхождение автора и большинства его оппонентов - в оценке возможного эффекта такого изменения поступающей солнечной энергии на глобальный климат Земли. Он считает, что наша планета стоит на пороге нового «малого ледникового периода», а все антропогенные факторы позволят смягчить его проявления.

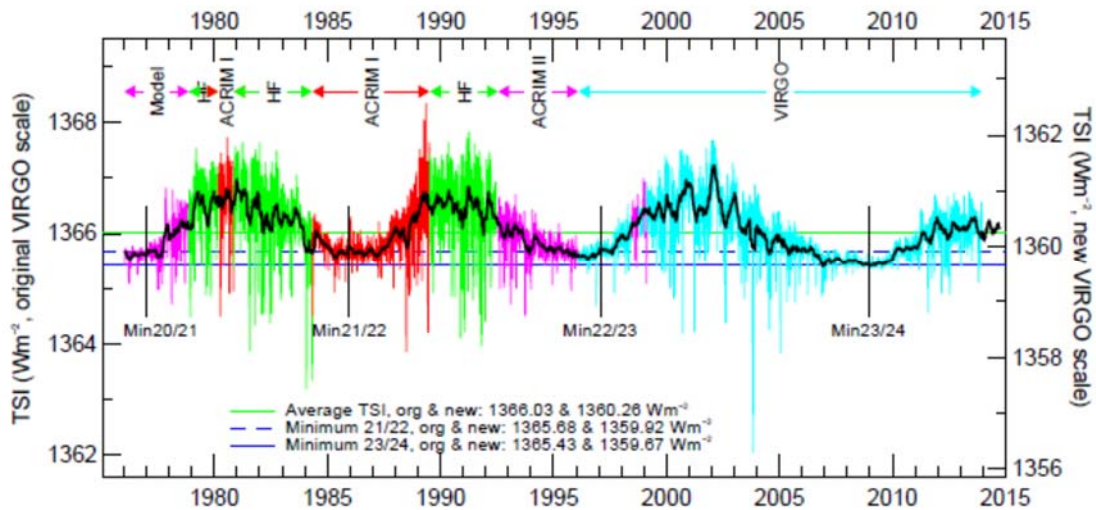


Рис. 1. Вариации солнечной постоянной за последние 35 лет по объединенным данным международных космических миссий.

Еще одна из популярных «страшилок» современных СМИ - таяние ледников. Действительно, факт, что за последние полвека температура на юго-западе Антарктики, на Антарктическом полуострове, возросла на 2,5 °С. Известно, что масса льдов Антарктики уменьшается с ускоряющимся темпом. Но, тем не менее, площадь оледенения Антарктики растёт [9].

Такая противоречивость в наблюдательных данных свидетельствует, что мы все-таки еще далеки от полного понимания причин, вызывающих изменения климата на Земле. По нашему мнению, недооцененным фактором влияния на климатические изменения является геомагнитное поле.

Так в работе [10] показано, что инверсии и экскурсы геомагнитного поля совпадают с периодами резкого потепления климата и исчезновения пылевой компоненты в антарктическом и гренландском льдах. Наличие экскурсов является причиной изменений, происходящих на поверхности Земли. Можно предположить, что в периоды, соответствующие увеличенной концентрации пыли, на Земле было не только холодно, но и не видно Солнца. Но вот в ядре Земли происходит смена режима работы фазового перехода. С изменением направления фазового перехода меняется полярность геомагнитного поля. Земля на некоторое время теряет свою защитную оболочку, радиация достигает её поверхности, вызывая, с одной стороны, потепление климата и, с другой, - повышение радиационного фона. Как следует из модели [10], потепление климата связано с разрушением пылевого аэрозольного стратосферного слоя, а проникновение ионизирующего излучения в атмосферу Земли может значительно (в сотню раз) увеличить её радиационный фон.

По последним измерениям напряжённость земного магнитного поля падает, причём неравномерно. За последние 22 года она уменьшилась в среднем на 1,7 %, а в некоторых регионах — например, в южной части Атлантического океана, — на 10 %. В некоторых местах напряжённость

магнитного поля, вопреки общей тенденции, даже возросла. Ускорение движения полюсов (в среднем на 3 км/год) и движение их по коридорам инверсии магнитных полюсов позволяет предположить, что в данном перемещении полюсов следует усматривать не экскурс, а очередную инверсию магнитного поля Земли. По расчетам, эта инверсия должна произойти где-то к 3200 г. н.э.

Это подтверждается и текущим возрастанием угла раствора каспов (полярных щелей в магнитосфере на севере и юге), который к середине 1990-х годов достиг 45°. В расширившиеся щели устремился радиационный материал солнечного ветра и космических лучей, вследствие чего в полярные области поступает большее количество вещества и энергии, что может привести к дополнительному разогреву полярных шапок.

Здесь, правда, неизбежно возникает еще одна страшилка СМИ – о полном исчезновении магнитного поля Земли в момент такой инверсии и последующей гибели всего живого. Придется разочаровать поклонников жареных фактов – хорошо известно, что в моменты инверсии исчезает только дипольная составляющая магнитного поля, остается набор более слабых полюсов, разбросанных по планете. Разумеется, интенсивность солнечного ветра и космических лучей возрастет, но не катастрофически.

Таким образом, перечисленная совокупность причин природного характера, не связанных с деятельностью человека, до конца нами не изученная, может привести к самым различным сценариям дальнейшего климата Земли. Примером таких явлений может служить возникновение полярных «озоновых дыр», с которыми неожиданно эффективно «разобрались на бытовом уровне». Поэтому выбор эффективных мер противодействия негативным изменениям климата должен проводиться только после тщательного учета всех возможных факторов, влияющих на существующее равновесие природных параметров.

Литература

1. IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis — Summary for Policymakers, Observed Changes in the Climate System, p. 3
2. Там же, p.15.
3. Battisti, David; Naylor (2009). «Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat». Science 323 (5911): 240–4.
4. Миланкович М., Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата, М., Л., ГОНТИ, 1939.
5. Petit, J.R. et al, Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica, Nature, 1999, v.399, N6735, p.429.
6. Абдусаматов Х.И., Глубокий минимум мощности солнечного излучения приведет к малому ледниковому периоду, 2013, Нестор-История, СПб.
7. www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant
8. Абдусаматов Х.И., Глубокий минимум мощности солнечного излучения приведет к малому ледниковому периоду, 2013, Нестор-История, СПб, с.70
9. Skeptical Science: Антарктика наращивает лед. www.skepticalscience.com.
10. В.В.Кузнецов, Н.Д.Кузнецова, Влияние космического излучения и вековых вариаций геомагнитного поля на климат и эволюцию жизни на Земле <http://kcs.dvo.ru/ikir/Russian/Science/2004/3-11.pdf>

ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДЫ И АНТРОПОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА АРХИПЕЛАГЕ ВАЛААМ

В.Н. Вольных

*МБОУ ООШ № 23
Майкопский район, Россия*

E-mail: vol.vera1957@yandex.ru

Архипелаг расположен в северной части Ладоги, самого крупного внутреннего водоема Европы. Общая площадь Ладожского озера с островами составляет 18 329 км². Валаамский архипелаг находится на расстоянии 22 км от ближайшего берега. Его площадь - 36 км². Количество островов, входящих в состав архипелага — около 50-ти.

Самый большой из них – о. Валаам (2845 га) возносится на высоту 42 м. Ширина острова, одетого с юга и запада в неприступные скалы, и раздробленного с востока и севера множеством островков, составляет 7,8 км, а длина – 9,6 км. Бок о бок с о. Валаам расположен второй по величине Скитский остров (277 га) высотой до 51,8 м. Самый высокий остров архипелага Лембос (группа Баевских островов) возвышается на высоту 58,2 м. Есть здесь ещё и Никоновские, Емельяновы (Оборонные), Каменные, Феодоровские (Монастырские), Крестовые группы островов. По площади они небольшие, а некоторые отдельные островки и вовсе меньше гектара.



Рис. 1. Вид Валаамского архипелага из космоса.

Местонахождение Валаамского архипелага (в районе наибольших глубин Ладожского озера) определяет его климатические условия. В общем, климат мягче остальных районов таких же широт, благодаря близкому соседству Балтийского и Белого морей и, соответственно, влиянию теплого

течения Гольфстрим. Так, зимы на архипелаге мягкие (средняя температура февраля – $-8,5^{\circ}\text{C}$), а лето – относительно теплое, дождливое, не изнуряющее большой жарой, но длящееся на 30-35 солнечных дней дольше материкового. «Сильных жаров бывает весьма немного» – находим следующие свидетельства в монастырских источниках. И действительно, средняя температура июня всего $+17^{\circ}\text{C}$.

Акватория архипелага в связи со структурой течений озера в наименьшей степени подвержена влиянию вод притоков и может рассматриваться как эталонная для центральной части Ладоги. Весна и осень характеризуются обилием туманных дней. А привычным гостем островов, вернее даже спутником, является сильный ветер. Хотя, в целом, климат для растений более благоприятный, чем на материке.

Валаамские острова - тектонического происхождения. Их образование связано с поднятием одного из блоков крупного интрузивного тела, являющегося частью кристаллического фундамента Ладожской котловины. Ширина интрузии составляет около 30км, протяженность 100км, мощность 100-120м. Она протягивается в широтном направлении от г. Приозерска на западе, до поселка Салми на востоке. На северо-западе России, кроме Валаама, не существует другой столь обширной области выхода на поверхность массивно-кристаллических пород основного типа (ферро-габбро-диабазов, габбро-диабазов, валамитов).

Тектоническое происхождение островов проявляется в характере рельефа - скалистые отдельные гряды и крутые приподнятые массивы расчленены между собой системой депрессий (лощин, заливов, озер), приуроченных к тектоническим разломам, трещинам, преимущественно северо-западного направления. Разломы причудливо изрезали северо-западное побережье архипелага, образовали многочисленные заливы, отделили остров Скитский от острова Валаам внутренним озером Сисяярви и Монастырской бухтой.

Значительное геоморфологическое разнообразие приводит и к большому разнообразию почвенного покрова. Почвенный покров острова формируют природные и антропогенно преобразованные почвы.

На Валааме выделяют 14 типов почв, среди них наиболее распространены следующие: примитивные, подзолистые, подзолисто-болотные, дерново-глеевые болотные и сформированные на выходах разновидностей магматических пород (типы ржавоземов грубогумусовых и органо-ржавоземов). Последние два типа широко распространены на Валаамском архипелаге. Эти почвы относятся к отделу железисто-метаморфических почв. Они маломощны (40-60см), высокощелочны, обеспечены элементами питания растений, имеют кислую реакцию, хорошо пропитаны гумусом.

Водная система архипелага включает его ладожское побережье, в том числе мелководные участки и бухты, два значительных по площади озера, связанных с Ладожским озером и между собой, а также 9 небольших изолированных озер, расположенных в изрезанных понижениях.

Самое крупное озеро системы - оз. Сисяярви (80,5 га) имеет сложную удлинненно-вытянутую форму с лопастным расчленением. Его берега, в основном, возвышенные, во многих местах образованы отвесными скалами. Донные отложения в пределах незначительной части мелководий представлены в основном скалистыми, песчано-каменистыми, реже песчаными грунтами. Степень зарастания водоема вследствие перечисленных причин незначительна, характер его довольно однообразный. Озеро Лещевое, второй по площади внутренний водоем (23,8 га), располагается в южной части острова и соединяется протоками с озерами Сисяярви и Ладожским. Степень зарастания озера высокая. Берега, по большей части, пологие, в восточной части - скалистые, встречаются заболоченные участки.

Малые лесные озера - небольшие по площади водоемы (0,3-3,0 га), с темной, коричневого цвета водой, илистым дном. В некоторых озерах наблюдаются завалы бревен, в иловых отложениях отмечены интенсивные процессы гниения, а в ряде озер - заболачивание. Большинство озер связаны с Ладогой пересыхающими летом канавами; уровень воды в них примерно на три метра выше, чем в Ладожском озере. Большинство озер относятся к нейтральному мезополигумозному или мезополижелезистому типам. В ходе сопоставления с озерами материковой Карелии было установлено, что озера о. Валаам отличаются высокой минерализацией, повышенным содержанием органического вещества и высоким содержанием железа.

В составе фитопланктона водной системы обнаружено 343 таксона водорослей, относящихся к 9 отделам. Водные беспозвоночные внутренних озер и Ладожской акватории архипелага: зоопланктон - 98 видов, макробентос - 80, мейобентос - 180 видов. Ихтиофауна включает 27 видов рыб и рыбообразных. В составе макрофитов малых лесных озер отмечено более 70 видов. На урете воды во всех озерах встречаются белокрыльник и сабельник болотный. В большинстве водоемов доминирует кубышка желтая, площади зарастания литорали этим видом в каждом водоеме различны и варьируют от 1% до 68%.

С разнообразием микроландшафтов и высоким естественным плодородием почвы связано богатство флоры островов - более 500 видов сосудистых растений. Это составляет 45% от общего числа видов, отмеченных для республики Карелия. Во флоре островов преобладают лесные и луговые виды (по 150). Скальных, прибрежно-водных, водных и болотных видов также примерно одинаковое количество - по 30-40; сорных - около 60.

В Красную книгу Российской Федерации включены 64 вида растений. Природные особенности архипелага сделали возможной интродукцию многих древесных и кустарниковых форм (54 вида).

Основное богатство архипелага – лес. На Валааме никогда не было лесорубов. 80% площади Валаама покрыто лесами, остальная территория занята озерами, болотами, лугами и полями.

Леса Валаама на 56% представлены сосняками (черничный скальный, вересковый, черничный, брусничный), на 34% - ельниками (черничный, кисличный, черничный скальный, черничный влажный), на 8% - березняками,

2% приходится на все остальные породы (клена остролистного, липы мелколистной, вяза шершавого).

Леса Карелии сохраняют черты девственных лесов: абсолютное преобладание хвойных пород, высокий возраст, средняя полнота (обхват деревьев), сложная возрастная структура, смешанный состав лесов. Таких лесов в Карелии мало. Сосняков старше 180 лет в Карелии больше нигде нет. Сосна менее подвержена ветровалу, чем ель. У Всехсвятского скита есть сосна – великан возрастом примерно 260 лет. Более старых сосняков не встречается – это связано с историей монастыря – в результате пожаров много лесов выгорело. К тому же при восстановлении монастырских построек брали сосну, у которой более ценная древесина, стойкая к заболеваниям и вредителям.

За последние 20 лет в лесах архипелага снизилось количество сосняков на 14%, молодняка всего лишь 6% (изменился возрастной состав). В ельниках – 20% молодняка, в березняках – менее 1%, в ольшаниках вообще нет молодняка. В настоящее время на Валааме леса находятся в стадии биологической спелости, далее следует период распада. Поскольку в сосняках нет молодняка, будет изменяться ландшафт – происходит интенсивная замена сосны елью. В 74% сосняков преобладает подрост ели. Если в будущем на Валааме станут преобладать еловые леса, то под кроной елей будет застаиваться влажный и теплый воздух, что приведет к замене растений нижних ярусов другими видами. Это может привести к заболачиванию, следовательно, изменится и ландшафт архипелага.

Слабое возобновление сосны на Валааме связано с тем, что обитающие в изобилии на Валааме лоси объедали верхушки сосен зимой (едят хвою) – на 95% повреждений подрост сосны, 40% сосен впоследствии засыхает. Численность лосей на Валааме была ранее очень велика – в 1988 году отстреляли 32 лося, в 2003 году – 27 лосей, оставили 10 особей. По норме кормовой территории на Валааме должно быть всего 4-6 лосей. Рост численности лосей связан с тем, что в зимний период волки гонят лосей по льду на остров, где они остаются. Необходимо регулировать их численность.

Большой интерес представляет орнитофауна Валаамского архипелага, здесь зафиксировано 220 видов птиц, что составляет 90% от числа видов, указанных для Южной Карелии. 75 видов птиц постоянно гнездятся на Валаамских островах. Наиболее полно представлены виды закрытого лесного ландшафта (более 60% от общего числа гнездящихся птиц). Также многочисленны птицы, связанные с водоемами.

Валаамский архипелаг - место миграционных остановок многих видов водных и околоводных птиц. Вблизи островов архипелага практически в течение всего лета встречаются чернозобые гагары, черная казарка, морские виды уток, в том числе морская чернеть, синьга, турпан, морянка, обыкновенная гага. Некоторые виды уток, в том числе гага, ежегодно гнездятся на архипелаге. На небольших островах и лудах расположены крупные колонии серебристой и сизой чайки, клуши, речной крачки. Из-за прессинга человека резко сократилось количество колоний сизой чайки (местные жители собирали яйца на закуску).

Семейство воробьиных представлено ласточками, птицами-певунами: зябликом, пеночкой–теньковкой, пеночкой–весничкой, певчим дроздом. Всего на Валааме 93 вида воробьиных. Из 214 видов птиц, встречающихся на архипелаге, гнездится 160 видов. 10 лет назад впервые на Ладоге отмечен новый вид – чиграва (размером со среднюю чайку, но крылья заостренные и хвост в виде вилочки – как у ласточки). Чиграва обычна на Белом море, но Валаам для нее - западная граница ареала, их колонии вероятно единственные в Карелии.

20 лет назад на Валааме появился черный дрозд. Здесь проходит южная граница распространения кулика-сороки. Появление новых видов связано с изменением климата и стремлением видов к расселению (как бобры, которые появились на Коневских озерах).

Фауна амфибий, рептилий и млекопитающих Валаама, в связи с его островным положением, значительно беднее материковой. В настоящее время она включает: 3 вида амфибий, 3 вида рептилий и 25 видов млекопитающих.

Широко представлен отряд Грызунов, наиболее часто встречаются рыжая и водная полевки, обыкновенная белка и ондатра. Заяц беляк (Зайцеобразные), обыкновенная бурозубка (Насекомоядные), лось (Парнокопытные) единственные представители своих отрядов.

Северный кожанок, водяная ночница и бурый ушан - основные представители отряда Рукокрылых.

Кротов на острове нет – они не могут жить из-за тонкого почвенного слоя и отдаленности от материка, но есть землеройки, бурозубки и полевки.

С 1986 года на острове не встречается норка европейская, поэтому ее решили реаклиматизировать. Это связано с тем, что после войны в Карелии было создано много зверосовхозов, где содержали норку американскую (у нее шкурка лучше, более блестящая, зверек более крупный). Американская норка, убегающая из зверосовхозов, вытеснила норку европейскую (одинакова ниша обитания в природе). Норка европейская и американская не могли скрещиваться, т.к. у них различия на хромосомном уровне – не происходило оплодотворение. Более плодовитой оказалась американская норка. Для восстановления популяции европейской норки ее завозили из Калининской области, где она обитала в естественных условиях. В 1991 году выпустили в районе Белого скита. поголовью нанесли огромный вред браконьеры и бродячие собаки, которые из-за холодной зимы в поисках корма добивались до архипелага и поедали норок.

Из хищных животных на Валааме постоянно обитает горностай, предполагается также наличие лесной куницы и ласки.

Так же на островах обитает рысь. Живут парами, выводят потомство. Самцы в период гона легко проходят до 60км. Питаются зайцами.

Есть лиса, но численность ее колеблется. Пик численности приходится на 2002 год. С 2004 года ее не видно. Популяция лис часто страдает бешенством – падеж. Волки заходят с материка зимой.

Змеи представлены гадюками и ужами, есть из пресмыкающихся ящерица прыткая.

На островах архипелага на протяжении всего периода открытой воды наблюдаются летние релаксационные залежки ладожской кольчатой нерпы - подвида, занесенного в Красную книгу России и Карелии. Численность этих представителей отряда Ластоногих на одной залежке может достигать 300-330 особей. Тюлени залегают на побережье островов или лудах вблизи них, что делает возможным проведение наблюдений за их поведением и суточной активностью. Острова Валаамского архипелага, безусловно, являются одним из основных районов Ладожского озера, где ладожская кольчатая нерпа образует летние залежки, причем одновременно на местах залегания, по-видимому, может находиться значительная часть популяции.

Современный облик ландшафтов архипелага связан с историей освоения человеком этой уникальной территории. Прежде всего, с активной деятельностью православного мужского Спасо-Преображенского Валаамского монастыря. Это рубки ухода, прокладка дорог и каналов, посадки интродуцентов. Значительные площади лесов были вырублены в период с 1919 по 1940 годы; в это время Валаам был территорией Финляндии. Здесь располагался крупный военный гарнизон. Однако на месте вырубок сразу же были посажены "финские" культуры сосны.

В последние четыре десятилетия идет интенсивное освоение Валаама в рекреационных целях, что также в основном отразилось на лесной растительности и почвах.

Посадки интродуцентов стали неотъемлемой частью ландшафта, многие из них хорошо естественно воспроизводятся, имеют значительные площади распространения. Сочетание аборигенных и акклиматизированных растений создают неповторимый облик архитектурно – ландшафтного комплекса

Вокруг центральной усадьбы и скитов монахами были проведены посадки в виде однорядных аллей пихты сибирской и бальзамической, лиственницы сибирской и Сукачева. На Крестовом острове в лесу можно встретить куртины лиственницы, что смотрится очень красиво на темном фоне сосен и елей. По запасам древесины на Валааме лиственница превосходит сосну. Кедр сибирский (или сосна сибирская) высажен на Всехсвятском, Воскресенском и Гефсиманском скитах. Сосна Муррея родом из Северной Америки растет недалеко от игуменского кладбища. Вяз, дуб, ясень, тополь серебристый и тополь бальзамический высажены на центральной усадьбе монастыря. В нижнем саду растет Горец Вериха (Сахалинская гречиха).

В начале XX века на Валааме было 60 видов интродуцентов, сейчас сохранилось 43 вида. Напротив игуменского кладбища был устроен питомник, где выращивали и продавали саженцы деревьев, которые сейчас можно встретить в окрестностях Сортавала. В настоящее время такие опыты не проводятся.

С 1989г. Валаамский монастырь возобновил свою деятельность. За это время восстановлено большинство скитов, создана хозяйственная база, флот. В настоящее время происходит отладка работы очистных сооружений в усадьбе монастыря и на Воскресенском скиту. Однако по-прежнему существует необходимость расчета и ограничения рекреационной нагрузки на

экосистемы архипелага, связанной с православным паломничеством и туризмом.

Вызывает озабоченность состояние островной помойки, а также отсутствие концепции сбора и утилизации твердых бытовых отходов на острове.

Природный парк "Валаамский архипелаг", созданный в 1999г., принимает активное участие в решении многих экологических проблем этой уникальной территории.



Рис. 2. Вид архипелага сверху.

Природы подобно Валаамской, по словам гидрографа А. П. Андреева, "не встретишь нигде в Европе: множество совершенно отвесных скал, идущих и в высоту и на глубину, - островки, мыски, бухточки... Проливы, озера между густой растительностью и угрюмыми гранитными скалами отражают на лазури все предметы, а стройный хвойный лес дополняет общую картину, придавая всему чудный, восхитительный вид".

Валаамский архипелаг по праву считается жемчужиной русского Севера. Эта островная экосистема - уникальный природный объект.

Именно это место – загадочное и неповторимое, ослепительно красивое и непредсказуемое – принято по праву считать одной из главных достопримечательностей всей северной России. Здесь сосредоточилась прелесть первозданной природы в самых неожиданных сочетаниях и разнообразиях, находящаяся в мирном соседстве с обителями Валаамского монастыря и скитами.

Литература

1. Кучко А.А. Валаам – феномен природы. – Петрозаводск: Карелия, 1988.
2. Рудин В.В. Труды Санкт Петербургского общества естествоиспытателей. Т.92. – СПб., 1998.
3. Рывкин В. Р. Валаам. – Петрозаводск, 1981.
4. Шмелев И. Старый Валаам. – СПб., 2014.
5. Назарова Е. Валаам. Палитра природы // Приложение к альманаху «Русский мирь», 2014.
6. Валаамский архипелаг на сайте Центра всемирного наследия ЮНЕСКО.

ГЕОЭКОЛОГИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ И «ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ГОМЕОСТАЗ» ОРГАНИЗМА

Е.Р. Вольтер, А.Ш. Гицба, В.И. Маландзия, Я.Ш. Кишмария

*Институт экологии АН Абхазии,
Абхазский государственный университет,
г. Сухум, Абхазия*

E-mail:ervolter@mail.ru

Информационный «шум» обычно предшествует взаимодействию развивающейся клетки с окружающей средой, заполняя расширяющееся «сенсорное пространство». Живой организм активно и избирательно реагирует на многочисленные электромагнитные сигналы среды обитания, к которым ему необходимо адаптироваться, и в этом смысле создает себе интерактивную среду [5]. В этих процессах отсутствует строгая комплиментарность, но порой необходима сверхвысокая чувствительность [15].

Естественный геомагнитный фон имеет первостепенное значение для развития пространственно-временной метрики организма, и происходящих при этом процессах дифференцировки клеток, в первую очередь, нервной ткани. Функциональные системы (ФС) организма непрерывно осуществляют рецепцию массива ритмических и стохастических физико-химических факторов, детально отражающих развитие текущих событий среды обитания, и, в процессе их сравнения и синхронизации, обеспечивают нужный уровень своей физиологической активности [1,2].

Эволюционирующая система способна адекватно реагировать на воздействия внешнего геомагнитного поля (ГМП) путем развития и поддержания магнитной гетерогенности организма и его магнорецепторных систем (МРС) [3]. Характер этих расширяющихся связей меняется непрерывно главным образом в зависимости от этапов формирования, типа и режима функционирования МРС. Существуют предположение, что именно МРС способны детектировать даже крайне слабые и пространственно удаленные геоэкологические изменения.

Начиная с середины 80-х г. XX в., на базе открытия биогенных включений наномангнетита (НМ) в различных организмах, от бактерий до человека, усилия исследователей были направлены на обнаружение НМ-зависимых МРС и объяснение механизмов их работы [4]. Исходя из проводимых исследований, допускается, что эти МРС являются автономными структурно-функциональными единицами, с разнонаправленными изменениями возбудимости в ГМП.

Реакция нелинейных ФС живых организмов на внешнее геомагнитное воздействие критически зависит от степени неустойчивости стационарного состояния, т.е. норма, переходное состояние (стресс) и патология. В здоровом организме по мере нарастания геомагнитного возмущения будут включаться защитные компенсационные механизмы [6-8], а при ослаблении адаптационных механизмов при старении или болезни, излишнее энергоинформационное воздействие может наращивать патологические изменения в МРС. Возмущенному ГМП соответствуют потоки энергии диапазона 10^{-7} - 10^{-4} эрг/с см², что значительно выше пороговых значений. Вероятно, область данных значений шума ГМП охватывает критическую зону возбуждения МРС [9].

Вероятно, пороговые эффекты магниторецепции имеют пространственно-временные рамки и постепенно «размываются» как в гормональном информационном всплеске, так и в гормональной дисфункции. Тот факт, что в пожилом возрасте человек обычно становится крайне чувствительным для всякого рода геомагнитных аномалий, свидетельствует как о временной дизрегуляции эффектов МРС, так и о разрушении их системной организации, моделируемой как самоорганизованная критичность. Длительное развитие структурно-функциональных нарушений физиологической системы приводит к распаду пространства состояний коллективной МРС. При этом постепенно теряется информация об адаптационных механизмах активности и реактивности при пороговых изменениях величины ГМП.

При излишнем упрочнении МРС в ГМП, упругие и электрохимические свойства всей системы будут стремиться к насыщению. И тогда, при изменении физических условий среды обитания, нелинейный отклик организма на внешние воздействия, такие как «магнитные бури», не сможет осуществляться. Изменение хаотической динамики МРС, отклонение от стационарной ритмики функциональных процессов - одна из причин дизрегуляторной патологии. В результате при экстремальных воздействиях, типа сильных магнитных бурь, неизбежен сбой в работе магнитомеханических функциональных контуров, в норме основанных на хаотической динамике и быстрой релаксации суперпарамагнитных МРС. «Эффект бабочки» в магниторецепции становится невозможен, одна из гигантских флуктуаций ГМП разрушит равновесие МРС.

Все больше данных и в пользу того факта, что вкрапления биогенного и техногенного НМ распределены в организме значительно шире, чем это предполагалось ранее – в головном мозге и надпочечниках. Наномангнетит

«естественный» загрязнитель окружающей среды и его обнаруживают в большом количестве на наружных покровах тела, в легких и кишечнике высших животных. Очевидно, что кожа, дыхательная система и ЖКТ, которые служат одновременно транспортными путями и эффективным защитным барьером организма, являются потенциальными путями поступления НМ в организм человека [10].

Известные данные свидетельствуют о том, что здоровая, не поврежденная кожа является эффективным фильтром, практически не пропускающим наночастицы железа, размером выше 10 нм в нижние слои эпидермиса [7]. Отдельные частицы оксида железа, размером менее 10 нм, способны проникать в зернистый слой эпидермиса.

Наши исследования доказали [14], что НМ попадает из кишечника в кровеносное русло, а затем локализуется и трансформируется в печени и селезенке. Абсорбция НМ в ЖКТ возможна различными путями: транцитоз, захват М-клетками Пейеровых бляшек и лимфоидной системы, парацеллюлярная диффузия, захват энтероцитами и др. Известно, что повреждение слизистой оболочки ЖКТ повышает поглощение НМ [12]. Клетки большинства органов и тканей быстро элиминируют НМ в виде плотных агрегатов, не включая механизмы его биотрансформации до молекулярных соединений железа. В норме защитные слизистые структуры и фагоциты обеспечивают эффективное очищение дыхательных путей от нанодисперсных частиц и их агрегацию в «контейнеры». Макрофаги, нагруженные «контейнерами», преодолевают эпителиальный барьер альвеол. Вероятно, в большей степени НМ может откладываться в легких при хронических воспалительных процессах. Например, активность аэрогематического барьера понижена у курильщиков, сварщиков, шахтеров и др.

Количество оксида железа в организме возрастает у старых и больных животных, что обусловлено дисрегуляцией процессов запасания и элиминации соединений железа при ряде патологических состояний.

Потеря контроля над обменом железа приводит к тяжелым отклонениям в работе функциональных, антиоксидантных и МРС клетки, к нарушениям минерального, прежде всего кальциевого, обмена ткани. Патологическое отложение ионов металлов [10] и НМ в тканях неизбежно приводит к экранированию ФС, в которых затрудняется осуществление мониторинга низкочастотных флуктуаций ГМП.

Непрерывный эндоцитоз и биотрансформация легкодоступного НМ представляет собой крайне важный для организма процесс. Возможно, что этот процесс является одним из наиболее древних эволюционно закрепленных механизмов как пополнения запаса железа в депонирующих центрах, так и неспецифического каталитического обезвреживания ксенобиотиков. Эндоцитоз НМ клетками печени обуславливает накопление в фаголизосомальных структурах активного катализатора и адсорбента, способствующего процессу «внутриклеточной» электрохимической детоксикации организма. Кроме того, продукты внутриклеточного

растворения НМ – это органические соединения железа, также крайне важные для клеточного метаболизма.

Если поступление НМ в организм становится избыточным, то может возникнуть окислительный стресс, следствием которого может быть повреждение мембран клеток печени и, в первую очередь, митохондриальной мембраны, а также нарушение распределения жизненно важных пространственно неоднородных структур и сигнальных функций. Окислительный стресс проявляется в виде, контролируемого железом, появления большого количества СР, оказывающих патологическое воздействие на процессы ПОЛ, работу митохондрий, а также на генетический аппарат. Однако, развитие тяжелого окислительного стресса, индуцированного НМ, в организме животных не обнаружено[13]! То есть, метаболические пути элиминации НМ отличаются от элиминации восстановленного железа и ряда его солей.

Как не парадоксально, даже рецепция сверхслабых электромагнитных сигналов, интенсивность которых сравнима с энергией тепловых колебаний, вполне достаточна, для того чтобы сделать нужный для организма выбор. Это стало возможно благодаря тому, что в головном мозге и надпочечниках имеется сложная система магнорецепторов, связанных в паутину, в которой каждый элемент, состоящий из фрактального «веера» МС, определяет пространственно – временную синхронизацию и селекцию сигналов ГМП.

Характер гигантских флуктуаций ГМП - магнитных бурь сложным образом влияет на организм человека. Контурно обозначены возможные связи эффектов МР, флуктуаций межпланетного МП и ряда дизрегуляторных патологий. В основном, это установленные корреляции между уровнем геомагнитной активности и эпидемическими процессами, учащением случаев обострений сердечно-сосудистых заболеваний, а также возрастанием роли «человеческого фактора» в техногенных катастрофах [11]. В первую очередь, доказан факт воздействия геомагнитных возмущений на протекание физиологической реакции стресса и ряда биохимических и эндокринных процессов.

Сведения о биофизико-химической активности наноферромагнетиков могут быть использованы для объяснения уникального явления магнорецепции и их востребованности в гипоталамо-адреналовой системе. Гипоталамус, гипофиз и надпочечники значительно различаются по количеству содержащихся в них информационно-значимых структур – МР. Возможно, они занимают иерархически разные уровни восприятия ГМП. Мозговая оболочка содержит магнетитовую пленку, которая, возможно, способна «гасить» гигантские флуктуации ГМП в области гипофиза и эпифиза. Этому возможно способствуют эффекты магнитосопротивления и переключения электретной органической оболочки, защищающей НМ – пленку от донорно-акцепторных взаимодействий с активными компонентами биологической среды.

Таким образом, МРС может потерять иерархичность внутренней структуры как при дизрегуляторной патологии в органах, так и при

длительных экстремальных воздействиях аномальных ГМП. Система МР здорового организма в процессе старения осуществляет переход в «сетевую» структуру, что неизбежно повлечет за собой аритмогенный ответ даже на малые флуктуации ГМП и срыв адаптационных механизмов, то есть болезнь.

Литература

1. Судаков К.В. Информационные грани жизнедеятельности. Вестник РАМН, 2002. № 6. С. 8-13.
2. Судаков К.В. Итоги и перспективы развития теории функциональных систем// Вестник РАМН, 2009. № 8. С.3 – 11.
3. Кузнецов А.А. Магнитная гетерогенность биологических систем, принципы и примеры использования магнитомеханических сил для решения актуальных задач медицины и биологии. Автореф. Дис....докт. биол. наук. М.:ИБХФ РАН, 2001.47 с.
4. Вольтер Е.Р., Миквабия З.Я. Организм, магнитное поле и демон Пирузяна // Наука и технологии в промышленности. 2010. № 3.
5. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа.– М.: Наука, 1968 .288 с.
6. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Магнитные поля, адаптационные реакции и резистентность организма //Реакции биологических систем на магнитные поля/ Ред. Ю.А. Холодов.-М.:Наука, 1978. С.131 – 148.
7. Музалевская Н.И. Неоднородность низкочастотных флуктуаций электромагнитного поля и его экологическая значимость// Системы адаптации организма и внешняя среда. -Л.: Наука, 1975. С. 113 – 119.
8. Клейменова Н.Г., Троицкая В.А. Геомагнитные пульсации как один из экологических факторов среды// Биофизика.1992. Т. 37. № 3. С. 429-438.
9. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Шихлярова А.И. и соавт. Магнитные поля, адаптационные реакции и самоорганизация живых систем// Биофизика.1996. Т. 41. № 4. С. 898-905.
10. Будяшова С.Ю., Данилов В.И. Примесные атомы в биологических объектах как рецепторы магнитных полей// Биофизика. 1990. Т.35. № 6. С. 993-996.
11. Кострюкова Н.К., Гудков А.Б., Карпин В.А. и соавт. Биологические эффекты сверхслабых магнитных полей. Обзор литературы// Экология человека. 2004. № 3. С.55–59.
12. Подколотная О.А., Игнатьева Е.В., Подколотный Н.Л., Колчанов Н.А. Пути поступления наночастиц в организм млекопитающих, их биосовместимость и клеточные эффекты //УСБ. 2012. Т.1321. № 1. С. 3-15.
13. Мильто И.В., Суходоло И.В. Структура печени, легкого, почек, сердца и селезенки крыс после многократного внутривенного введения суспензии наноразмерных частиц магнетита// Вестник РАМН. 2012. № 3. С.75-79.
14. Ахалая М.Г., Какиашвили М.С., Вольтер Е.Р. Экспериментальное исследование и моделирование динамики магнитных жидкостей в организме. В кн.: Биокрибернетика и биофизика. Тбилиси: Мецниереба, 1989, с. 8-28.
15. Бурлакова, Е.Б. Действие сверхмалых доз биологически активных веществ и низкоинтенсивных физических факторов / Е.Б. Бурлакова, А.А. Конрадов, Е.Л. Мальцева // Химическая физика. – 2003. – Т.22. - №2.–С.21-40.

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА АБХАЗСКОЙ АКВАТОРИИ ЧЁРНОГО МОРЯ

Я.В. Гицба, Я.А. Экба

*Абхазский государственный университет,
Институт экологии АН Абхазии,
г. Сухум, Абхазия*

E-mail: yana-love@mail.ru, ekba-yan@yandex.ru

На термический режим моря в теплый сезон наибольшее влияние оказывает солнечная инсоляция поверхностных вод и тепло-массообмен с поверхностью суши. В период регионального потепления наблюдается повышение среднегодовой температуры поверхностных вод на 0,8°C.

В зимний сезон преобладает волнение южного направления (23,9%), а в летний сезон западное (30,7%). Наибольшее количество штормов наблюдается в феврале и составляет 35,8%.

Ключевые слова: температура, поверхностные воды, корреляция, ветровой режим, волнение моря.

Теплая поверхность Черного моря представляет собой важный климатический фактор, откуда на территорию Абхазии постоянно приносится влага. Наиболее теплыми месяцами являются июль и август, когда среднемесячная температура воды в открытом море изменяется от 21°C в северо-западной части моря до 26°C в юго-восточной. В феврале температура воды в открытом море составляет 4-8°C, а у северо-западного побережья 0-3°C, иногда и ниже [4]. На изменение температуры воды в прибрежных районах большое влияние оказывают сгонно-нагонные явления.

Гидрологический режим Черного моря формируется под влиянием водообмена с Мраморным и Азовским морями, стока пресных вод с суши и климатических условий. Материковый сток обуславливает распреснение поверхностного слоя воды, особенно в прибрежных районах Черного моря. Существенное влияние на гидрологический режим оказывают и климатические условия.

В целом для гидрологического режима моря характерны: высокая температура воды на протяжении всего года, преобладание волн высотой до 2 м и система устойчивых и постоянных течений [6].

Объекты и методы исследования. Температура морской воды измеряется четыре раза в сутки в 00, 06, 12, 18 часов местного времени в поверхностном слое на Сухумском мысу с оконечности причала, выступающего в море на 30 метров [3].

Направление распространения волн определяется при помощи берегового волномера. При наблюдениях различают восемь главных

направлений – румбов: СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ, С и неопределенное (случай толчеи).

Метеорологические параметры измеряются в непрерывном режиме с использованием автоматизированной метеостанции Venteg Pro-2 [3].

Результаты и обсуждение

Для климата Абхазии существенное значение имеет температура поверхностного слоя Черного моря, омывающего берега Абхазии. Из среднемесячного распределения температуры поверхностных вод следует, что она понижается с августа по февраль включительно. Наименьшая средняя месячная температура поверхностного слоя воды в прибрежной зоне сухумской акватории наблюдается в феврале и составляет $8,8^{\circ}\text{C}$, что в целом согласуется с общим ходом теплового баланса. Максимальное значение температуры воды в августе составляет $26,2^{\circ}\text{C}$ [1].

Для оценки многолетней изменчивости термических условий проведена обработка данных за последний 120 летний период времени. Минимальная среднегодовая температура морской воды наблюдалась в 1904 г. и составила $14,2^{\circ}\text{C}$. Максимальная в 2010 г. $18,3^{\circ}\text{C}$ (рис. 1).

С 1895 по 2014 гг. температура морской воды повысилась на $0,48^{\circ}\text{C}$. С 1895 по 1960 гг. в среднем температура поверхностных вод почти не изменилась и среднее многолетнее значение составило $16,2^{\circ}\text{C}$. С 1961 по 1992 гг. наблюдается тенденция понижения температуры воды на $0,36^{\circ}\text{C}$.

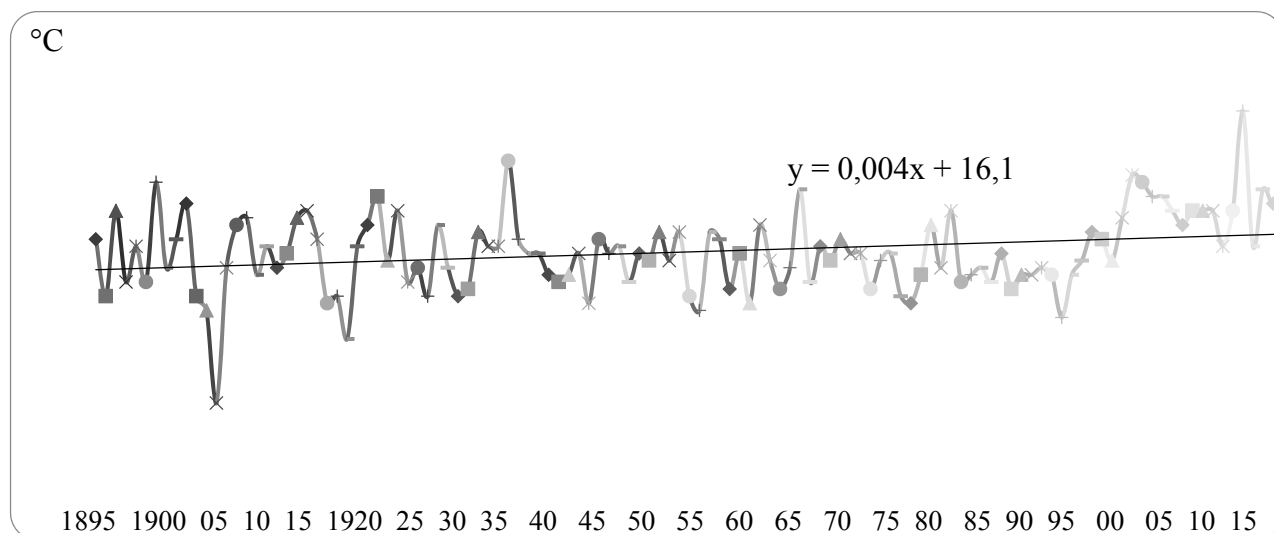


Рис.1. Многолетние значения температуры морской воды.

В отличие от первых двух периодов представляет значительный интерес межгодовая изменчивость температуры воды и воздуха в период регионального потепления в Абхазии (рис. 2). Как известно температура на поверхности моря всегда определяется температурой воздуха и коэффициент корреляции между среднемесячными значениями воды и воздуха ($r=0,93$) показывает очень тесную связь. Также обнаружена заметная корреляционная связь между среднегодовыми и среднемесячными значениями температуры воды и воздуха ($r=0,77$).

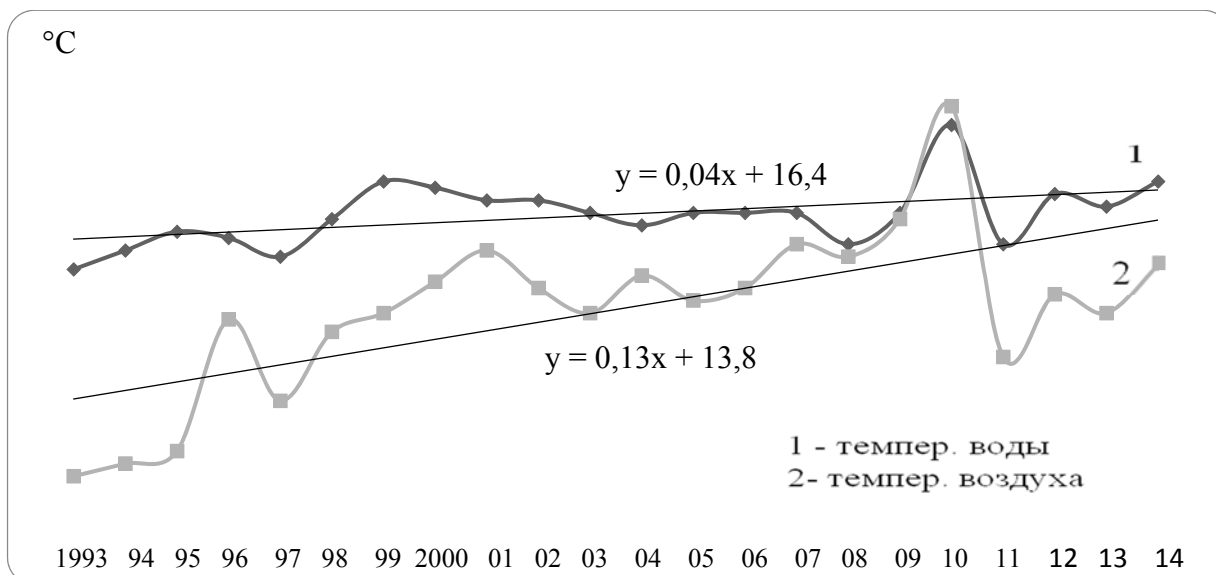


Рис. 2. Среднегодовые значения температуры воды и воздуха в период регионального потепления (1993-2014).

На протяжении наблюдаемого периода (1993-2014 гг.) максимальная среднегодовая температура воды и воздуха наблюдалась в 2010 г. ($18,3^{\circ}\text{C}$, $18,4^{\circ}\text{C}$ соответственно). Минимальная среднегодовая температура воды наблюдалась в 1997 г. ($16,2^{\circ}\text{C}$), воздуха - в 1994 г. ($12,9^{\circ}\text{C}$). Средняя многолетняя температура воды в период регионального потепления составляет $16,9^{\circ}\text{C}$, воздуха - $15,4^{\circ}\text{C}$.

В период регионального потепления температура воды повысилась на $0,8^{\circ}\text{C}$, а температура воздуха на $3,0^{\circ}\text{C}$.

Вычислены корреляционные связи между среднегодовыми и сезонными значениями температуры морской воды с целью выявления фактора оказывающего большее влияние на формирование среднегодовой температуры. На основе полученных данных построены графики, характеризующие эти связи (рис.3, 4).

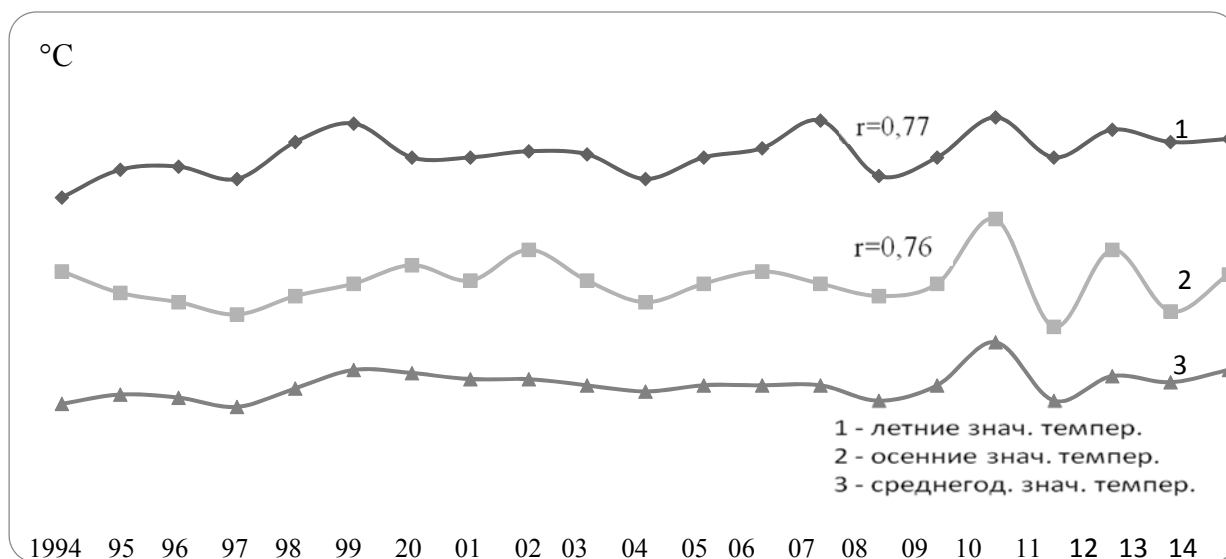


Рис. 3. Корреляционная зависимость между среднегодовыми и сезонными (лето и осень) значениями температуры морской воды в период регионального потепления.

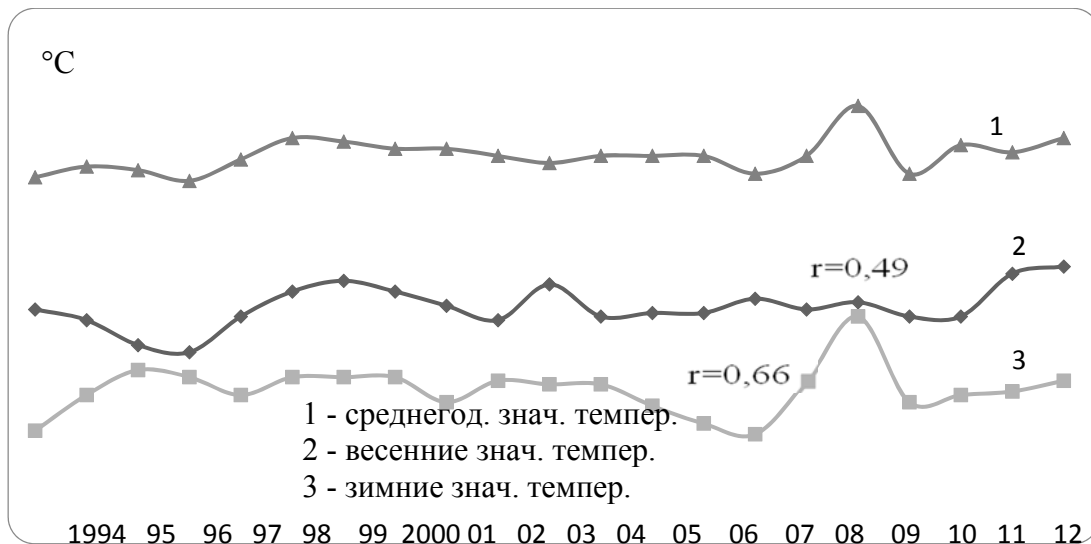


Рис. 4. Корреляционная зависимость между среднегодовыми и сезонными (зима, весна) значениями температуры морской воды в период регионального потепления.

Тесная корреляционная связь получена для теплых сезонов – лето и осень ($r=0,77$ и $r=0,76$). Наибольшее влияние на среднегодовую температуру морской воды оказывает среднемесячная температура воды в сентябре ($r=0,7$), наименьшее – среднемесячная температура в январе ($r=0,21$). Умеренная корреляционная связь получена для весенних месяцев ($r=0,49$). Заметная корреляционная связь проявляется для зимнего периода времени ($r=0,66$). Умеренная корреляционная связь в весенние месяцы объясняется наибольшими суточными колебаниями температуры воды, что объясняется нарушением термической стабильности моря из-за повышения количества речного стока, осадков турбулентного перемешивания и прогревания поверхностных вод [2].

Для выявления тенденции изменения температуры морской воды в сухумской акватории Черного моря, проведено сравнение между среднемесячными значениями температуры за 1994-2014 гг. со средними многолетними значениями и вычислено отклонение температуры от средних величин (рис. 5).

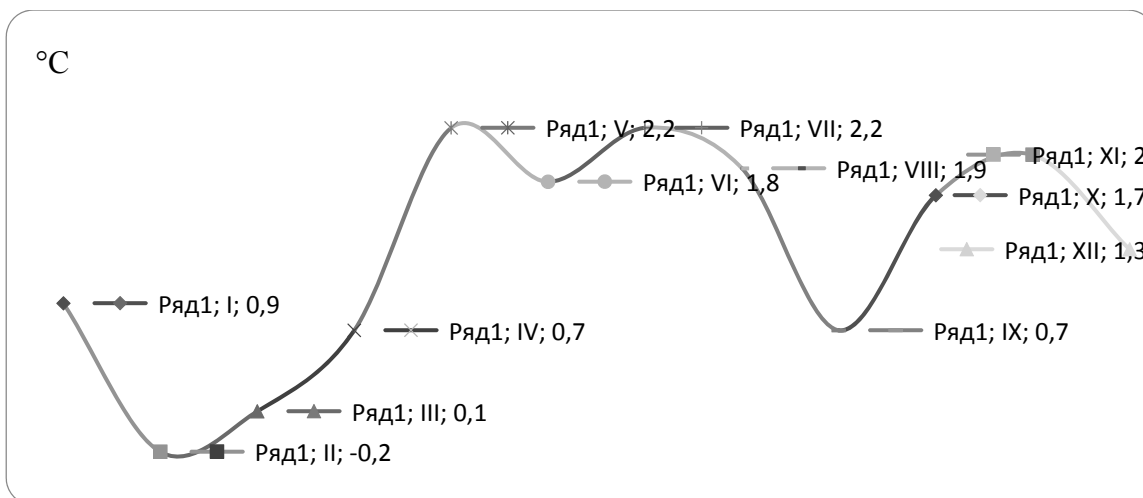


Рис.5. Отклонение температуры морской воды от средних многолетних величин.

Из рисунка следует, что среднемесячная температура августа повысилась за последний период на $1,9^{\circ}\text{C}$, а среднемесячная температура в феврале понизилась на $0,2^{\circ}\text{C}$. Отклонения температуры от средних многолетних возрастает в теплое время года. Максимальное отклонение от наблюдается в июле ($2,2^{\circ}\text{C}$). В целом, наблюдается повышение среднемесячных значений температуры воды на $1,4^{\circ}\text{C}$ по сравнению со средними многолетними значениями.

Кроме общих для термического режима факторов, для сухумской акватории особое значение имеют некоторые особенности режима течений и сгонно-нагонные явления.

Сгонными ветрами в сухумской акватории являются ветры северной части горизонта. Но при большой повторяемости в течение года эти ветры обладают небольшими скоростями, почему и не могут вызвать серьезного эффекта сгона. Нагонными ветрами являются ветры восточной четверти горизонта эти ветры хотя и повторяются реже, но зато обладают гораздо большими скоростями, почему и могут вызвать эффект нагона.

Зимой, когда весь поверхностный слой моря охвачен вертикальной циркуляцией и имеет однородный характер распределения температуры, эффект сгонно-нагонных явлений будет невелик. В летний период, когда имеются значительные различия в температуре поверхности моря и глубинных слоев, сгонно-нагонные явления проявляются особенно резко.

При нагонной циркуляции происходит отток воды по дну в открытое море и повышение придонных температур, в редких случаях сгонной циркуляции происходит приток воды из прилегающих участков моря, и соответственно, понижение придонных температур [5].

Сезонная и многолетняя изменчивость ветровых условий. Черное море расположено в зоне взаимодействия холодных воздушных потоков, идущих с северо-запада и северо-востока, и теплых субтропических воздушных масс, идущих с юга и юго-запада. В связи с этим атмосферная циркуляция изменяется по сезонам и ярко выражена неоднородность климатических и погодных условий в различных частях бассейна. Зимой над морем устанавливается область низкого давления, что способствует преобладанию в это время года восточных и северо-восточных ветров с материка. Однако в течение зимы неоднократно возникают штормовые ветры западных и юго-западных румбов [4].

Местные факторы – пересеченный рельеф и наличие обширного водоема - Черного моря, сильно усложняют развитие атмосферных процессов. Летом и осенью наличие температурных контрастов между сушей и морем определяет развитие бризовой циркуляции, которая нарушается только интенсивными атмосферными процессами. Ветровой режим складывается в результате совместного действия географических и циркуляционных факторов.

Господствующее направление ветра в сухумской акватории в течение года – западное летом и восточное зимой (рис. 6).

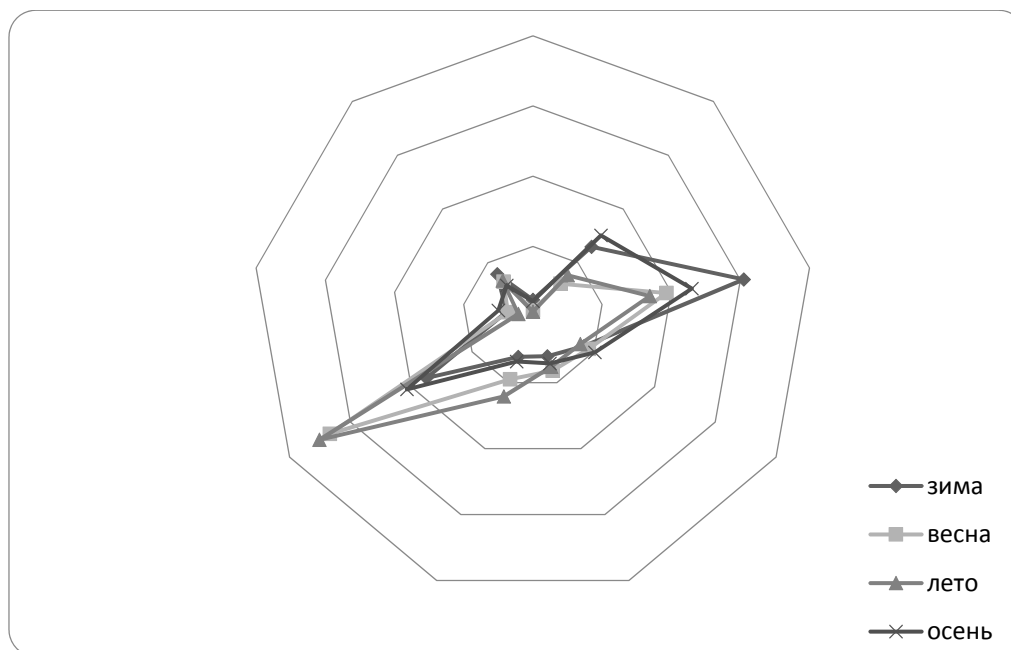


Рис. 6. Сезонная изменчивость ветровых условий (в процентах) в период с 1999 по 2014 гг.

В летний период преобладает повторяемость западных румбов и составляет 36,1%, в зимний период господствует восточное направление ветра (31,5%). Наиболее часто повторяемость западных румбов наблюдается в июне (39,5 %), повторяемость восточных румбов – в феврале (33,8%).

Наибольшая повторяемость северных румбов наблюдается зимой (3,4 %), наименьшая – летом (1,7 %), но эти ветры обычно слабые, средняя скорость которых составляет 0,8 м/с и естественно не вызывают сколько-нибудь значительного волнения. Поэтому северное направление волнения моря не наблюдается. Повторяемость южных и юго-западных ветров максимальна в летний период и имеет наименьшие значения в зимний сезон. Противоположный характер сезонного хода имеют ветры юго-восточного румба: в осенний сезон их повторяемость максимальна (11,2%), и минимальна в летний сезон (8,8%), также юго-восточные ветры отличаются значительными скоростями ($v_{cp}=3,3$ м/с). Повторяемость штиля в среднем за год составляет 7,7%, наибольшая повторяемость штиля наблюдается в январе (11,7%).

В Сухуме, наибольшими среднегодовыми значениями скорости отличаются юго-восточные и западные ветра (3,3 и 2,7 м/с соответственно) (табл. 1). Сильные юго-восточные и западные ветра в течение всего года характеризуются большими скоростями, но наибольшее среднее значение они имеют в летний период (3,3 м/с, и 3 м/с соответственно). Самыми слабыми ветрами являются северные ($v_{cp} = 0,8$ м/с), максимальное значение скорости северного ветра наблюдается в осенне-зимний период (1 м/с). Восточные ветра, повторяемость которых доминирует в зимний период характеризуются наибольшими скоростями именно в зимний период ($v_{cp}=2,6$ м/с), в летний период их скорость минимальна (2 м/с).

Таблица 1.

**Среднемесячная и годовая скорость ветра различных направлений
в период с 1999 по 2014 гг. (м/с)**

Месяц/румбы	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
I	1,2	1,8	3,0	3,2	1,6	2,3	2,6	2,2
II	0,9	1,7	2,8	3,3	1,9	1,8	2,8	1,4
III	1	2	2,5	3,4	2,1	2,2	2,6	2,6
IV	0,7	1,2	2,3	4,3	2,6	2,8	2,4	1,8
V	0,5	1,1	2,1	2,3	1,7	2,7	2,5	2,0
VI	0,6	1,2	2,2	2,6	2,5	2,2	3,3	0,9
VII	0,6	1,1	2,0	3,4	3,3	2,0	3,1	1,6
VIII	0,0	1,2	1,8	4,7	2,4	2,8	2,6	0,5
IX	0,9	1,3	2,2	3,1	2,3	2,0	2,7	1,9
X	1,1	1,5	2,1	3,3	1,9	1,5	2,2	1,4
XI	0,9	1,7	2,3	3,6	1,4	2,1	3,0	1,5
XII	0,9	1,3	2,1	2,7	1,2	1,6	2,1	1,6
Сред.	0,8	1,4	2,3	3,2	2,1	2,1	2,6	1,6

Указанный сезонный ход средней скорости ветра типичен для всей юго-восточной части Черного моря, хотя величины скоростей различны. Незначительно отличается лишь восточная часть моря (Поти, Батуми), где минимум скорости сдвинут по времени на конец лета начало осени, тогда как на остальной части акватории минимум приходится на летние месяцы [6]. Указанные особенности годового хода скорости ветра и ее пространственного распределения проявляются также в полях касательного напряжения ветра над Черным морем.

Ветровое волнение моря. Значительная площадь Черного моря, малая изрезанность береговой линии, слабое и кратковременное развитие ледяного покрова, частое прохождение циклонов и сильные северные и северо-восточные ветры, особенно в холодный период года, создают благоприятные условия для развития ветрового волнения, зыби и прибоя. Сильные ветры чаще всего наблюдаемые зимой и в периоды смены типов атмосферной циркуляции ранней весной и поздней осенью определяют частоту появления интенсивных штормов [5].

В абхазской акватории Черного моря в течение года доминирует слабое и умеренное волнение, высота волн, которых не превышает 1 м и их повторяемость составляет 77% (рис.7). Повторяемость волн, высотой более одного метра (3-5 баллов) в течение года составляет 23%.

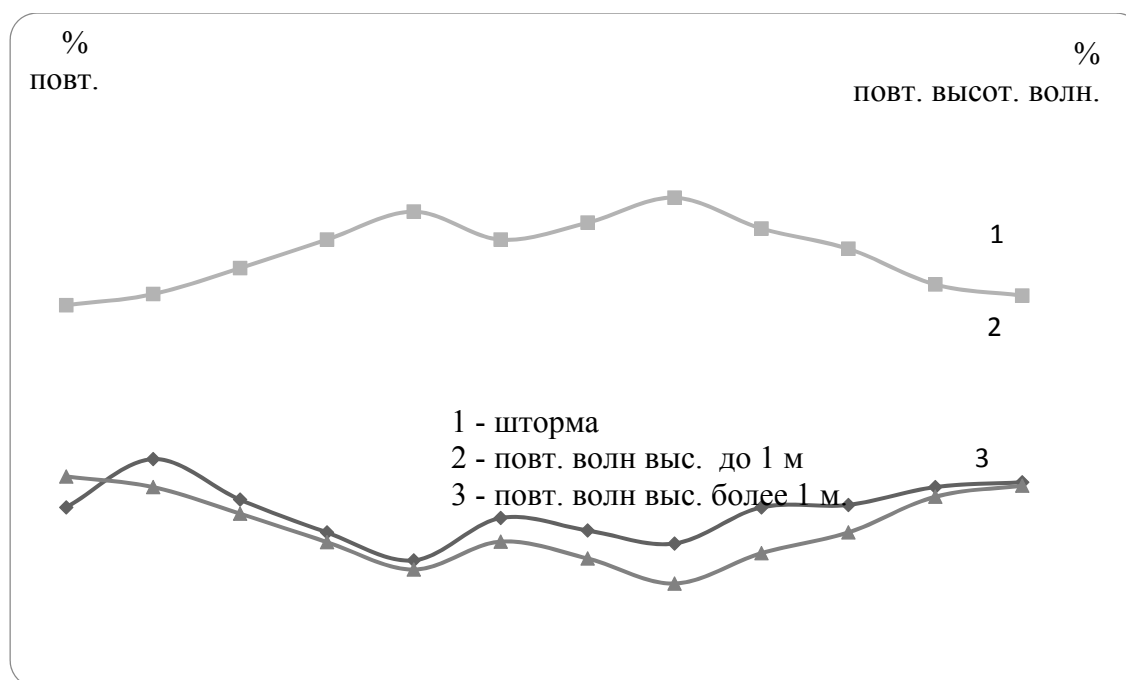


Рис. 7. Среднемесячное распределение частоты штормов силой до 5 баллов и высоты волн (в процентах).

Летом повсеместно преобладает волнение силой 1-2 балла, повторяемость таких волн составляет 85,4%. Зимой их повторяемость уменьшается и составляет 69,1% (см. рис. 7). Волны высотой более одного метра (3-5 баллов) чаще всего наблюдаются в зимний период, повторяемость их достигает в этот период 30,9 %, что очевидно связано с усилением атмосферной циркуляции в это время.

В среднем в течение года наблюдаемость штормов силой до 5 баллов составляет 90 дней, в отдельные годы количество таких штормов составляет более 140 дней (2004 г.). Наибольшее количество штормов наблюдается в феврале и составляет 35,8%, наименьшее в мае – 14,8% (рис. 7).

Количество штормовых дней силой 6 баллов в течение всего периода наблюдений (2002 – 2014 гг.) составило 9 дней, и имело место в 2003, 2004, 2009, 2010, 2013, 2014 годах. Высота волн от 3,5 м до 5,3 м наблюдались с октября по февраль, и их повторяемость не превышает 0,8%. Наибольшее количество дней с сильными штормами наблюдается в феврале и составляет 33%. Наибольшая высота волн наблюдалась в декабре 2009 года (5,3 м). Волны высотой более 6 м за период наблюдений зафиксированы не были. Режим волнения вблизи берега, прежде всего, определяется ветром, но также большую роль играет характер изменения глубин при подходе к берегу, извилистость и общее направление береговой линии. Режим волнения в сухумской акватории также обуславливается циклонической циркуляцией

воздуха, в результате которой ветры южных и западных румбов, дующие в передних частях циклонов, являются причиной зыби.

В сухумской акватории в течение года в процентном отношении доминирует ЮЗ направление волнения моря (23,1%). Наименьшее среднегодовое значение приходится на северо-западное и северо-восточное направление (1,0% и 1,4% соответственно). В зимний сезон преобладающим направлением волнения является южное с повторяемостью 23,9% (декабрь 24,6%, январь 26,5%, февраль 20,5%), для летнего периода характерно возрастание роли западного волнения 30,7% (июнь – 33,6%, июль – 27,5%, август – 31%) (рис. 9). Этот факт хорошо согласуется с увеличением в летний период повторяемости западных ветров. А западные ветры кроме того являются сильными ветрами ($v_{cp}=3,0$ м/с).

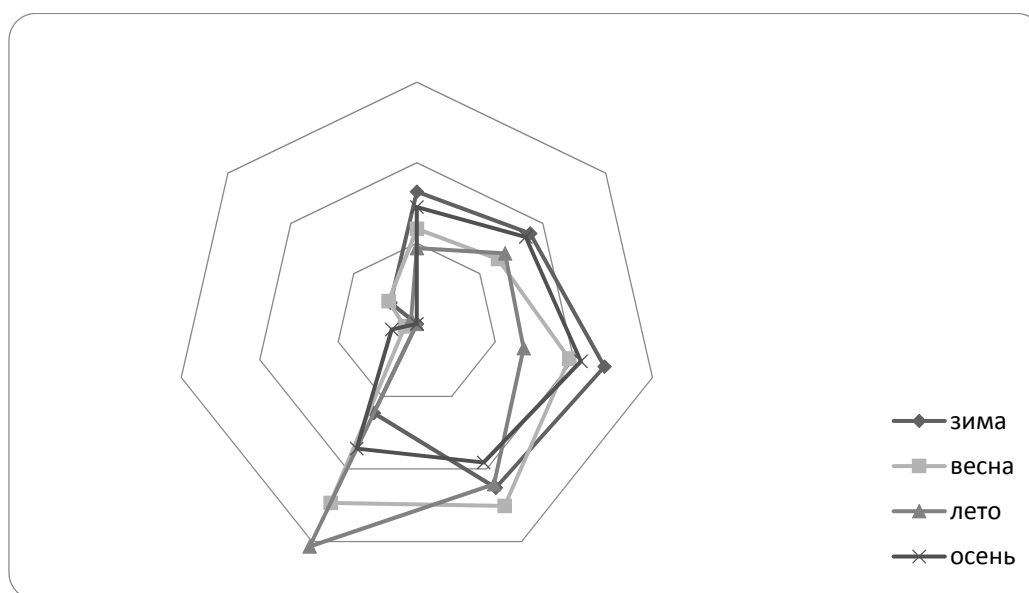


Рис.9. Сезонные значения волнения моря (в процентах) в период с 1999 по 2014 гг.

Наибольшая повторяемость волнения моря юго-западного направления наблюдается весной (25,1%), юго-восточного – зимой (18%). Наибольшее северо-восточное направление волнения наблюдается в холодное время года, в весенний период составляет 4,5 % и в зимний 4,2 %, северо-западное доминирует в осенний период (3,2%). Наибольшая повторяемость волнения моря восточного направления наблюдается зимой (16,4%). Северное направление волнения в сухумской акватории не наблюдается вообще.

Следовательно, волнение западного горизонта доминирует в летний сезон, а южного в зимний.

Заключение

Среднегодовая температура морской воды в период регионального потепления (1993-2014) увеличилась на 0,8°C, тренд годовой температуры обусловлен в основном повышением летних и осенних температур поверхностных морских вод.

В зимний период повторяемость направлений ветра восточных румбов наибольшая, а в летний – преобладают западные румбы.

Наибольшими скоростями обладают юго-восточные и западные ветра, скорость которых, в отдельные моменты может достигать 12-16 м/с.

Юго-западные и южные направления ветрового волнения моря, в зимний период доминируют, в летний – западное.

Наибольшая повторяемость штормов наблюдается в феврале (35,8%).

Литература

1. Гицба Я.В. Экба Я.А. Динамика гидрофизических параметров абхазской акватории Черного моря. Материалы одиннадцатого международного симпозиума «Проблемы экоинформатики». МНТОРЭС им. А.С. Попова. Москва, 2014. С.76-80.

2. Гицба Я.В. Многолетняя и сезонная изменчивость климатических факторов абхазской акваторией Черного моря. Известия вузов Северокавказского региона. – Ростов-на-Дону, 2007. – №5. – С. 18-25.

3. Наставление по гидрометеорологическим станциям и постам. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – Вып. 9. – ч. 1. – 312 с.

4. Титов В.Б., Савин М.Т. Об оценке температурного режима атмосферы, формирующего гидрологическую структуру Черного моря // Метеорология и гидрология.2000. №10. С.78 -84.

5. Экба Я.А., Дбар Р.С., Гицба Я.В. Ветровое волнение и абразия черноморского побережья Абхазии. Морские берега – эволюция. Экология, экономика: Материалы XXIV Международной береговой конференции г.Туапсе, Т.2, 2012. С. 113-123.

6. Экба Я.А. Дбар Р.С. Экологическая климатология и природные ландшафты Абхазии. Сочи: «Папирус-М-Дизайн», 2007.- 324

АНАЛИЗ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А.С. Ковалева

*Майкопский государственный технологический университет
г. Майкоп, Россия*

E-mail: miss-n-cowalewa2013@ya.ru

Предприятия нефтяной и газовой промышленности выполняют функции разведки, добычи, переработки, хранения газа, газового конденсата и нефти, поставки потребителям внутри страны и за рубежом углеводородного сырья. Во всех видах такой производственной деятельности окружающая природная среда используется как источник потребляемых природных ресурсов и как природная емкость для хранения углеводородного сырья, а также для сброса непригодных для дальнейшего использования на данном этапе развития производственных отходов. Поэтому такие предприятия следует рассматривать как источники комплексного воздействия на окружающую среду и, прежде всего, через гидро-, лито- и атмосферу. Последствия такого воздействия нередко проявляются на значительных расстояниях от источников. Взаимодействие осуществляется путем переноса, за счет

гидравлической связи, фильтрации, сорбции, хемосорбции, осаждения и испарения.

Таблица 1. Неблагоприятное влияние на окружающую среду поисковых, разведочных и эксплуатационных работ на нефтяных и газовых месторождениях.

Производственные этапы	Природные объекты		
	Литосфера	Гидросфера	Атмосфера
Поиск	Нарушение и загрязнение почвенного и растительного покрова. Активация экзогенных геологических процессов.	Загрязнение поверхностных и подземных вод промывочной жидкостью.	Аварийные выбросы нефти и газа в процессе бурения и освоения скважин.
Разведка	Отчуждение земли под строительство буровых установок и размещение временных поселков. Снижение биопродуктивности экосистем.	Засоление поверхностных водоемов, при самоизливе рассолов вскрытых структурно-поисковыми и разведочными скважинами.	Газопылевое загрязнение при строительстве дорог и промышленных площадок.
Добыча	Изъятие земель из сельскохозяйственного оборота под нефтепромысловые объекты.	Нарушение изолированности водоносных горизонтов из-за перетоков.	Загрязнение УВ, сероводородом, оксидами серы и азота при эксплуатации скважин. Выделение отработанных газов транспортными средствами и

Проблемы геоэкологии XXI века проявляются все больше из-за изменяющихся условий поиска, разведки и разработки месторождений нефти и газа, а также по большей части при бурении скважин. В связи с возрастанием глубины разведочных и эксплуатационных скважин ведутся поиски залежей и коллекторов нефти и газа, у которых более сложное строение и которые имеют более жесткие термобарические условия залегания. Это требует внедрение новых технологий в области геофизических исследований скважин, поставляющим информацию, которая является основой для принятия важных

технических и научных решений на всех стадиях поисков, разведки и добычи нефти и газа.

Основные проблемы, возникающие в современных условиях бурения скважин, поисках и разведке нефти и газа, сводятся к следующим воздействиям: на атмосферный воздух, на землю и почву, на природные источники воды.

Влияние на атмосферу. Эксплуатация технологических установок и агрегатов предприятий нефтегазового комплекса сопровождается неизбежными выбросами вредных веществ в атмосферу. Воздействие объектов нефтегазового комплекса на природу обусловлено токсичностью природных углеводородов и сопутствующих им ресурсов, разнообразием химических веществ, используемых в технологических процессах. Основными видами сырья являются нефть, природный и попутный газы. К попутной продукции относятся конденсат, нефть, жидкое углеводородное топливо, сера, меркаптаны.

Для промышленного извлечения нефти и газа из недр земли применяют строительство эксплуатационных скважин.

Бурение скважин обычно производится двумя способами: амбарное и безамбарное бурение. При первом способе предполагается временное накопление бурового шлама, буровых растворов, сточных вод и прочих технологических жидкостей в шламовых амбарах; а при втором - накопление в шламовых амбарах только выбуренной породы. [1]

Строительство скважины производится на предварительно отсыпанной местности (площадке). В состав объектов и оборудования буровой площадки входят следующие сооружения:

- силовой и вышечный блоки;
- устье скважины;
- амбар противовыбросового оборудования;
- амбар отстойник буровых сточных вод;
- амбар очищенных вод;
- площадка под горюче-смазочные материалы;
- дизельная электростанция;
- котельная;
- вспомогательные сооружения.

Из перечисленных объектов наибольшую опасность для окружающей среды представляют амбары и площадки под горюче-смазочные материалы.

Ориентировочная схема расположения объектов на территории нефтяного месторождения представлена на рис. 1.

Чтобы построить эти сооружения с минимальными угрозами окружающей среде, предъявляются особые требования: снятие растительного слоя со всей площади амбара и рытье дренажной канавы по контуру; разработка и рытье котлованов бульдозером и погрузка грунта в самосвалы для сооружения обваловки; устройство предварительного гидроизоляционного экрана котлована из грунто-битумно-бетонной смеси с последующим покрытием пленкой.

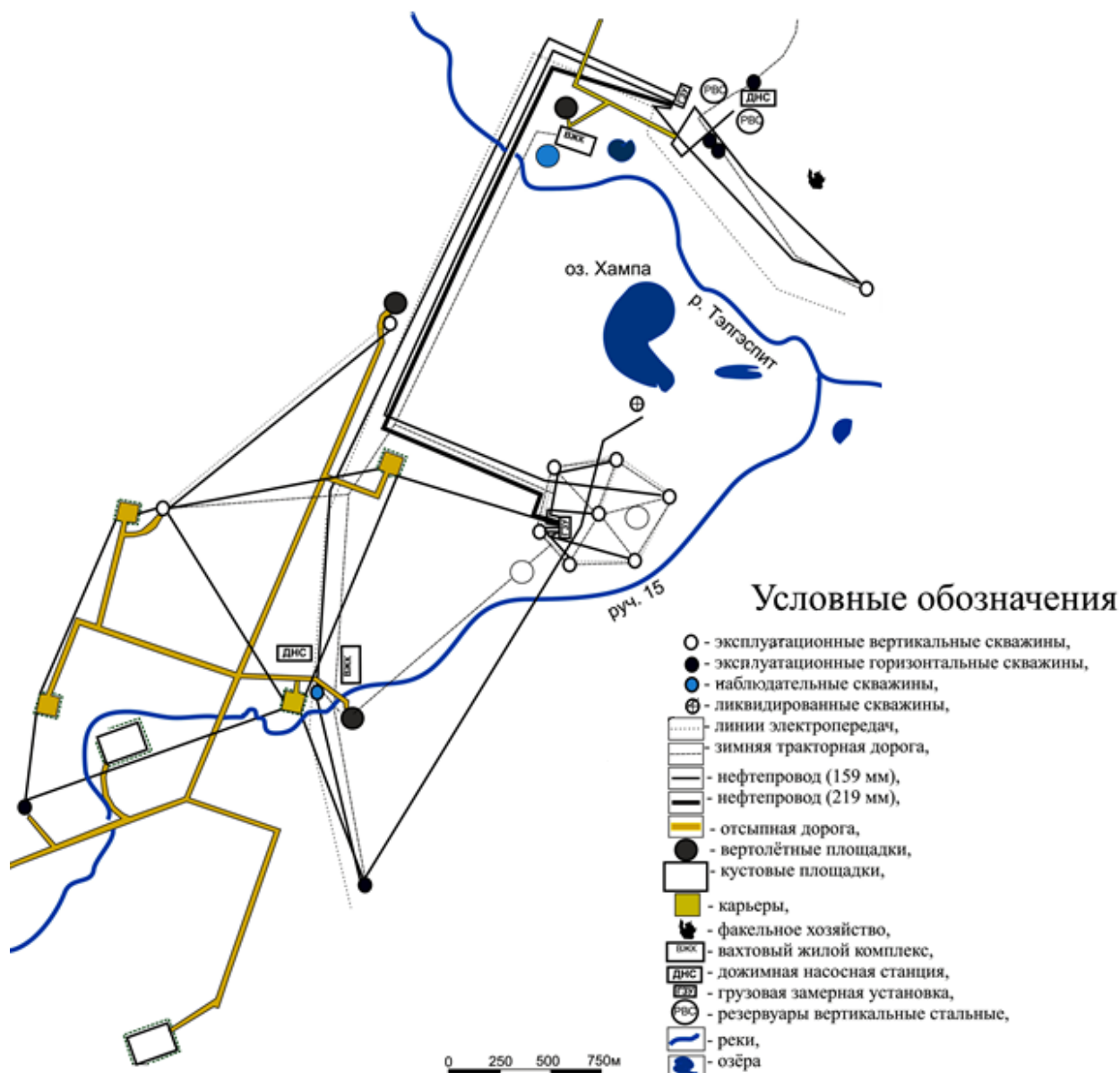


Рис.1 – Схематический план расположения объектов на территории Малореченского нефтяного месторождения

В процессе бурения с целью уменьшения объема котлованов и норм отвода земель предусматривается периодическое осветление буровых сточных вод и повторное их использование. Для этого отходы в котлованах отстойниках обрабатываются раствором коагулянта, после чего происходит их расслоение на загущенную и жидкую фазу.

После окончания бурения осветленная вода очищается и используется в нагнетательных скважинах для закачки в пласт. Твердая фаза отходов, оставшаяся в котловане, подвергается отверждению с последующей засыпкой котлована грунтом.

Часто из-за плохого обвалования не обеспечивается должная герметичность котлованов-отстойников, в результате чего неочищенный раствор попадает на территорию кустовых площадок, в овраги и поверхностные водоемы. В паводковый период уровень в котловане

повышается, и, в результате переполнения и отсутствия прочной обваловки, загрязненная нефтесодержащая сточная вода растекается по территории и по уклону местности попадает в водоемы. [2]

После того, как скважина пробурена, ее подвергают геофизическим исследованиям. Они в свою очередь имеют большое количество методов (каротажи, перфорация, контроль над разработкой месторождения). И только затем переходят к извлечению нефти из недр земли, который состоит из трех этапов:

1) движение нефти по пласту к скважинам вследствие разности давлений в пласте и забое скважины. Для обеспечения перемещения нефти в пласте к забою в пласт нагнетается вода или пар;

2) движение нефти от забоя скважин до устья на поверхности. Оно достигается или путем естественного фонтанирования под давлением энергии пласта, или при помощи механизированных способов поднятия жидкости – газлифтного или глубинно-насосного. При газлифтном способе в скважину с помощью компрессоров нагнетается углеводородный газ, который делает возможным подъем нефти на поверхность. В то время как при глубинно-насосном способе добычи используют установки электроцентробежных погружных (штанговых, гидропоршневых или винтовых) насосов;

3) сбор нефти и сопутствующих продуктов на поверхности, отделение газа и воды от нефти, сбор попутного газа, возврат воды в пласт.

В целях увеличения добычи нефти и интенсификации притока флюидов в скважину, а также для изменения характера притока жидкости из пласта к забою скважины применяют гидравлический разрыв пласта. Сущность гидроразрыва заключается в том, что посредством нагнетания высоковязкой жидкости при высоком давлении происходит разрыв породы пласта, в результате чего происходит расширение естественных и образование искусственных трещин в продуктивном пласте. Негативными последствиями гидроразрыва являются разрушительные процессы в самом грунте и в почве, вплоть до сейсмической нестабильности и землетрясений, проседание почвы в местах гидроразрыва, а также для поддержания трещины в открытом состоянии в коллекторах используется расклинивающий агент-проппант или кислота, разъедающая стенки созданной трещины. Эти агрессивные вещества могут попадать в водоносные слои, загрязняя их. [3]

Так как экономический рост объема добычи нефти и газа в настоящее время нерегулярный и увеличение темпов с каждым годом только растет, быстрое извлечение природных ресурсов ведет к деградиационным процессам в литосфере, таким как обвалы, провалы, локальные землетрясения. При длительной эксплуатации месторождения и интенсивном истощении пород повышается сейсмоопасность прилегающих территорий и возможно обрушение верхнего слоя.

Сырая нефть под собственным давлением поступает на замерные установки, затем перемещается на дожимную насосную станцию, где происходит первичное отделение газа от нефти.

Затем газ поступает на газоперерабатывающую установку или факел, а нефть поступает на установку подготовки нефти. Здесь происходит дальнейшая сепарация газа от нефти, обезвоживание и обессоливание нефти. Очищенная нефть, после оценки ее качества и количества, направляется в товарные резервуары.

Подача нефти и газа потребителям осуществляется транспортом трубопроводным; водным (танкеры, баржи); железнодорожным (цистерны).

В настоящее время практически вся нефть и природный газ транспортируются по магистральным нефте- и газопроводам. Магистральными называют трубопроводы, перекачивающие продукцию на значительные расстояния. Трубопроводы, эксплуатирующиеся на месторождениях, называются промысловыми.

Нефтепроводная система включает:

- 1) линейную часть трубопровода с вдольтрассовыми сооружениями и переходами через водные преграды;
- 2) нефтеперекачивающие станции.

Перед пуском в эксплуатацию, после монтажа и крепления на опорах, установки всей аппаратуры, проводят испытания трубопроводов на герметичность. Для этого используют промывку водой. Слив воды из трубопровода после испытаний производится в специально подготовленные амбары в виде котлованов с обваловкой. После отстоя чистая вода сливается на рельеф, амбары засыпаются вынутым грунтом.

Переходы через водные преграды являются наиболее экологически уязвимыми участками линейной части трубопровода.

При строительстве подводных трубопроводов и мостовых переходов водоем подвергается массивному воздействию мощной строительной техники, при этом наиболее часто страдают малые реки и водоемы, для которых такое вмешательство особенно губительно.

Береговые траншеи разрабатываются экскаваторами. Длина таких траншей достигает 50-100 м от береговой линии, а глубина - 15 м над уровнем воды. Если не выполнить обратную засыпку этих траншей, то в результате воздействия периодических подъемов уровня воды в реке, а также талых и дождевых вод береговая траншея со временем превращается в глубокий овраг. Непоправимый вред земляные работы наносят малым рекам (шириной до 30м). Иногда они отводятся в сторону или пересыпаются земляными дамбами, а по окончании строительства восстановление русла не производится. Наибольший вред наносится животному миру реки или водоема при разработке траншей взрывом, которые к тому же, как правило, производятся неоднократно. На строительных площадках растительность практически полностью уничтожается, если по завершении работ растительность не восстановить, то впоследствии берег реки будет разрушаться.

Для снижения техногенной нагрузки используют специальные приемы бестраншейного бурения, позволяющие сократить воздействие трубопроводов на русло реки и ее обитателей. [4]

Экологическими проблемами традиционных методов бурения при организации переходов через водные преграды являются: устройство подводных траншей, неустойчивость трубопровода из-за укладки его выше линии предельных деформаций дна и берегов реки, изменение естественного режима водного объекта и нанесение ущерба рыбному хозяйству. Для решения этих проблем целесообразно наклонно-направленное бурение. Однако, в наклонном бурении при больших углах и наличии горизонтальных участков, требуется применять более сложные средства, а это приводит к большим экономическим затратам.

Нефтеперекачивающие станции - самый сложный комплекс сооружений магистрального нефтепровода, который включает:

- магистральная и подпорная насосные станции;
- узлы регулирования давления;
- резервуарный парк и пункт подогрева нефти;
- технологические нефтепроводы и оборудование вспомогательных систем;
- узлы технологических задвижек и оперативного учета нефти;
- аварийно-восстановительный пункт;
- производственно-вспомогательные объекты водоснабжения и водоотведения, электроснабжения;
- административно-хозяйственные постройки. [5]

Одним из основных технологических сооружений НПС являются резервуарные парки, представляющие собой группу однотипных резервуаров, объединенных трубопроводными коммуникациями. Эти резервуары являются наиболее экологически опасными объектами НПС.

К технологическим объектам, способным выделять загрязняющие вещества (ЗВ) в атмосферу, относятся:

- буровые установки;
- скважины;
- газовые промыслы;
- установки сбора и подготовки нефти, газа и конденсата;
- нефте- и газоперерабатывающие заводы;
- компрессорные станции;
- линейная часть магистральных газопроводов;
- станции подземного хранения газа;
- газораспределительные станции;
- энергетические установки;
- морские платформы;
- механические и ремонтные заводы.

Характерные загрязняющие вещества.

Помимо самих природных углеводородов в составе загрязнителей содержатся многочисленные реагенты, катализаторы, поверхностно-активные вещества, ингибиторы, щелочи, кислоты, вещества, образующиеся при сжигании, химическом превращении и т.д.

Воздействие на гидросферу. Стоки предприятий нефтегазового комплекса – это жидкие отходы, которые образуются в процессе производственной деятельности и хозяйственно-бытового функционирования предприятий. А именно это: технические воды после промывки оборудования, сточные воды с установок водоподготовки, конденсационно-пластовые сточные воды (буровые сточные воды), пластовые воды из резервуарных парков, воды от прямоточных схем охлаждения различного оборудования. [6]

При этом большую часть на добывающих предприятиях составляют минерализованные сточные воды, на транспортных предприятиях – хозяйственно-бытовые сточные воды, на перерабатывающих предприятиях – воды от систем охлаждения.

Применяемые реагенты при добыче, подготовке и переработке нефти и газа.

Основные загрязняющие вещества в сточных водах нефтепромыслов: нефть, соли, взвешенные вещества, деэмульгаторы, сероводород.

Основные загрязнители сбрасываемых бытовых сточных вод: взвешенные вещества, сухой остаток, аммоний-ион, нитриты, нитраты, хлориды, сульфаты.

Воздействие на литосферу.

При освоении, обустройстве и эксплуатации месторождений нефти и газа в значительной мере изменяется природный ландшафт. Почвенный покров – основной элемент ландшафта – первым испытывает на себе это воздействие. В связи с механическим нарушением и нередко химическим загрязнением происходит постепенная деградация почв, которая стала одной из основных экологических проблем нефтегазового комплекса. Наибольший ущерб приносят аварии на магистральных нефте- и газопроводах.

Так при одном порыве нефтепровода выбрасывается в среднем 2 т нефти, что выводит из строя 1000 м³ земли, а в результате аварии на газоконденсатопроводе на землю в среднем попадает не менее 2 млн т/год нефтепродуктов. [7]

Деградация почв принимает формы химического загрязнения, опустынивания, заболачивания и т.д.

Механические нарушения почвенного покрова наблюдаются на всех объектах нефтяной и газовой отрасли и связано с возведением буровых установок, устьевого оборудования, прокладкой трубопроводов, строительством промышленных корпусов, жилых поселков и коммуникаций, снятием плодородного слоя, засыпкой траншей, обустройством амбаров.

Химическое загрязнение почв на объектах нефтегазовой промышленности:

– при добыче: возникновение газовых и нефтяных фонтанов, самовозгорание газа, выбросы подземных высокоминерализованных вод, сброс загрязненных сточных вод в природные водоемы, разлив буровой жидкости, ликвидация амбаров, разлив метанола, поступающего от установки регенерации, складирование шлама (отходов), излив пластовой смеси, выбросы продуктов сгорания топлива;

– при транспортировке: разлив углеводородного конденсата, ингибиторов коррозии, гидратообразование во время продувок и скребковой очистки магистральных газопроводов, разлив турбинного топлива, метанола, органических кислот, поверхностно-активных веществ, смазочных компрессорных масел, выбросы продуктов сгорания от топливоиспользующего оборудования;

– при переработке: разлив и утечки конденсата и смазочных масел, а также химреактивов (метанола, диэтиленгликоля). [8]

Загрязняющие экологию вещества подразделяются на три типа: жидкие (нефтяные углеводороды, минерализованные пластовые воды, химреактивы, буровые растворы), газообразные (попутный и природный газ и продукты сгорания топлива) и твердые (шламы, серная пыль во время переработки сернистого углеводородного сырья).

Таким образом, примеры образования чрезвычайных ситуаций на объектах нефтегазовой промышленности обязывают делать серьезные выводы. Негативное влияние на геоэкологию нефтегазовой промышленности должно породить предупреждающие и предотвращающие действия:

1) проведение теоретических и экспериментальных исследований в области механики нефтегазоносных пластов применительно к актуальным проблемам геологии, геофизики, бурения и разработки месторождений;

2) решение природоохранных проблем разработки месторождений осуществлять на основе мониторинга экологической обстановки с помощью дистанционных методов;

3) геолого-геофизические наблюдения за месторождением завершать созданием компьютерной модели;

4) создание необходимых условий для исследований закономерностей фазовых переходов жидких и газообразных углеводородов при термобарических условиях, характерных для разработки вновь открываемых месторождений;

5) вскрытие пластов с наклонными и горизонтальными скважинами,

6) разработку новых технологий первичного и вторичного вскрытия пласта;

7) тщательное изучение результативности применения гидравлических разрывов пласта с использованием высокого давления, специальных жидкостей для разрыва и закачки в пласт агентов по закреплению трещин.

Литература

1. Булатов А.И. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности. / А. И. Булатов, П. П. Макаренко, В. Ю. Шеметов . – М.: Недра, 1997. – 482 с.

2. Тетельмин В.В. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. / В.В. Тетельмин, В.А. Язев. – Долгопрудный: Интеллект, 2011. – 352 с.

3. Хаустов А.П. Охрана окружающей среды при добыче нефти. / А.П. Хаустов, М.М. Редина. – М.: Дело, 2006. – 552 с.

4. Гриценко А.И. Экология: нефть и газ. / А.И. Гриценко, В.М. Максимов, Р.О. Самсонов – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Академкнига, 2009. –679 с.

5. Саксонов М.А., Экологический мониторинг нефтегазовой отрасли. / М.А. Саксонов, А.Д. Абалаков, Л.В. Данько, О.А. Бархатова. – Иркутск: Иркут. Ун-т, 2005. –114 с.
6. Орлов Д. С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, И.Н. Лозановская. – М.: Высш. Шк., 2002. –334 с.
7. Давыдова С.Л. Нефть как топливный ресурс и загрязнитель окружающей среды. / С.Л. Давыдова, В.И. Тагасов. – М.: РУДН, 2004. –131 с.
8. http://www.dslib.net/economika-xozia_adygea@rosnedra.gov.rujstva/sovershenstvovanie-jekonomicheskogo-mehanizma-prirodopolzovanija-i-ohrany-okruzhajuwej.html

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ АДЫГЕИ КАК ОСНОВА ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО ОТДЫХА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ

Л.А. Кориневич

*Департамент по недропользованию ЮФО
г. Майкоп, Россия*

E-mail: adygea@rosnedra.gov.ru

По долине реки Белой, от широты города Майкопа до станции Абадзехской, разведано 4 месторождения минеральных вод (Майкопское, Абадзехское, Курджипское и Ханское) и 1 месторождение минеральных термальных вод, на базе которого построен Тульский термоводозабор. Месторождения эксплуатируются более 30 лет и запасы минеральных вод, состоящие на Государственном балансе запасов полезных ископаемых Российской Федерации, составляют более 6 тысяч кубических метров в сутки.

Высокоминеральные йодо-бромные воды Майкопского месторождения используются для бальнеолечения. На базе этого месторождения, на южной окраине города Майкопа, функционирует водолечебница.

Хлоридно-сульфатные, сероводородные воды Абадзехского месторождения также используются в бальнеологических целях филиалом санатория «Лесная Сказка», в окрестностях п. Каменноостровский.

Маломинеральные воды Курджипского месторождения применяются в бальнеологических целях санаторием «Лагонаки» в п. Краснооктябрьский и используются для промышленного розлива как лечебно-столовые воды под наименованием «Кавказский источник».

Маломинеральные гидрокарбонатные натриевые воды Ханского месторождения разливаются в бутылки как лечебно-столовая минеральная вода «Майкопская».

Минеральные воды на разведанных месторождениях вскрыты 14 скважинами глубиной от 400 до 2000 метров. В промышленном освоении 7 скважин.

Вместе с тем, по результатам геологоразведочных работ за счет средств федерального бюджета, проведенных в 2009 году, выделено 9 новых участков

по долинам рек Белой, Фарс и Хокодзь. Ресурсный потенциал минеральных вод на выделенных участках составляет 3,5 тысячи кубических метров в сутки.

Непосредственно в горах месторождения минеральных вод не разведывались. По данным геологических съемок отмечаются малодобитные родники минеральных вод с сероводородом. Но аналогичные месторождения есть в предгорьях.

Отмечу, что в долине реки Желобной выявлены ультрапресные подземные воды с минерализацией в 5 раз ниже привычной нам питьевой воды и высоким содержанием соединений кремния, за счет чего вода опалесцирует. Понятно, что при таком низком содержании солей воду возможно использовать в бальнеологии. Но бальнеологические свойства ультрапресных вод требуют изучения.

Разведанные на территории Республики теплоэнергетические воды могут быть использованы в курортно-оздоровительных целях. Так, Тульский термоводозабор состоит из 10 эксплуатационных скважин, пробуренных по долине реки Белой от п. Темирязево до п. Тульский. Запасы теплоэнергетических вод составляют 4,75 тысяч кубических метров в сутки. На левобережье Белой скважины 12 и 9 выводят минеральные термальные воды с температурой до 86 градусов на устье и невысокой минерализацией 3-4 грамма на литр, без вредных компонентов. Нарбатывается практика их использования в оздоровительных бассейнах.

В районе станции Абазехской в 80-х годах опосредованно обнаружен участок низкотермальных вод с температурой воды на устье скважин 39-40 градусов. Этот участок также представляет интерес, так как здесь термальные воды залегают на глубинах 170-400 м и воды по составу пресные и маломинерализованные, высокодебитные, могут быть утилизированы без вреда для окружающей среды.

В заключении о лечебных глинах. Лечебные глины выявлены в северо-западнее станции Новосвободной в результате геологоразведочных работ за счет средств недропользователя - ООО «Мацеста». Возможность лечебного применения глин Новосвободненского месторождения подтверждена Медицинским заключением Пятигорского НИИ курортологии. В настоящее время глины проходят испытания в грязелечебнице города Краснодара.

Годовая добыча на месторождениях минеральных вод Республики Адыгея не превышает 5 % от утвержденных запасов. Отмечу для сравнения, что по месторождениям Кавказских минеральных вод этот показатель составляет 10-15 %. То есть запасов минеральных вод на осваиваемых и обустроенных месторождениях Республики Адыгея достаточно для расширения их использования в лечебно-оздоровительных целях. Имеется ресурсный потенциал для выделения новых участков подземных минеральных вод, пригодных для бальнеоприменения на планируемых объектах оздоровительного отдыха.

СОСТОЯНИЕ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕЯ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СФЕРЕ ТУРИЗМА

Н.К. Костарнова

*МБЮУ СЮШ № 16
Майкопский район, Россия*

E-mail: nika-nkl@mail.ru

«Земля одна, а мир многообразен.
Мы все зависим от биосферы, без которой
не может сохраниться наша жизнь».
(Доклад Международной комиссии
по окружающей среде и развитию)

В 1980 г. Международный союз охраны природы и природных ресурсов опубликовал «Всемирную стратегию охраны природы», являющуюся новой философией охраны природы. Развитием этой стратегии стали рекомендации и принципы, изложенные в документах конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992). В 1995 году в России была ратифицирована «Конвенция о сохранении биологического разнообразия», законодательная деятельность в этой области, стала важным этапом в разработке национальной природоохранной политики.

В Федеральном законе «Об особо охраняемых природных территориях» записано: «Особо охраняемые природные территории - участки земли, водной поверхности и воздушного пространства над ними, где располагаются природные комплексы и объекты, которые имеют особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение, которые изъяты решениями органов государственной власти полностью или частично из хозяйственного использования, и для которых установлен режим особой охраны. Особо охраняемые природные территории относятся к объектам общенационального достояния» [7, с.1]

Настоящий Федеральный закон регулирует отношения в области организации, охраны и использования особо охраняемых природных территорий в целях сохранения уникальных и типичных природных комплексов и объектов, достопримечательных природных образований, объектов растительного и животного мира, их генетического фонда, изучения естественных процессов в биосфере и контроля за изменением ее состояния, экологического воспитания населения.

Я в своем докладе хочу уделить внимание вопросу о состоянии особо охраняемых природных территорий в Республике Адыгея, как они используются в туристской сфере и насколько это соответствует рациональному природопользованию. Известно, что памятники природы – это

отдельные достопримечательные природные объекты, имеющие научное, историческое и культурно-оздоровительное значение. Главное при вовлечении этих объектов в туристскую деятельность – обеспечение рационального использования и сохранения целостности и уникальности объекта.

Адыгея – республика на Северном Кавказе. Удивительно красива и разнообразна природа Адыгеи. Это высокие горы, быстрые реки, звонкие водопады, таинственные пещеры. Широкие возможности дает природа для развития туризма. И туризм остается приоритетным в развитии региона. В 2002 году была разработана концепция развития туризма в Адыгеи. Целью Концепции является создание в Республике Адыгея экономически эффективного, социально ориентированного и экологически устойчивого туристического комплекса. В ней записано: «В результате осуществления Концепции будут созданы условия для сохранения и возрождения объектов культуры и природного потенциала республики, прежде всего в важнейших центрах развития туризма: на высокогорном плато Лаго-Наки, в районах поселка Хамышки, поселка Гузерипль, в Природном парке "Большой Тхач", поселка Каменноостского, поселка Победы и поселка Новопрохладного, в долине реки Курджипс, а также в аулах и казачьих станицах, имеющих богатые исторические традиции» [5, с.6].

В «Докладе о результатах и основных направлениях деятельности на 2014-2016 годы» (Комитет Республики Адыгея по туризму и курортам) говорится, что одна из главных целей «обеспечение рационального использования и возобновления природно-рекреационных ресурсов» [3, с.2] Программа обширная, открываются широкие горизонты развития туристской сферы. Большой упор происходит на эксплуатацию памятников природы, как основных экскурсионных объектов. При использовании природных объектов для туризма наблюдаются как положительные, так и отрицательные моменты.

Самым уникальным объектом является нагорье Лагонаки. Лагонаки - это часть гор Западного Кавказа в междуречье Белой и Пшехи. Здесь на небольшой площади (650 кв. км) наблюдаются громадные, скалистые массивы типичного высокогорья, покрытые ледниками и снежниками, которые сменяются наклонными плато лесистых средневысотных хребтов. Растительный и животный мир нагорья весьма разнообразен. Ярко наблюдается высотная поясность. Альпийская растительность Лагонакского нагорья развивается на высоте более 2100 - 2200 м над уровнем моря. Мир высокогорных лугов характеризуется богатством реликтовых и эндемичных форм. Так в горной группе Фишта произрастают 540 видов растений, из которых 120 видов являются эндемичными. Это убедительный показатель уникальности района!

Прочитав о красоте природы нагорья Лагонаки, едут сюда туристы со всех уголков России и ближнего зарубежья. Сюда тянутся опытные альпинисты и пешеходники, спелеологи и велотуристы, любители конного туризма и зимних видов спорта. Знаменитые маршруты, которые пользовались популярностью еще с середины двадцатого века, проходят через это нагорье.

Сейчас, после строительства автомобильной дороги до Партизанской поляны, Фишт стал доступней, поэтому количество туристов возросло.

Ежегодно я совершаю путешествие в этот сказочный уголок Земли. И у меня вызывает беспокойство, что туризм у нас продолжает быть диким, стихийным. На приюте Фишт домики нуждаются в ремонте, других приютов для приема туристов нет, не оборудованы стоянки. С южной стороны хребта Каменное море альпика яркая, буйная, в районе горы Абадзеш и хребта Мурзикао растет низкая травка, много конского щавеля, чемерицы Лобеля, наблюдается отсутствие многих цветковых растений. Это результат того, что альпийские луга долгое время используют под пастбища. Летом мы здесь видели табуны лошадей и стада коров. Много лет говорят о том, что нельзя вести выпас скота в этом горном районе, но, несмотря на то, что это зона заповедника, уничтожение альпийской растительности продолжается.

С каждым годом увеличивается поток туристов, поэтому встает проблема мусора. Для туристов должен быть закон: «Все, что принес в горы, забираю и уношу с собой». Но многие поступают типично – где отдыхаю, там свалка отходов. Так, например, стоят баки для мусора у подножья горы Блям, где обычно останавливаются группы на отдых, емкости переполнены, мусор вывозится нерегулярно, поэтому горы мусора рядом и на большой площади вокруг баков. Где экологическая культура у туристов? Удивляют меня туристы, которые идут в горы и берут с собой одноразовую посуду, которая затем оставляется на стоянках. И второй вопрос, почему вовремя не вывозится мусор, если емкости для сбора стоят? Другой способ борьбы с мусором. Я наблюдала, как на приюте Фишт заведующий приютом сжигал накопившийся мусор. Сгорая пластик, наполняет воздух неприятным запахом. Хочу вам напомнить, друзья, о глобальных процессах в атмосфере. Отсюда вывод: нужно вести просветительскую работу с туристами и работниками приютов, привлекать волонтеров, организовывать клубы, а также выявлять нарушителей экологии и наказывать их.

Особое беспокойство вызывает памятник природы «Верховье рек Пшеха и Пшехашха» который расположен в Майкопском районе Республики Адыгея на границе с Кавказским заповедником, он входит в состав объекта Всемирного Природного Наследия "Западный Кавказ". Дорога была подведена к бывшему приюту Водопадный, под западную стену Фишта. Массовый поток автомобилей, уничтожение альпийской растительности, горы мусора. Сейчас дорогу размыло, и это даже в пользу памятника. Однако проекты провести дорогу через этот уникальный комплекс к Черному морю остаются. «Начав строительство этой дороги, Россия грубо нарушает свои обязательства, принятые ею при присоединении к «Конвенции об охране Всемирного природного и культурного наследия». Строительство дороги ведет к разрушению уникальных природных комплексов девственных лесов верховий рек Пшеха и Пшехашха и нанесет невосполнимый ущерб природе Кавказского заповедника. Уже сейчас - на начальном этапе строительства разрушительному воздействию подверглись значительные по площади ландшафты лесных экосистем этого района. В дополнение к строительству

дороги на территории памятника природы идут интенсивные рубки леса с целью получения древесины» [2, с.1]

Одним из известных памятников природы в Адыгее является Большая Азишская пещера. Административно пещера находится на территории Апшеронского района, в южной части хребта Азиш-Тау. Большая Азишская пещера известна давно. Первое описание было опубликовано еще в 1911 году. Пещера состоит из трех крупных залов, соединенных переходами. В галерее нижнего этажа протекает подземная река, имеется водопад. Длина пещеры 640 м, оборудовано для экскурсий 220 м. Пещера богата натечными образованиями: сталактиты, сталагмиты, сталагматы, колонны, красивые ребристые натеки. Большая Азишская пещера является одной из самых красивых и интересных пещер Северо-Западного Кавказа. С 1973 года пещера объявлена памятником природы, с 1987 года является экскурсионным объектом. Пещеру спасли от разорения «дикими» туристами, и ежедневно ее посещают сотни туристов. Однако, очень большая интенсивность использования этого объекта. В результате микроклимат пещеры изменился, повысилась температура на 1° и в местах, где горят лампы, растет грибок.

В данном природном районе есть еще и другие пещеры, которые активно посещаются туристами. Пещера Нежная с красивыми натечными образованиями расположена у дороги на плато Лагонаки. Эта пещера оборудована для посещения, здесь поток туристов меньше, целостность данного памятника природы сохраняется. На хребте Азиш-Тау находятся такие пещеры как Красивая, Исиченко, Пикетная, которые приобрели популярность своей дикой красотой, но не оборудованы для посещения. Бесконтрольное посещение может повлечь за собой уничтожение натечных образований, изменение облика данных объектов. Сталактиты и их срезы мы наблюдаем в свободной продаже среди сувениров.

Есть еще один магнит притяжения любителей гор – это район горы Большой Тхач, который представляет собой скалистую стену длиной около 5 км высотой от 60 до 200 м. Скалистый гребень сложен триасовыми известняками. Высота 2368 м. Большой Тхач имеет статус природного парка. Основные объекты охраны: тур, олень, зубр, улар, тетерев, лесная кошка, бородач, сип белоголовый, стенолаз, пихта Нордмана, рододендрон кавказский. Удивляет то, что на территории, имеющей статус природного парка, ведутся интенсивные лесозаготовки. В местах лесозаготовок уничтожается весь природный комплекс. Не смотря на сигналы и протесты общественности «лес рубят, и щепки летят». А ведь этот уголок гор может занять достойное место среди известных национальных парков мира. Конечно, при условии строительства дороги и прекращения лесозаготовок.

По пути на Тхач, не далеко от поселка Новопрохладный, на реке Сахрай находится водопад Манькин шум. Река здесь течет в живописном ущелье. Были попытки оборудовать это место для отдыха населения, но дело до конца не доведено. Сложность для отдыхающих в труднодоступности объекта, полное отсутствие дороги от поселка до ущелья (около 3 км).

Большой известностью пользуются водопады Руфабго, которые радуют посетителей в любое время года. Руфабго – речка, левый приток реки Белая, длиной около 13 км. Долина реки проходит через горные породы разных геологических периодов. Основные породы – темно-серые мраморовидные известняки. В обнажениях видны складки залегания пород. Сейчас до четвертого водопада проложена удобная тропа. Этот объект находится у трассы, построен мост через реку, поэтому здесь всегда много туристов. Это положительно, что красота природы стала доступна людям, но можно сказать, что памятник природы изменен до неузнаваемости. Дикое ущелье превращено в парк отдыха, на поляне у первого водопада вы увидите туристский базар с бойкой торговлей сувенирами, шашлыками, напитками. А природа где? Она является заполняющим фоном для развлечений. Я хочу надеяться, что строительство лестниц и мостиков остановится и, хотя бы часть реки будет иметь первозданный вид. В ущелье сохранились реликтовые и эндемичные виды растений, поэтому Руфабго заслуживает охраны, так как имеет научное значение.

Кто приезжает в Адыгею, непременно посещает Хаджохскую теснину. Это каньон реки Белой, который представляет собой извилистую щель шириной 6 – 7 метров (сужаясь местами до двух метров); глубиной около 40 метров и длиной 400 метров. Находится каньон на юго-западной окраине поселка Каменноостского. Особенно выглядит впечатляюще теснина с моста, соединяющего ее берега. Внизу вода реки Белой бурлит, клокочет и пенится. Этот туристский объект оборудован в целях безопасности перилами, лестницами, он стал доступнее и безопаснее. Торговля сувенирами вынесена за пределы объекта, это обосновано, но природный памятник потерял свое лицо, насыщен отвлекающими объектами.

Большая Азишская пещера, водопады Руфабго и Хаджохская теснина в настоящее время - это места наиболее интенсивного посещения туристами. Эти памятники природы весьма активно используются в коммерческих целях, удивляют всех посещающих эти объекты необоснованно высокие цены, поэтому для жителей района и республики они стали не доступны. Считаю, что местные жители, особенно дети, должны иметь льготы по проходу на объекты.

Богаты окрестности Хаджохы природными феноменами. Есть здесь место и для любителей активного пешеходного отдыха. К радости экологов сохранились в первозданном виде такие укромные уголки, как Аминовское ущелье. Это особый природный комплекс. Эта река – хранитель редкой реликтовой и эндемичной растительности. Я призываю всех, кто не равнодушен к природе нашего района, сберечь это ущелье в нетронutom, первозданном виде! Если это ущелье будут оборудовать для массового посещения людей, то пропадет уникальность этого уголка природы, как это случилось на Руфабго, и многие растения, произрастающие здесь и занесенные в Красную книгу Адыгеи, просто исчезнут. С Аминовкой тесно связаны такие объекты как пещеры Духан, Саксофон и Флейта, которые

находятся в ее истоках. Они труднодоступны для массового туризма, поэтому их посещают лишь любители активного отдыха.

Еще один пешеходный маршрут – это ущелье реки Мишоко. Это правый приток реки Белой. Исток недалеко от хутора Веселый, устье в 3 км от станции Хаджох, длина 14 км, имеет 10 водопадов. Образует красивое ущелье, высота скальных образований до 70 м с гротами, пещерами, стоянками первобытного человека. На правом берегу Мишоко исследовано поселение людей III тыс. до н.э. Туристы сейчас имеют возможность пройти по горной тропе под скалами, спуститься в ущелье, полюбоваться первозданной чарующей дикой природой. На Мишоко создан Экстрим-парк, который пользуется большой популярностью среди туристов. Этот объект не нарушает целостности природного комплекса ущелья, что радует и дает надежды, что этот памятник природы и археологии будет сохранен в первозданном виде. Но выдвигаются иногда фантастические проекты по превращению ущелья в туристский объект массового посещения. Хочу заметить, что и без преобразования природы Мишоко посещает большое количество туристов. Поэтому призываю: «Дайте возможность увидеть людям настоящую девственную природу!» Парковый вариант (Руфабго, Хаджохская теснина) – это красиво, но это уже не естественное состояние природы!

К горным ущельям относится и верховье реки Фарс. Это левый приток Лабы. Берет начало с хребта Унакоз, впадает в реку Лаба против станции Воздвиженской. Длина реки Фарс 197 км. В верхнем течении это горная река с водопадами, каньонами, отвесными скалами и гротами. Ущелье находится в 3 км от Свято-Михайловской пустыни. Сюда идет конный маршрут, приходят любители активного отдыха. Природа сохранилась в естественном виде, без преобразований. Вызывает опасение быстрый рост гипсового карьера, который в перспективе может подойти близко к ущелью, что нарушит экологическое равновесие.

Большую озабоченность вызывает у защитников природы палеонтологический памятник – река Полковницкая. Это левый приток реки Белая. Устье в 5 км к северу от поселка Каменноостского, длина реки 22 км. Река интересна тем, что в обнажениях берега и наносах реки много окаменелостей аммонитов и белемнитов. Эти древние обитатели морей плавали здесь около 150 миллионов лет назад. Приведу следующие страницы из книги И.В. Бормотова: «При экспедиционном обследовании долин рек Полковницкой, Семияблоневого, Хокодзя, Фарса, Аминовки нами повсеместно обнаружены следы уничтожения, изъятия и выноса за пределы места расположения экспонатов окаменелых животных древнего океана Тетис. Аммониты Адыгеи становятся самым популярным и выгодным предметом наживы, украшениями кабинетов, экспонатами частных коллекций. Аммониты Адыгеи может постичь судьба дольменов, которые могут полностью исчезнуть в республике в ближайшее время» [1, с.62]. Это написано в 2007 году, но сейчас все обстоит еще серьезнее. Русла обследованных рек превращаются в груды щебня. Под мощными ударами тяжелых молотов браконьеров, погибают редчайшие экспонаты. В настоящее

время динамика туристского потока с каждым годом растет. На прилавках придорожной торговли в свободной продаже появилось множество палеонтологических экспонатов и изделий из них. За пределы Майкопского района в село Гончарку вывезено более 2 тысяч уникальных гигантских окаменелых моллюсков. Аммониты Адыгеи нелегально вывозятся в Москву, Санкт-Петербург, Ростов на Дону, в Чехию и Голландию. Они востребованы и стали ходовым товаром. Возникла реальная угроза уничтожения уникальных памятников природы, связанных с местами палеонтологических находок. Назрела большая необходимость в принятии законодательных актов, обеспечивающих сохранность удивительных палеонтологических месторождений.

Красива дорога в Гузерипль. Между поселком Каменноостским и станицей Даховской прямо по центру дороги лежит огромная каменная глыба Казачий (Черкесский, Девичий) камень. Высота 35м, ширина 30 м. Интересен этот небольшой экскурсионный объект. Рекомендации для туристов – не загрязняйте природу у камня, повязывая ленточки на кусты, растущие рядом.

Южнее станицы Даховской мы едем через памятник природы – Гранитное ущелье. Даховский кристаллический массив уникален в геологическом отношении. Здесь обнажаются розовые и серые граниты, серпентиниты, палеозойские красноцветные конгломераты. Это западная часть хребта Дудугуш. Здесь самое узкое место реки Белой, ширина русла не превышает 2 м. Стиснутый скалами поток пенится, бушует, образует в твердых породах небольшие водопады, пороги. Длина ущелья 4 км 200 м. Название ущелья связано с горными породами – гранитами, через которые река проложила свой путь. Красота ущелья доступна, есть несколько мест для остановки транспорта. Рядом родник с чистой горной водой. В Гранитном ущелье почти отвесно поднимается от русла реки Белой гранитная вершина «Трезубец». Высота 1049,0 м. Это гранитные скальные образования в виде отдельно стоящих столбов. Издалека видна трехглавая вершина. На самом деле каменных останцев больше, гранитные скалы поросли лесом из бука, пихты. Это объект для активных видов спорта. Целостность особо охраняемого объекта «Гранитное ущелье» не нарушена, хотя были попытки вести добычу гранита, но этот проект был отвергнут, и сейчас туристы его нередко сравнивают с величием и красотой известного Гуамского ущелья.

Монах – гора, отрог хребта Азиш-Тау, высота 1058,3 м, сложена юрскими плитчатыми песчаниками. Название объясняется тем, что на ее вершине в пещере жил некогда монах. Пещера сохранилась, она размерами: длина – 7 м, ширина – 3 м. По легенде монах вырубил в скале лицо святого. И сейчас, если смотреть от села, хорошо видно лицо старика или черкеса в папаче. Но это не творение рук человека, это результат выветривания. К сожалению, под воздействием внешних процессов лицо «Монаха» пострадало, большая песчаная глыба отвалилась, и сейчас образ выделяется не столь ярко. Восхождение на гору Монах – это интересный однодневный маршрут.

К памятникам природы относится Даховская пещера, изученная А.А. Формозовым в 1957 -58 годах. Археологический материал свидетельствует о пребывании здесь первобытного человека около 70 тысяч лет назад. Пещера находится на хребте Унакоз. На этом хребте находятся также Унакозовские пещеры № 1, 2, 3 исследованы археологом Н.Г. Ловпаче. Нижний горизонт культурного слоя датируется IV тыс. до н. э. Хребет Унакоз у этих пещер имеет известняковый останец, который туристы называют «Чертов палец». Уникальность и красота рельефа поражает всех, кто посещает этот уголок гор, поэтому это место необходимо внести в список памятников природы.

Экономика Адыгеи развивается в основном за счет природных условий и ресурсов. Очень важно при этом уделять большое внимание экологии. Наше будущее в наших руках! «У нас есть еще время для того, чтобы спасти различные виды животных и растений и их экосистемы. Это необходимая предпосылка устойчивого развития. Если мы не сделаем этого, то будущие поколения нам этого не простят!» [4, с.156]

Литература:

1. Бормотов И.В. В край легенд и преданий. - Майкоп, 2012. 455с.
2. В Адыгее уничтожается памятник природы. <http://southru.info/1148146163>
3. «Докладе о результатах и основных направлениях деятельности на 2014-2016 годы» (Комитет Республики Адыгея по туризму и курортам)
4. Наше общее будущее. (Доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР). М. «Прогресс», 1989, 372 с.
5. О концепции развития туризма в Республике Адыгея. Источник: <http://rusouth.info/>
6. Социально-экономические и правовые предпосылки развития туризма в Адыгее. <http://rudocs.exdat.com/docs/index-382696.html>
7. Федеральный закон Российской Федерации от 14 марта 1995 г. №33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях» http://oopt.info/oopt_statut.html

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО – ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД АДЫГЕИ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ БЕЛОЙ

Н.В. Кудрявцева, Ф.Б. Тхайцухова

*МБОУ «СОШ №11»
г. Майкоп, Россия*

E-mail: maikop_sch_11@mail.ru

Основная составляющая любого живого организма, в том числе и человеческого – это вода.

Несмотря на свой, казалось бы, предельно простой химический состав, вода - одно из самых загадочных веществ на Земле. Достаточно упомянуть, что это единственное химическое вещество, которое существует в условиях нашей планеты одновременно в трех агрегатных состояниях - газообразном, жидком и твердом.

В условиях антропогенной нагрузки важнейшей задачей современной экологии является объективная оценка физико–химического состава природных вод.

Одной из основных водных магистралей республики Адыгея является река Белая. Наша исследовательская работа посвящена изучению физико – химического состава природных вод Адыгеи на примере реки Белой в верхнем, среднем, и нижнем ее течении.

Общеизвестно, что породы слагающие долину реки вымываясь потоком воды, становятся частью реки, и определяют ее физико-химический состав.

Долина реки Белой симметрична в поперечном профиле, на всем своем протяжении, однако, она испытывает резкие изменения вдоль по течению, что в значительной степени обусловлено составом прорезаемых ею пород.

На первом этапе нашего исследования проводился отбор проб и определение основного состава вод р. Белой в районе п. Гузерипль (1 проба), п. Каменноостский (2 проба), п. Гавердовский (3 проба).

В п. Гузерипль в верхнем течении р. Белой обнажаются магматические породы позднепалеозойского возраста (граниты, аплиты, гранодиориты)

Берег реки Белой в районе п. Каменноостский представлен смятыми складками отложений триаса и юры. В них содержится богатый комплекс остатков ископаемых организмов. Там активно развиваются осыпные и оползневые процессы.

В п. Гавердовский в нижнем течении р. Белой распространены аллювиальные отложения, представленные галечниками и валунами магматических, осадочных и метаморфических пород, перемешанных с песчано-гравийным материалом.

В данной работе мы хотели отразить причинно-следственные связи между горными породами образующими долину реки Белой, а также антропогенную нагрузку на реку с физико-химическим составом ее вод.

В своем исследовании мы использовали шестиклассную систему оценки качества вод (ГОСТ 17.12.04.77 и ГОСТ 17.13.07.82)

С помощью органолептических методов исследования мы определили запах воды в точках отбора проб. Данные по определению запаха воды в точках отбора проб представлены в таблице 1 и 2.

Таблица 1. Определение интенсивности запаха (балл)

Место отбора/ точка отбора	Гузерипль р.Белая	п.Каменноостский р.Белая	п.Гавердовский р.Белая
Точка 1	1	1	2
Точка 2	1	1	2

Таблица 2. Определение характера и рода запаха

Место отбора/ точка отбора	Гузерипль р.Белая	п.Каменноостский рБелая	п.Гавердовский р.Белая
Точка 1	Земляной	Земляной	Болотный Илистый
Точка 2	Земляной	Земляной	Болотный Илистый

2. Цвет исследуемой воды

Наливаем исследуемую воду в прозрачный мерный цилиндр на высоту 10 см отмечаем цвет воды. Рассматриваем пробу в цилиндре сверху на белом фоне при рассеянном дневном освещении. Данные по определению цвета воды в точках отбора проб представлены в таблице 3.

Таблица 3. Определение цвета исследуемой воды

Место отбора/ точка отбора	Гузерибль р.Белая	п.Каменноостский р.Белая	п.Гавердовский р.Белая
Точка 1	бл.-желт	бл.-желт	свет.-желт. зелен
Точка 2	бл.-желт.	бл.-желт.	свет.-желт. зелен.

Химические показатели воды

Для определения химически показателей пробы воды были отфильтрованы через фильтр «синяя лента».

1. Определение водородного показателя (рН)

Кислотность проб определяем с помощью универсальной индикаторной бумаги. Данный способ позволяет определить рН с точностью до единицы. В хозяйственно-бытовых водах рН обычно колеблется в пределах 5,0 – 6,5. Данные по определению рН воды в точках отбора проб представлены в таблице 4.

Таблица 4. Определение рН исследуемой воды

Место отбора/ точка отбора	п.Гузерибль р.Белая	п.Каменноостский р.Белая	п.Гавердовский р.Белая
Точка 1	5,0	5,5	6,5
Точка 2	5,0	5,5	6,5

2. Обнаружение катионов свинца Pb²⁺

Приготовление реагента: 10г. K₂CrO₄ растворяем в 90г. дистиллированной воды.

Выполнение анализа: в пробирку помещаем 10 мл пробы воды, прибавляют 1 мл раствора реагента. Уравнение реакции: Pb²⁺+CrO₄²⁻=PbCrO₄

Если выпадает желтый осадок, то содержание катионов свинца более 100 мг/л, если наблюдается помутнение раствора, то концентрация катионов свинца более 20 мг/л, а при опалесценции- 0,1 мг/л. Данные по определению катионов свинца Pb²⁺ в точках отбора проб представлены в таблице 5.

Таблица 5. Обнаружение катионов свинца Pb²⁺

Место отбора/ точка отбора	Гузерибль р.Белая	п.Каменноостский р.Белая	п.Гавердовский р.Белая
Точка 1	опал. *	опал. *	опал. *
Точка 2	опал. *	опал. *	опал. *

* опал. - опалесценция

3. Обнаружение хлорид-ионов Cl⁻

Приготовление реагентов: 5 г нитрата серебра AgNO₃ растворяем в 95 г дистиллированной воды, готовим раствор азотной кислоты в соотношении 1:4. Выполнение анализа: к 10 мл пробы воды прибавляем 3-4 капли азотной

кислоты и приливаем 0,5 мл раствора нитрата серебра. Уравнение реакции: $\text{Cl}^- + \text{Ag}^+ = \text{AgCl} \downarrow$ (белый, творожистый). Концентрация хлорид-ионов более 100 мг/л – при выпадении белого осадка, более 10 мг/л - при помутнении раствора, более 1 мг/л – при опалесценции раствора.

В ходе выполнения анализа было замечено, что во всех пробах воды при добавлении нитрата серебра выпадает характерный осадок хлорида серебра, концентрация хлорид-ионов превышает 100 мг/л.

4. Обнаружение сульфат-ионов SO_4^{2-}

Приготовление реагента: 10 г хлорида бария $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ раствором в 90 г. воды, 16 мл концентрированной соляной кислоты доводим в мерной колбе до 100 мл. Выполнение анализа: к 10 мл пробы воды прибавляем 2-3 капли соляной кислоты и приливаем 0,5 мл раствора хлорида бария. Уравнение реакции: $\text{SO}_4^{2-} + \text{Ba}^{2+} = \text{BaSO}_4 \downarrow$ (белый, молочный осадок).

При появлении сильной быстрооседающей мути ориентировочное содержание сульфат-ионов составляет от 100 до 500 мг/л. Концентрация сульфат-ионов более 10 мг/л – при выпадении белого осадка, более 1 мг/л – при опалесценции раствора .

В ходе выполнения анализа было замечено, что во всех пробах воды выпадает белый осадок, концентрация сульфат-ионов не превышает 100 мг/л.

5. Обнаружение катионов аммония NH_4^+

Реактивы: реактив Несслера, 50% раствор тартрата калия.

Выполнение анализа: к 10 мл пробы воды прибавляем 0,5 мл раствора тартрата калия (связываем ионы железа, кобальта, никеля и др.), добавляем 1 мл реактива Несслера.

Данные по определению катионов аммония NH_4^+ в точках отбора проб представлены в таблице 6.

Таблица 6. Обнаружение катионов аммония NH_4^+

Место отбора/ точка отбора	Гузерибль р.Белая	п.Каменноостский р.Белая	п.Гавердовский р.Белая
Точка 1	0,04	0,2	0,4
Точка 2	0,04	0,2	0,4

6. Обнаружение карбонат-аниона CO_3^{2-}

Реактивы: 10 г хлорида бария $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ растворяем в 90 г воды, пероксид водорода 3%, раствор соляной кислоты. Выполнение анализа: к 10 мл пробы воды добавляем 2-3 капли перекиси водорода (связываем сульфит-анионы), добавляем 0,5 мл раствора хлорида бария. Присутствие карбонат-аниона CO_3^{2-} определяем по выпадению белого осадка или по помутнению раствора. Уравнение реакции: $\text{Ba}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} = \text{BaCO}_3 \downarrow$ (белый осадок, растворимый в кислотах, кроме серной).

При добавлении нескольких капель раствора соляной кислоты наблюдается выделение газа: $\text{BaCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{BaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$

Характерное присутствие карбонат-аниона CO_3^{2-} мы обнаружили в всех пробах речной воды. Это свидетельствует о том, что горные породы,

слагающие долину р. Белой преимущественно состоят из осадочных пластов, которые размываются речной водой и придают ей предельную жёсткость.

По шестиклассной системе оценки качества воды реки Белой в районе п. Гузерипль оценены нами по 2-му классу, п. Каменноостровский, п. Говердовский – по 3-му классу.

Воды 2 класса экологически полноценные, имеют питьевое значение, могут использоваться для рекреации, рыбоводства и орошения.

Воды 3 класса экологически полноценные, могут использоваться для питья с предварительной очисткой, а также рыбоводства и орошения.

Вода в реке в разное время года приобретает запахи (болотный или илистый), интенсивность которых выше 1 балла, что делает ее частично непригодной для культурно-бытового водопользования;

Вода в реке в разное время года приобретает окраску, которая обнаруживается в столбике высотой 10 см, что делает ее частично непригодной для культурно-бытового водопользования;

В отобранных пробах воды наблюдается повышенное содержание карбонатов, это обуславливает повышенную жесткость воды.

В речной воде наблюдается достаточно высокое содержание хлоридов в совокупности с присутствием в воде аммиака, что свидетельствует о загрязнённости бытовыми сточными водами нижнего течения реки Белая.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ВОДОСБОРОВ БОКОВЫХ ПРИТОКОВ НА ЦИМЛЯНСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

И.Е. Курбатова

*Институт водных проблем РАН
г. Москва, Россия*

E-mail: irenkurb@yandex.ru

Одной из актуальных и практически значимых задач природопользования является разработка комплексных исследований водохранилищ, в основу которых должно быть положено изучение взаимосвязей процессов как внутри самих искусственных водоемов, так и их взаимодействия с окружающей средой. Положительным и отрицательным аспектам влияния русловых водохранилищ на прилегающие территории посвящено значительное количество исследований. Гораздо реже водохранилище рассматривается как приемный водоем в системе «водосбор-водоток-водоем», экологическое состояние которого во многом определяется воздействием водосборов боковых притоков. Природные характеристики и степень антропогенной освоенности водосборных территорий, загрязненность впадающих рек влияет на качество вод, интенсивность развития береговых

эрозионных процессов, заиления ложа водохранилища и т.д. Изучение этих процессов основано на накоплении, хранении и обработке значительных информационных массивов. Вместе с обширными данными различных количественных и качественных характеристик аквальных и береговых экосистем и их отдельных компонентов, они включают разноплановые материалы об их пространственном положении и изменениях в пространстве и во времени. Современный уровень развития ГИС-технологий позволяет осуществлять автоматизацию геоэкологических исследований, структурировать информационные массивы, обеспечивать их хранение, визуализировать отображение разнообразных пространственно-временных данных, фиксировать современное состояние территории и разрабатывать сценарии ее дальнейшего развития.

Одним из эффективных подходов к структурированию информации в ГИС является картографический, с помощью которого реализуется пространственный анализ получаемых разнородных данных, обобщение и преобразование результатов наблюдений и исследований в картографические документы разного уровня и тематики. Роль карт в ГИС двояка: с одной стороны, это форма хранения и передачи информации; с другой, это средство познания и моделирования геосистем при различных сценариях их развития, в том числе при возникновении антропогенной нагрузки и оценке ее последствий. Разработка систематизированной и обоснованной серии тематических карт, наиболее полно отображающей типичные и специфические особенности региона, позволит реализовать представление большого массива данных, связывающего характеристики ландшафтов и хозяйственной деятельности с состоянием поверхностных вод [4]

В качестве примера использования ГИС для изучения влияния водосборов бокового притока на экологическое состояние приемного водоема выбрано Цимлянское водохранилище, которое является важнейшим водохозяйственным объектом в южном регионе России. От состояния водохранилища, в первую очередь от качества и количества воды в нем, зависит функционирование и дальнейшее развитие хозяйства, здоровье людей, численный и видовой состав флоры и фауны.

Водоохранилище имеет комплексное назначение, оно создано в 1952 г., площадь зеркала воды при нормальном подпорном уровне 36 м – 2700 км². Водосборная территория р. Дон до верхнего бьефа водохранилища составляет 221600 км², площадь водосборов боковых притоков собственно водохранилища равна 27200 км² (или 12.3 % от общей площади водосбора). Суммарный объем бокового стока - около 6% от всех поступлений [1], но его вклад в ухудшение экологического состояния водоема весьма значителен: водосборы рек, балок, оврагов распаханы, что приводит к интенсивному смыву почвы и заилению водотоков и самого водохранилища, многие животноводческие хозяйства расположены в водоохранной зоне или вблизи нее, большинство сельских населенных пунктов не имеет канализации, промышленные стоки плохо очищены и т. д. Интенсивное хозяйственное

освоение водосборного пространства, и прежде всего водоохраных зон, привело к ухудшению состояния экосистем Цимлянского водохранилища [3].

Оценка влияния антропогенно нарушенных водосборов боковых притоков на водохранилище была выполнена с помощью ГИС «Карта 2011» – универсальной геоинформационной системы, предназначенной для сбора, создания и ведения базы пространственных данных, создания и обновления цифровых карт и планов, создания информационных систем различного назначения. Программа позволяет создавать цифровые модели рельефа и их производные, отображать и обрабатывать данные ДЗЗ для обновления содержания топографических карт, выявления различий в сезонном состоянии природных комплексов и уточнения современных контуров природных и антропогенных объектов. Данные космической съемки высокого разрешения в оптическом диапазоне используются для обновления содержания топографических карт, выявления различий в сезонном состоянии природных комплексов и уточнения современных контуров природных и антропогенных объектов.

Экологическая значимость водосборов для приемных водоемов определяется суммой характеристик, отражающих его физико-географические, социальные и экономико-хозяйственные особенности. В этой связи, при оценке территорий бассейна должны быть выделены следующие показатели [6]:

- гидролого-климатические (речная сеть, режим осадков и снеготаяния), определяющие интенсивность и характер поступления загрязняющих веществ (ЗВ) с территории суши в водоем;

- административно-территориальные (наличие крупных городов, соотношение сельского и городского населения, его плотность), косвенно отражающие потенциальные объемы коммунально-бытовых сточных вод с водосбора;

- производственно-хозяйственные (уровень развития, характер промышленного и сельскохозяйственного производства, наличие и способы использования земельных ресурсов), характеризующие распределение потенциальных источников ЗВ.

Тематика карт, разрабатываемых с помощью ГИС путем образования многослойного информационного образа изучаемого региона, должна быть структурирована и нацелена на осуществление комплексной или покомпонентной оценки состояния водосборной территории:

- базовые карты водосборов: цифровые топографические и их производные (цифровые модели рельефа, уклонов, экспозиции склонов, густоты расчленения.), ландшафтные, геоморфологические, гидрологические, почвенные и др.);

- карты, характеризующие покомпонентное влияние окружающей среды на состояние водохранилища в пределах водосборов боковых притоков (интенсивность использования земель, демографическая, транспортная, промышленная нагрузки и др.);

- оценочные карты, результирующие степень антропогенного воздействия на экологическое состояние водохранилища (районирование акватории по состоянию биотического комплекса, качеству воды, заилению, комплексному и покомпонентному загрязнению тяжелыми металлами и др.);

- прогнозные картографические сценарии различных вариантов формирования водных и наземных экосистем под влиянием природных и антропогенных факторов.

Разработка серии карт всего водосбора Цимлянского водохранилища выполнялась в масштабе 1:850 000, для отдельных частных водосборов – в масштабе 1:200 000. В первую очередь были созданы цифровая модель рельефа (рис. 1), поскольку рельеф оказывает важное влияние на развитие тех или иных видов хозяйственной деятельности, усиливает или ослабляет их негативное воздействие. Растровое изображение карты было привязано к картографической сетке. Далее с помощью инструмента «Создание объекта» были оцифрованы гидрографические объекты (линейные и площадные), а также рельеф (сплошные и утолщенные горизонталы). Построение карт углов наклона и экспозиции склонов на данном этапе создания серии обзорных тематических карт является нецелесообразным, так как разница в отметках высот составляет около 160 м и карты выбранного масштаба будут мало информативны.

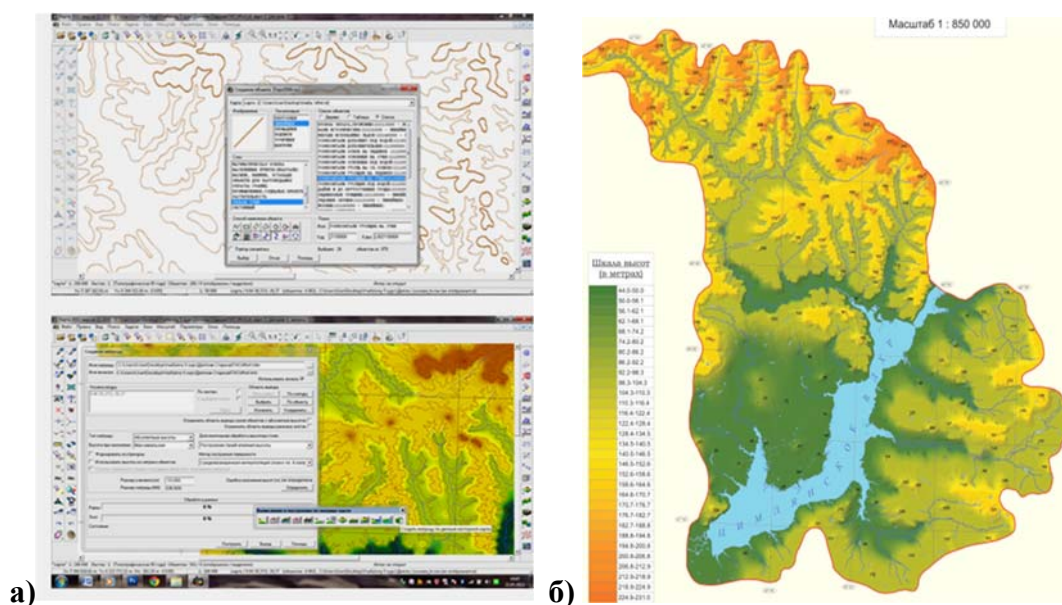


Рис. 1. Построение цифровой модели рельефа (ЦМР) водосборной территории Цимлянского водохранилища: а) фрагменты построения ЦМР; б) ЦМР всего водосбора

ЦМР водосбора может служить основой для определения зон повышенного риска загрязнения территории при различных видах антропогенного воздействия. Так, загрязнение земель транспортом (автомобильным и железнодорожным) относится к устойчивым загрязнениям постоянно действующего источника линейного типа. На полученную цифровую модель рельефа было наложено изображение транспортной сети, включая полосы загрязнения вдоль дорог разного класса

[2] (рис. 2), что позволило выделить земли транспортного использования и показать их расположение относительно плоских водораздельных территорий и участков, находящихся гипсометрически ниже (уклоны водосборной поверхности различной величины), при пересечении которых дорогами зона загрязнения может увеличиваться в сторону понижения рельефа. Синтезированная карта содержит элементы эколого-геоморфологического анализа, сочетая в себе морфометрические характеристики рельефа и линейные объекты природопользования. Такой подход позволяет подсчитать длину дорог и площадь загрязнения (табл. 1), выделить участки дорог, потенциально опасные для окружающей среды и водных объектов в случае аварии и разлива загрязняющих веществ (мосты через крупные и малые реки, переезды через тальвеги оврагов, балок и т.д.). Расчеты показали, что земли транспорта занимают около 3% от площади водосбора.

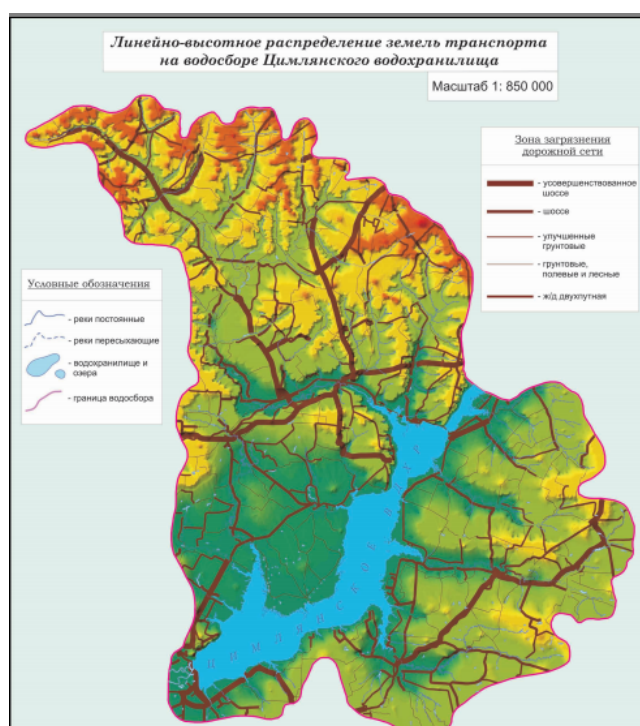


Рис. 2. Синтезированная карта «Линейно-высотное распределение земель транспорта на водосборе Цимлянского водохранилища»

Таблица 1

Загрязнение водосбора Цимлянского наземным транспортом

№	Класс дороги	Зона загрязнения, м	Длина дорог, км	Площадь загрязнения, км ²
1	ж/д двухпутная	120	351,6	42,2
2	усовершенствованное шоссе	300	813,6	244,1
3	шоссе	150	1294,4	194,2
4	улучшенные грунтовые	100	2021,6	202,2
5	грунтовые	25	2846,4	71,2
6	полевые, лесные	20	251,6	5,0
	Итого		$\Sigma = 7579,2$	$\Sigma = 758,9$

На следующем этапе было выполнено построение гидрографической сети бассейна водохранилища (без бассейна Дона), что позволило определить характер распределения сети, выделить границы водосборов основных притоков и водосборов местного стока (рис. 3). Структура водосборной территории Цимлянского водохранилища состоит из 11 водосборов основных притоков, водосборов малых рек и бессточных областей. Расчеты показали, что густота речной сети составляет $0,33 \text{ км/км}^2$ и оценивается как средняя. Для лучшей читаемости карты все водосборы основных рек окрашены в однотонные цвета, а для соседних водосборов использовались контрастные цвета. Зоны малых рек и бессточных областей давались однотонной заливкой и штриховкой различного цвета. Полученная карта использовалась в качестве базовой для изучения антропогенной нагрузки на каждый частный водосбор в отдельности и получения соответствующей индивидуальной оценки вклада притока и его водосбора в формирование экологического состояния водохранилища.

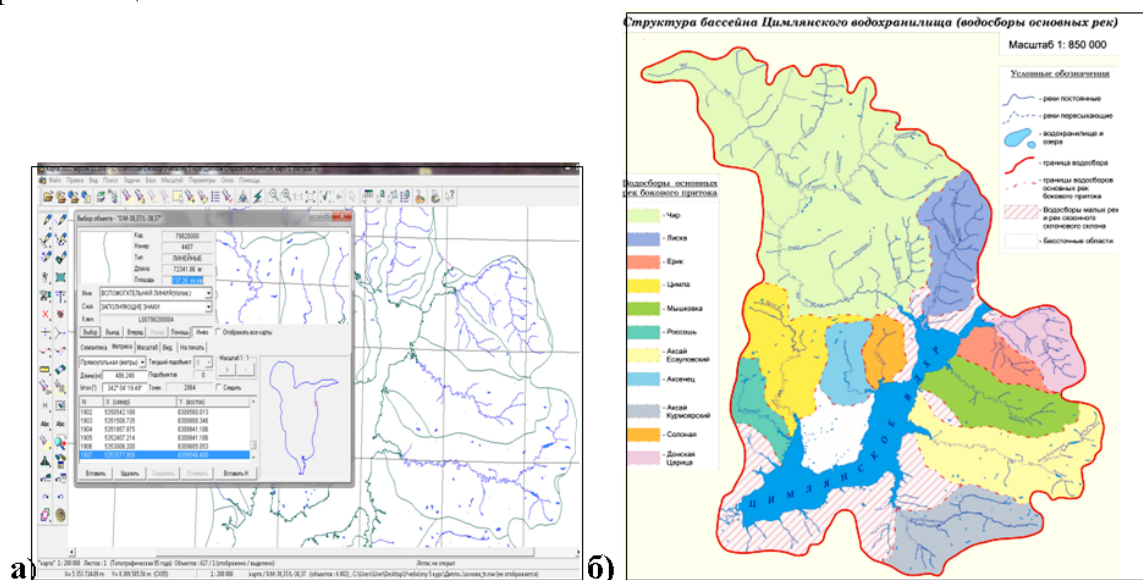


Рис. 3. Выделение водосборов основных притоков Цимлянского водохранилища:
а) Определение площади водосбора реки; б) карта «Структура бассейна Цимлянского водохранилища (водосборы основных рек), масштаб – 1:850 000

Антропогенные источники загрязнения водосбора Цимлянского водохранилища напрямую связаны с количеством населения и промышленностью данного региона, развитым сельским и коммунальным хозяйством, а так же водным и автомобильным транспортом. В первую очередь была проведена оценка демографической нагрузки на территорию.

Статистические данные портала «Всероссийская перепись населения» за 2010г. относятся к административным единицам, поэтому предварительно был выполнен пересчет распределения населения в границах водосборных территорий. Все расчеты проводились в программе ГИС «Карта 2011» (табл.2). Всего на общей водосборной территории проживает 393884человека, средняя плотность населения составляет 13,7 человека. Как видно из таблицы, наиболее высокая плотность населения преобладает на территории водосбора

р. Аксай Курмоярский и р. Солоня. Имея более точные данные о среднегодовом стоке боковых притоков в многоводные и маловодные годы, можно определить демографическую нагрузку на воду (чел/м³).

Таблица 2

Распределение плотности населения по водосборам основных притоков

Водосборы основных рек бокового притока	Площадь водосборов, км ²	Средний расход воды м ³ /сек	Количество жителей, чел	Плотность населения, чел/км ²
р. Чир	10325,9	12,0	78165	7,6
р. Лиска	1668,5	0,26	7304	4,4
р. Ерик	661,1	0,20	4404	6,7
р. Цимла	1762,9	0,35	5821	3,3
р. Мышковка	1671,5	0,28	6866	4,1
р. Россошь	692,6	0,19	2686	3,9
р. Аксай Есауловский	2675,9	38,0	21131	7,9
р. Аксенец	787,0	0,15	2919	3,7
р. Аксай Курмоярский	2140,7	0,15	27148	12,7
р. Солоня	566,7	0,20	5873	10,4
р. Донская Царица	1070,4	0,10	7725	7,2
Итого	Σ = 24023,2	Σ = 51,88	Σ = 170042	\bar{x} = 6,5

Антропогенные источники загрязнения водосбора Цимлянского водохранилища напрямую связаны и с сельским хозяйством региона, поэтому составление карты, отображающей распределение сельскохозяйственных угодий на территории бассейна Цимлянского водохранилища, является обязательной в серии. Высокая доля распаханых земель порождает такие экологические проблемы, как развитие эрозионных процессов, негативное изменение водного режима почв не только распаханых территорий, но и сопряженных ландшафтов, развитие процессов окисления, снижение содержания гумуса, уплотнение и деградация почв, ликвидация резерватов естественной флоры и фауны. К сожалению, получение информации о реальном количестве удобрений и объеме смываемого почвенного слоя, поступающих с угодий в водоем – задача трудновыполнимая, поэтому приходится обращаться к косвенным показателям и экспертным оценкам. Следует также отметить, что на топографических картах пашни не отображаются отдельным условным знаком, поэтому для их выделения необходимо привлечение дистанционной информации. Космическая съемка среднего разрешения удобна для составления обзорных карт для территорий в сотни квадратных километров, а изображения высокого (2.5–5.0) и сверхвысокого разрешения (0.5–2.5 м) позволяют изучать ситуацию на

локальном уровне, в частности, наблюдать за начальной стадией развития эрозионных процессов на пашне (рис. 4).



**Рис. 4. Космические изображения развития эрозионных процессов на пахотных землях бассейна р. Цимлы (ИСЗ “WorldView-2” 2011):
а) струйчатая, ручейковая, б) ложбинно-овражная эрозия**

Для выявления сельскохозяйственных угодий снимок использовался в качестве растровой подложки. В программе ГИС «Карта 2011» на создаваемой карте по результатам дешифрирования были выделены площади распаханых земель, а также площади селитебных и слабоосвоенных земель.

Затем рабочий файл с картой был экспортирован в программу CoralDraw X4, где производилось фоновое оформление и верстка данной карты (рис.5). Для большей наглядности спутниковое изображение расположено слева от карты.

Количество органических и минеральных веществ, выносимых талыми снеговыми и дождевыми водами, зависит от вида подстилающей поверхности, типов земельных угодий, характера землепользования [5]. Таким образом, при использовании результатов оценок путем определения по спутниковому снимку значений площадей земельных угодий можно примерно установить общее количество поллютантов, смываемых в реки и водоемы с различных элементов ландшафтов (табл. 3).

В процессе работы были выявлены основные источники загрязнения и загрязняющие вещества, которые поступают в акваторию и на прилегающую территорию Цимлянского водохранилища (табл. 3).

По данным расчетов программы ГИС «Карта 2011» площадь интенсивно используемых земель составила $13411,1\text{км}^2$ - 42,6% от общей площади водосбора; площадь ненарушенных земель (леса, болота, кустарники) составила $19962,9\text{км}^2$ - 38%; площадь слабоосвоенных земель (сенокосы, пастбища, многолетние насаждения) составила $188,9\text{км}^2$ - 1,6%. По

результатам расчета площадей и критериям оценки количества веществ, выносимых талыми дождевыми и снеговыми водами (табл. 4) были рассчитаны количества веществ, выносимых с территории водосбора в Цимлянское водохранилище (табл. 5). Большое содержание азота и фосфора в воде, снижение уровня водоема в период маловодья и повышение температуры воды привели к появлению большого количества сине-зеленых водорослей в водоеме [3].

Таблица. 3.

Основные антропогенные загрязнения, поступающие с территорий селитебных и сельскохозяйственных земель водосбора

Основные источники загрязнения	Основные загрязняющие вещества
<i>Коммунальное хозяйство</i>	
Хозяйственно-бытовые сточные воды	взвешенные органические и неорганические вещества, азот аммонийный, БПК ₅ , СПАВ
<i>Сельское хозяйство</i>	
Животноводство, птицеводство	органические вещества с высокой бактериальной загрязненностью: азот общий, калий, фосфор, взвешенные вещества
Земледелие (пшеница, кукуруза, подсолнечник и др.), овощеводство, бахчеводство, садоводство	гербициды, минеральные удобрения, хлорорганические и фосфорорганические пестициды

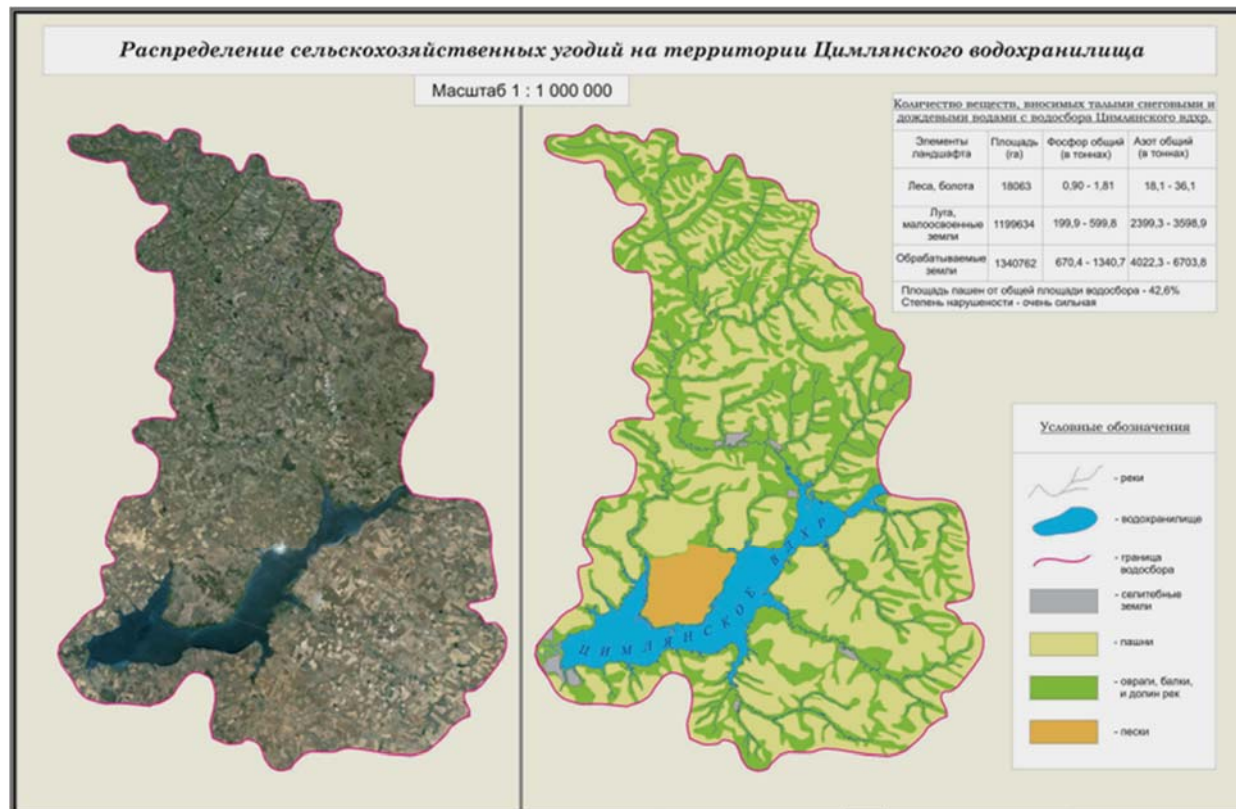


Рис. 5. Распределение сельскохозяйственных угодий на территории водосбора Цимлянского водохранилища

Таблица 4

Количества веществ, выносимых талыми снеговыми и дождевыми водами, с территорий, занятых различными угодьями (кг/га год) [5].

Элементы ландшафта	Фосфор общий	Азот общий
Леса, болота	0,05 – 0,10	1 – 2
Луга, малоосвоенные земли	0,1 – 0,5	2 – 3
Обрабатываемые земли (пашни)	0,5 – 1,0	3 – 5

Таблица 5

Количество веществ, выносимых талыми снеговыми и дождевыми водами с территории водосбора Цимлянского водохранилища (кг/га год).

Элементы ландшафта	Площадь (га)	Фосфор общий (в тоннах)	Азот общий (в тоннах)
Леса, болота	18063	0,90 – 1,81	18,1 – 36,1
Луга, малоосвоенные земли	1199634	119,9 – 599,8	2399,3 – 3598,9
Обрабатываемые земли (пашни)	1340762	670,4 – 1340,7	4022,3 – 6703,8

В результате проведенных исследований получены новые данные об антропогенной нагрузке на водосбор Цимлянского водохранилища. Итогом проделанной работы является создание серии карт антропогенного воздействия оценка их влияния на водосборную территорию Цимлянского водохранилища. Разработанные карты могут быть использованы для дальнейшего изучения антропогенных воздействий на водосборную территорию Цимлянского водохранилища и состояние самого водоема, для поддержки принимаемых управленческих решений, их оптимизации и увязки с актуальными проблемами природопользования.

Литература

1. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Цимлянское, водораздельные и Манычские водохранилища // Ленинград, Гидрометеиздат. 1977. 204 с.
2. Верещака Т.В, Курбатова И.Е. Методическое пособие по курсу «Экологическое картографирование» (лабораторные работы). – М.: изд. МИИГАиК, 2012, 29 с.
3. Зайд Д.А., Дорожкин Е.В., Базелюк А.А., Хоружая Т.А., Урбан Г.А., Агеев В.Н. Оценка перспектив экологического состояния и хозяйственного использования Цимлянского водохранилища / Материалы к вопросам заседания Общественного экологического совета при Департаменте Росприроднадзора по ЮФО г. Ростов-на-Дону 03.04.2014г Электронный ресурс www.rpn.gov.ru/sites/all/files/.../materialy_k_voprosam.docx
4. Курбатова И.Е. Космический мониторинг негативных ситуаций в прибрежных зонах крупных водоемов/ Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012, т. 9, №2.с. 52-59.
5. Нежиховский Р.А. Гидролого-экологические основы водного хозяйства / Л.: Гидрометеиздат, 1990. 230 с.
6. Фащук Д.Я. Оценка антропогенной нагрузки на водосборы Черного и Азовского морей (географо-экологический подход) / Водные ресурсы, Т.23, № 6. С 694-711

ДИНАМИКА КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ, РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

С.А. Лебедев^{1,2}, А.Г. Костяной^{3,4}, А.И. Гинзбург³

¹ Геофизический центр РАН, г. Москва, Россия

E-mail: lebedev@wdcbr.ru

² Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия

³ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

E-mail: kostianoy@gmail.com

⁴ Льежский университет, г. Льеже, Бельгия

Введение

Каспий является внутренним морем, расположенным в обширной материковой депрессии на границе Европы и Азии. Это крупнейший замкнутый водоем мира, и только изоляция от Мирового океана отличает его от внутренних и окраинных морей. Все остальные признаки водоема: размеры, глубины, особенности термохалинной структуры и циркуляции вод — позволяют отнести его к типу глубоких внутренних морей [1].

Одна из главных отличительных особенностей Каспийского моря — значительная изменчивость его гидрометеорологических и гидродинамических режимов, на которые влияют как естественные, так и антропогенные факторы. В настоящее время большое внимание уделяется экологическому состоянию Каспийского моря, которое связано в первую очередь с интенсивным развитием добычи нефти [2] на его акватории.

Особенно актуальным является задача исследования динамики Каспийского моря, которая дает возможность провести оценки трансграничного переноса загрязняющих веществ, прогнозировать развитие внештатных ситуаций на нефтедобывающих платформах и портах. В последнее время помимо инструментальных измерений скорости течений, который носят эпизодический характер, и результатом математического моделирования данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса, и в первую очередь спутниковая альтиметрия [3–4], позволяют исследовать изменчивость динамики Каспийского моря с высокой точностью.

1. Физико-географические особенности

Каспийское море вытянуто по меридиану более чем на 10° (от 36°33' до 47°07' с.ш.), что составляет около 1 200 км, при средней ширине примерно 310 км. Площадь моря при отметке уровня -27,5 м составляет 386 400 км² (Гидрометеорология и гидрохимия морей..., 1992). В физико-географическом отношении, с учетом особенностей подводного рельефа, оно разделяется на три части: Северный, Средний и Южный Каспий (рис. 1). Условная граница между Северным и Средним Каспием проходит по линии о. Чечень — м. Тюб-Караган, а между Средним и Южным Каспием — по линии о. Жилой — м. Куули.

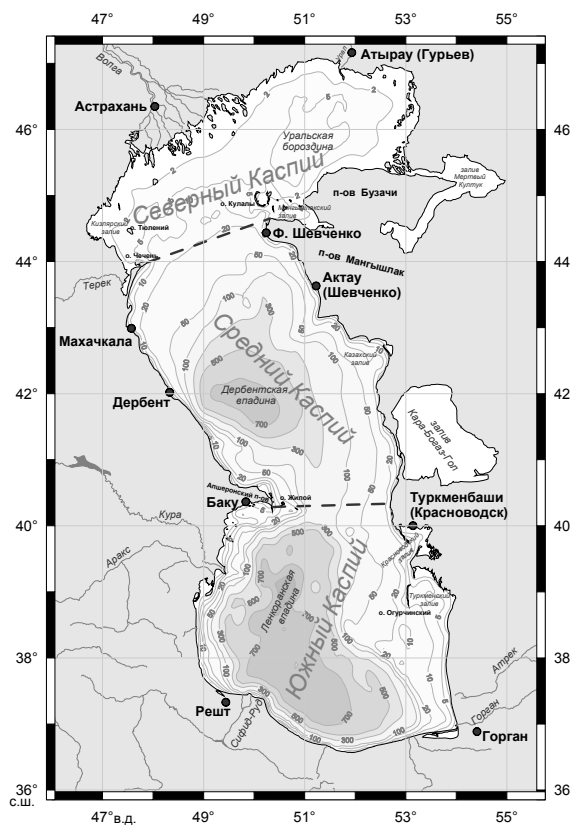


Рис. 1. Карта Каспийского моря [4].

Здесь и далее береговая линия соответствует 1934 г., когда отметка уровня моря составляла - 26,46 м относительно Балтийской системы высот (от нуля Кронштадтского футштока).

Берег Каспийского моря в северной его части сильно изрезан заливами (Кизлярский, Аграханский, Мангышлак-ский), полуостровами (Аграханский, Бузачи, Тюб-Караган, Мангышлак) и множеством мелководных бухт. Наиболее крупными островами в северной части моря являются о. Тюлений и о. Кулалы.

Обширная дельта реки Волга состоит из большого количества мелких островков и протоков, что делает береговую линию в этой части моря весьма изрезанной. Средний Каспий имеет более ровную береговую линию. На западном побережье далеко в море вклинивается Апшеронский п-ов, находящийся на границе Среднего и Южного Каспия. Мористее п-ова расположены острова и банки Апшеронского архипелага, из которых наиболее крупный о. Жилой. На восточном берегу выделяется залив Кара-Богаз-Гол и Казахский залив с бухтой Кендерли, а также несколько мысов: Песчаный, Ракушечный, Суэ. В Южном Каспии, южнее Апшеронского п-ова, располагаются о-ва Бакинского архипелага: Булла, Дуванный, Обливной, Свиной и др. На восточном берегу расположены заливы – Каспийский и Туркменский, а вблизи от него – о. Огурчинский [5].

2. Динамика Каспийского моря по данным наблюдений

Исследования течений Каспийского моря началось фактически одновременно с возникновением общего интереса к этому бассейну. Лишь после создания современной приборной базы (1950–1960 гг.) стало

Северная часть моря мелководная, ее средняя глубина составляет всего 5–6 м, максимальные глубины 15–20 м расположены на границе со Средним Каспием. Рельеф дна характеризуется наличием банок, островов и мелких впадин (рис. 1). В средней части Каспийского моря находится Дербентская впадина – впадины, смещенная к западному берегу, с наибольшей глубиной 788 м. Западный склон Дербентской впадины – узкий и крутой, восточный склон – более пологий, дно впадины представляет собой слабонаклоненную равнину с глубинами от 400 до 700 м. Средняя глубина этой части моря составляет 190 м. Южный Каспий отделен от Среднего Каспия Апшеронским порогом, глубина над которым не превышает 180 м. Наибольшая глубина для всего моря (1025 м) находится в Ленкоранской впадины, расположенной в юго-западной части Южного Каспия. Над дном впадины поднимаются несколько подводных хребтов высотой до 500 м [5].

возможным проведение работ по изучению общих статистических закономерностей полей течений.

2.1. Циркуляция Северного Каспия

Течения в Северном Каспии определяются ветровым полем, стоком рек Волга и Урал и распределением поля плотности воды. Они зависят от глубины, рельефа дна и конфигурации береговой линии моря.

Сравнение скоростей стоковых, плотностных, ветровых и компенсационных течений показывает доминирующую роль ветровых течений в динамике вод Северного Каспия, поскольку повторяемость штиля в этом районе мала (6–8%). Мелководность этой акватории обуславливает резкие изменения направления и скорости ветровых течений в связи с резкими изменениями ветровых условий. Это находит свое отражение и в пространственно-временной изменчивости уровня моря.

Схемы течений Северного Каспия, построенные по данным наблюдений, предлагались А.И. Михалевским (1931), Н.Н. Горским (1936), Н.М. Книповичем (1938), В.А. Ледневым (1943), А.К. Леоновым (1960) и др [5]. На основании синхронных многосуточных наблюдений в Северном Каспии, проведенных в 1954–1956 гг., Н.А. Скриптунов составил схему стоковых и ветровых течений на взморье реки Волга [6], в 1974 г. – схемы ветровых течений в западной части Северного Каспия [7], а затем и для всего Северного Каспия [8]. Сходные схемы течений получены на основании материалов Астраханской гидрометеорологической обсерватории и Государственного океанографического института им. Н.Н. Зубова [9]. Более подробно анализ течений этой части моря изложен в работах [5, 10–11].

По материалам наблюдений, на плавмаяках и многосуточных станциях в Северном Каспии в среднем в 70% проявляются ветровые течения, в 12% преобладают градиентные течения, вызванные сгонно-нагонными колебаниями уровня моря, около 18% составляют слабые, неустойчивые течения [5].

Сложность и разнообразие факторов, определяющих систему течений Северного Каспия и ее изменчивость, затрудняют возможность построения адекватных схем течений этой акватории по данным натурных наблюдений. В силу ряда очевидных причин трудно выявить отдельную роль нестационарности ветрового воздействия, речного стока, термохалинной структуры вод, рельефа дна, береговой линии и островов и пр. Поэтому большое значение приобретает исследование режима течений Северного Каспия путем численного моделирования.

2.2. Циркуляция Среднего и Южного Каспия

В Среднем и Южном Каспии по данным натурных наблюдений установлено существование ветровых, плотностных, градиентных и стоковых течений [10–17]. Изученность течений Среднего и Южного Каспия до сих пор остается явно недостаточной, что связано с малым количеством долговременных инструментальных измерений. Кроме того, наблюдения за течениями проводились, в основном, в мелководных прибрежных районах с глубинами менее 100 м.

На всех имеющихся в настоящее время схемах течения в Каспийском море представлены в виде общей циклонической циркуляции, охватывающей всю глубоководную часть моря и состоящей из двух циклонических круговоротов в Среднем и Южном Каспии (рис. 2) [4–5, 10–11].

В средней части Каспия, как зимой, так и летом, имеет место циклоническая циркуляция вод с движением их на юг у западного побережья и на север – у восточного. Скорости западной струи достигают на поверхности 25–30 см/с, а на восточной периферии круговорота

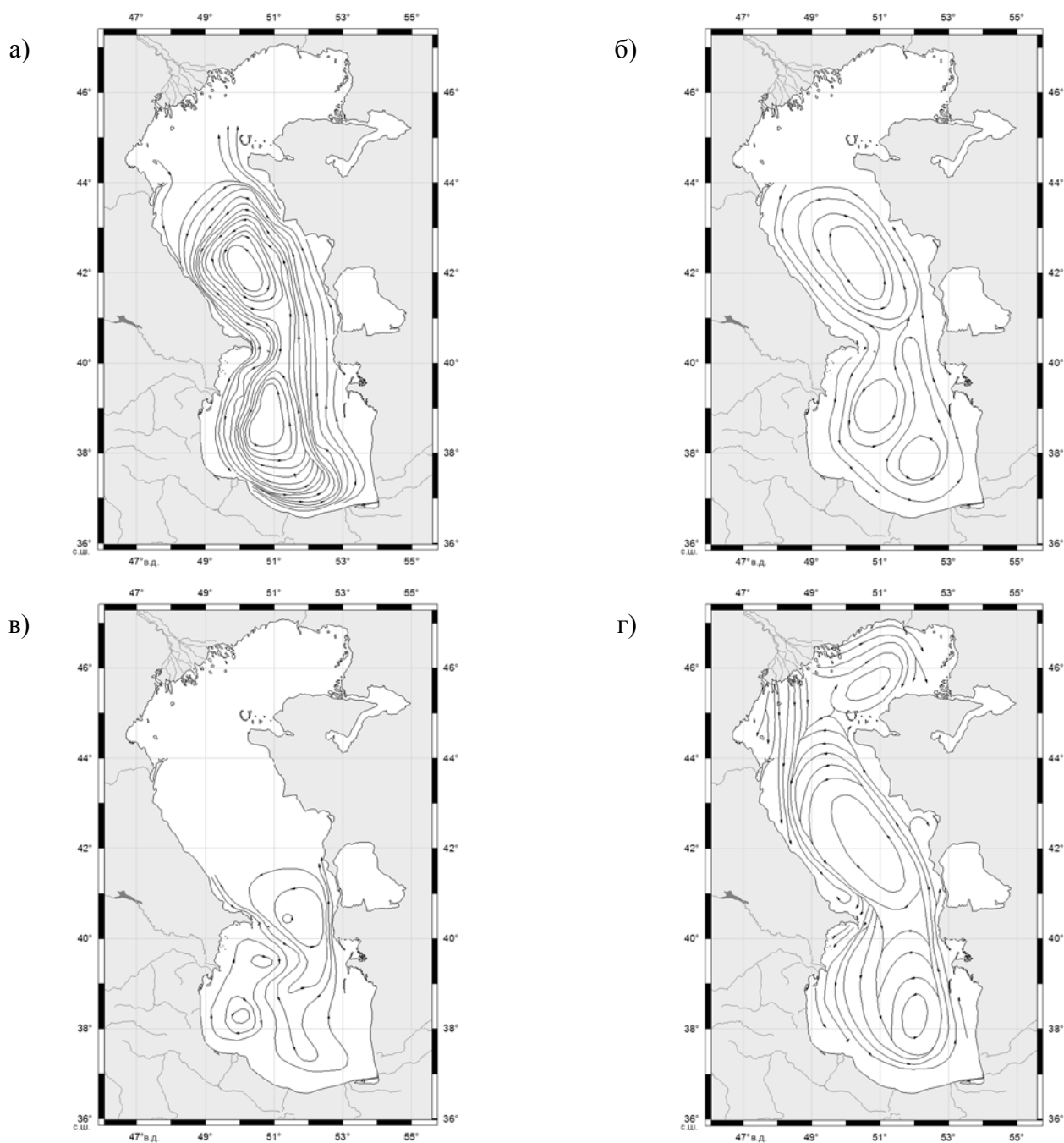


Рис.2 Схемы течений Каспийского моря: (а) – Н.М. Книповича (1914–1915 гг.) [12], (б) – А.И. Михалевского [13], (в) – Г.Н. Зайцева [14] и (г) – В.Н. Зенина [15] – [5].

уменьшаются до 10–20 см/с. Южнее Дербентской впадины от круговорота отходит струя со скоростью 10 см/с, направленная на юго-восток к Апшеронскому порогу, где среднекаспийские воды проникают в южную часть моря со скоростью 5–10 см/с [10–11, 17].

В Южном Каспии циркуляция имеет также циклонический характер со слабыми скоростями и центром круговорота, смещенным к западному берегу. Вдоль восточного берега воды движутся по направлению к Апшеронскому порогу, где происходит конвергенция и перемешивание. Характерной особенностью течений Южного Каспия является наличие локального антициклонического круговорота, расположенного между Апшеронским п-овом и устьем реки Куры. Его существование было выявлено в работе [18] на основании анализа инструментальных наблюдений за течениями в 1961–1965 гг.

3. Моделирование циркуляции Каспия

Основные схемы течений Каспийского моря составлялись на основе осреднения разнородных материалов наблюдений или использования косвенных методов и не учитывали особенности ветровых полей над акваторией моря. До настоящего времени не было надежных натуральных данных для построения схем течений Каспийского моря в открытых глубоководных районах, поэтому для них схемы течений строятся сейчас на основе численного моделирования.

3.1. Основные этапы развития

Модельные расчеты течений Каспийского моря проводятся с конца 50-х годов. Большинство существующих моделей можно разделить на два класса: модели Северного Каспия, основанные на уравнениях мелкой воды, и трехмерные модели всего моря.

В 1970-х годах для изучения циркуляции вод Каспийского моря впервые была использована диагностическая модель динамики бароклинного океана [19]. Расчеты выполнялись для случая отсутствия ветра и для двух типов преобладающих ветров: северо-западного и юго-восточного. В 1976 г. в работе [20] были представлены результаты расчетов циркуляции вод Каспийского моря по диагностической модели динамики бароклинного океана для различных типов ветра и сезонов. Была выявлено значительное влияние ветра на формирование полей течений и показано, что влияние термохалинности проявляется больше летом, чем зимой.

Следующим шагом в развитии моделирования климатической циркуляции Каспийского моря стал метод гидродинамической адаптации или согласования полей температуры и солёности (плотности) морской воды и скорости течений [21]. На первом этапе проводится обычный диагностический расчет при фиксированных полях температуры и солёности воды, завершающийся при выходе кинетической энергии на стационарный режим (этап диагноза). Полученные значения скорости течений и исходные поля температуры и солёности воды служат начальными условиями для второго

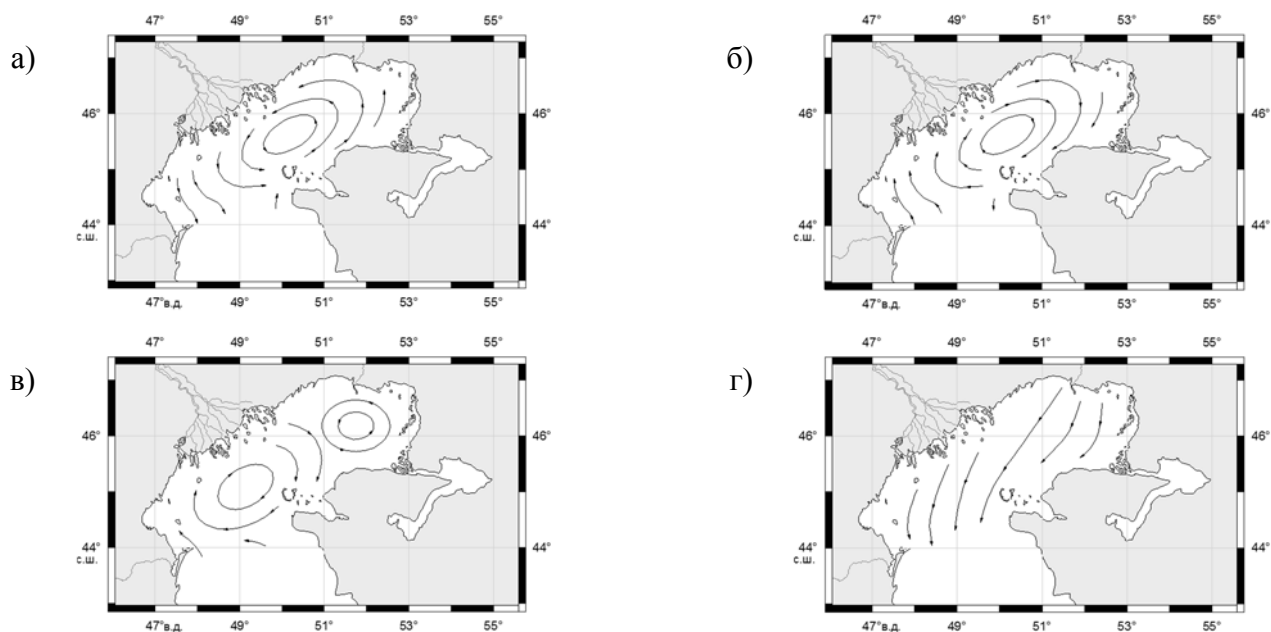


Рис.3 Основные типы поверхностной циркуляции вод в Северном Каспии:
 (а) – циклонический; (б) – антициклонический; (в) – смешанный;
 (г) – продольный при северном ветре [5].

этапа – интегрирования по времени полной системы уравнений, включая уравнения переноса тепла и соли. Интегрирование проводится на сравнительно короткие сроки (от одной до нескольких недель), и момент его завершения определяется по поведению средней кинетической энергии и энстрофии [20].

3.2. Циркуляция Северного Каспия

Модельные расчеты течений Северного Каспия проводятся с конца 50-х годов по настоящее время [9, 22–25]. Анализ полей течений, полученных в результате расчетов по модели [26], для наиболее повторяемых ветров позволяет выделить четыре основных типа циркуляции вод в северной части Каспийского моря (рис. 3).

Циклонический тип циркуляции формируется при восточном ветре с поперечно-неоднородной структурой поля скорости. Скорость ветра возрастает с юга на север от 9 до 19 м/с. Он представляет собой один обширный круговорот с движением вод против часовой стрелки, захватывающий всю акваторию Северного Каспия (рис. 3а). Наибольшие скорости течений (35 см/с) отмечаются на северной периферии, наименьшие (12 см/с) – на южной периферии круговорота.

Антициклонический тип циркуляции также формируется при восточном ветре с поперечно-неоднородной структурой поля скорости. В отличие от циклонического типа, скорость ветра возрастает с севера на юг от 12 до 26 м/с. Он представляет собой круговорот с движением вод по часовой стрелке (рис. 3б). Наибольшие скорости течений (50 см/с) отмечаются на южной, наименьшие (до 15 см/с) – на северной периферии круговорота.

Смешанный тип циркуляции формируется при юго-восточном ветре с поперечно-неоднородной структурой поля скорости. Скорость ветра возрастает с северо-востока на юго-запад от 6 до 20 м/с. Он представляет собой два круговорота: большой антициклонический в западной части Северного Каспия и небольшой циклонический – в его северо-восточной части (рис. 3в). Наибольшие скорости течений (60 и 30 см/с) отмечаются соответственно на южной периферии антициклонического и северной периферии циклонического круговоротов. Наименьшие скорости (до 12 и 15 см/с соответственно) – на северной периферии антициклонического и южной периферии циклонического круговоротов.

Продольный тип циркуляции формируется при продольных или поперечных неоднородных полях ветра. В верхнем слое течения направлены по ветру, в нижнем – против ветра. По сравнению с другими типами циркуляции, при которых скорости течений меняются в очень широком диапазоне (от 0 до 100 см/с), при данном типе циркуляции пространственная неоднородность поля течений относительно невелика. Например, при северном ветре (рис. 3г) с продольно-неоднородной структурой поля скорости (скорость ветра возрастает от 11 м/с на севере до 19 м/с на юге) скорость поверхностных течений на акватории изменяется от 30 до 50 см/с.

3.3. Циркуляция моря в целом

Диагностические расчеты синоптических течений Каспийского моря по данным гидрологических съемок [27] показали сложный характер циркуляции в Южном Каспии (наличие двух антициклонических и одного циклонического круговоротов). Центр циклонического круговорота в Среднем Каспии расположен над самым глубоким местом этого района. У его восточного берега было выявлено наличие апвеллинга.

Результаты расчетов сезонная изменчивости климатической циркуляции [28–29] показали, что в Среднем Каспии существует система, состоящая из двух квазистационарных вихрей: циклонического вихря в северо-западной части и антициклонического вихря в юго-восточной. В Южном Каспии четко прослеживаются антициклонические вихри в северо-западной и в юго-восточной частях. Сезонная изменчивость циркуляции, по мнению авторов [28–29], заключается в изменчивости пространственного положения и интенсивности указанных вихрей.

Дальнейшее развитие моделирование динамики Каспия нашло в работе [30], где представлена двухслойная модель, воспроизводящая нестационарные процессы динамики моря. Предполагается, что в море существуют два слоя, динамика которых различается пространственно-временными масштабами. Течения верхнего слоя моря (30 м в летний сезон и 100 м в зимний сезон), моделирующего верхний деятельный слой, описываются трехмерными нестационарными нелинейными уравнениями термогидродинамики. Динамика течений нижнего слоя описывается трехмерной стационарной диагностической моделью [31]. Циркуляции вод Каспийского моря генерировались под воздействием характерных ветровых ситуаций. Показано, что в Южном Каспии,

где расположена зона слабых ветров, течения приспособляются быстрее к новой ветровой ситуации, чем в Среднем Каспии.

3.3 Основные модели циркуляции Каспийского моря

Наиболее интересными на сегодняшний день являются расчеты, проведенные по трехмерной бароклинной гидродинамической модели со свободной поверхностью, разработанной в Лаборатории морских прикладных исследований (ЛМПИ) ФГБУ «Гидрометцентр России» [32–34], в Федерального государственного бюджетного учреждения науки (ФГБУН) Института вычислительной математики РАН (ИВМ РАН) [35], а также модели с ассимиляцией климатических данных [36].

Модель Гидрометцентра. Для расчетов сезонной и климатической циркуляции Каспийского моря по аналогии с работами [29, 37] в модели ЛПМИ Гидрометцентра России [33–34] применяется метод гидродинамического диагноза и адаптации. Отличие подхода, реализованного в данных расчетах, состоит в том, что при расчетах термохалинных течений среднемесячный климатический ветер на поверхности моря не задавался. Дополнительно учитывался сток реки Волга, так как он оказывает решающее влияние на режим Северного Каспия. На поверхности моря задавалось испарение, равномерное по всей площади Каспия, которое компенсировало поступление речной воды. Процесс ледообразования в модели не учитывался.

Анализ среднемесячных полей уровня, рассчитанного по данной модели, показывает [33–34], что в северной части Среднего Каспия для четырех характерных месяцев (февраль, апрель, август, ноябрь) наблюдается похожая циклоническая картина циркуляции (рис. 4). Вдоль всего восточного берега всегда существует направленное на север течение, а вдоль северной части западного берега течение направлено на юг. В юго-западной части Среднего Каспия севернее Апшеронского п-ова расположен антициклонический вихрь, который препятствует переносу вод на юг из Среднего Каспия в Северный. В Южном Каспии общим для всех месяцев является наличие циклонического круговорота в центре и направленного на се-вер течения, начинающегося на восточной периферии этого круговорота. В западной части Южного Каспия в августе (рис. 4в) и ноябре (рис. 4г) расположен антициклонический круговорот. В феврале (рис. 4а) и апреле (рис. 4б) в северо-западной части возникает циклонический круговорот, а антициклонический круговорот в эти месяцы остается только в юго-западной части [33–34].

Полученный в результате расчетов среднеклиматический уровень Каспийского моря (рис. 4д), обусловленный термохалинными течениями, наиболее точно отражает среднеклиматическую схему основных течений Каспийского моря.

Модель ЛПМИ Гидрометцентра России применяется также и для краткосрочного прогноза штормовых нагонов и течений в Северном Каспии [38–40]. Первоначально рассчитываются термохалинные течения, создающие фон, на котором под действием ветра возникают дрейфовые и градиентные течения на

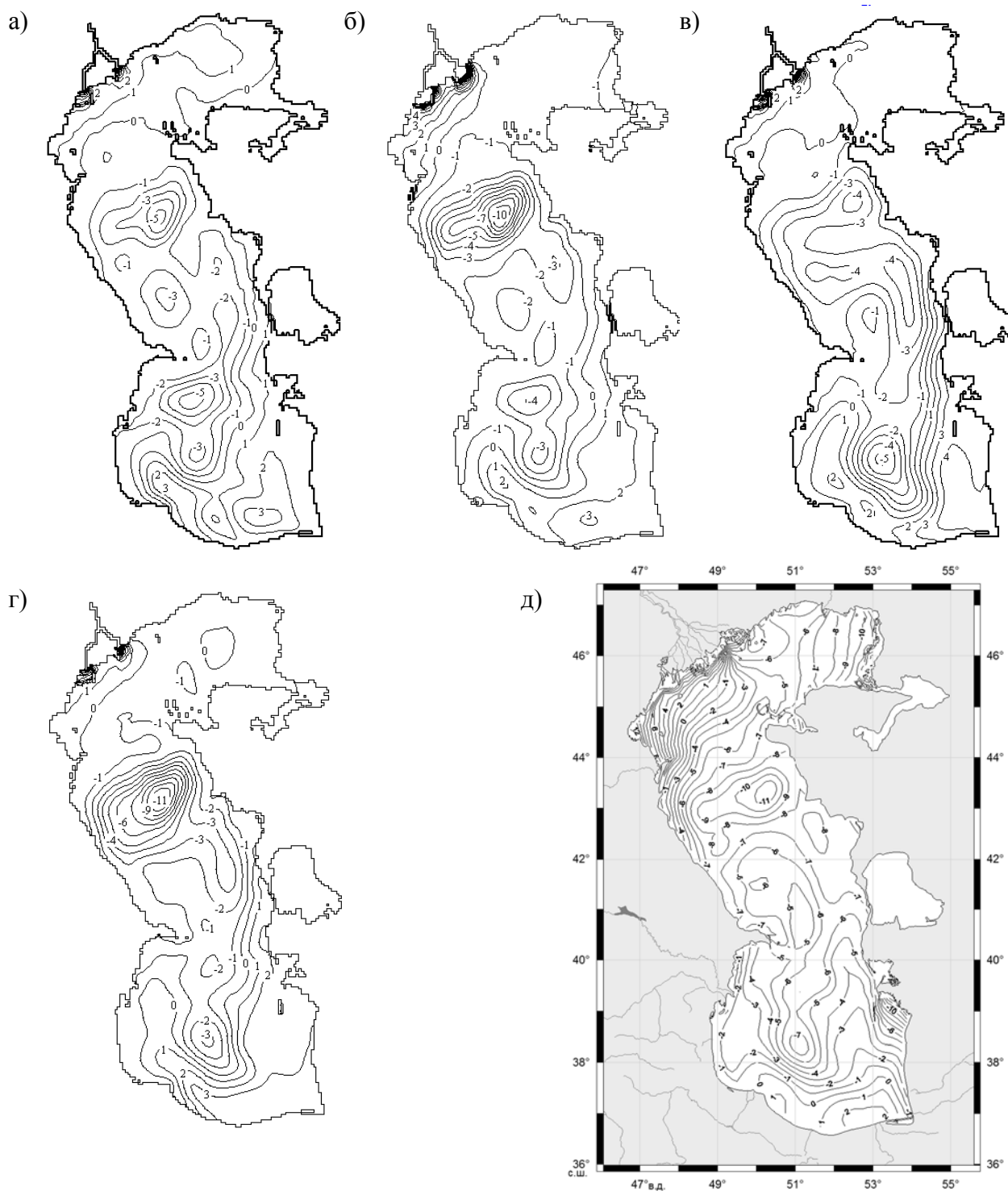


Рис.4 Уровень Каспийского моря (см) в феврале (а), апреле (б), августе (в), ноябре (г) и среднеклиматический динамический уровень по данным адаптационных расчетов по модели ЛМПИ Гидрометцентра России [33].

поверхности моря. Расчет ветровых течений на фоне полученной термохалинной циркуляции проводился по метеорологическим полям, рассчитанным по мезомасштабной модели COSMO-RU с 7-километровым пространственным разрешением и с 6-часовой дискретностью по времени [41].

Модель ИВМ РАН. Для реконструкции климатической циркуляции Каспийского моря в модели ИВМ РАН также применяется метод гидродинамической адаптации [21], заключающийся в динамической инициализации среднемноголетних или синоптических полей температуры и солености моделью динамики моря, основанной на полных уравнениях геофизической термогидродинамики. В отличие от модели ЛПМИ Гидрометцентра России, на поверхности моря задавались касательные

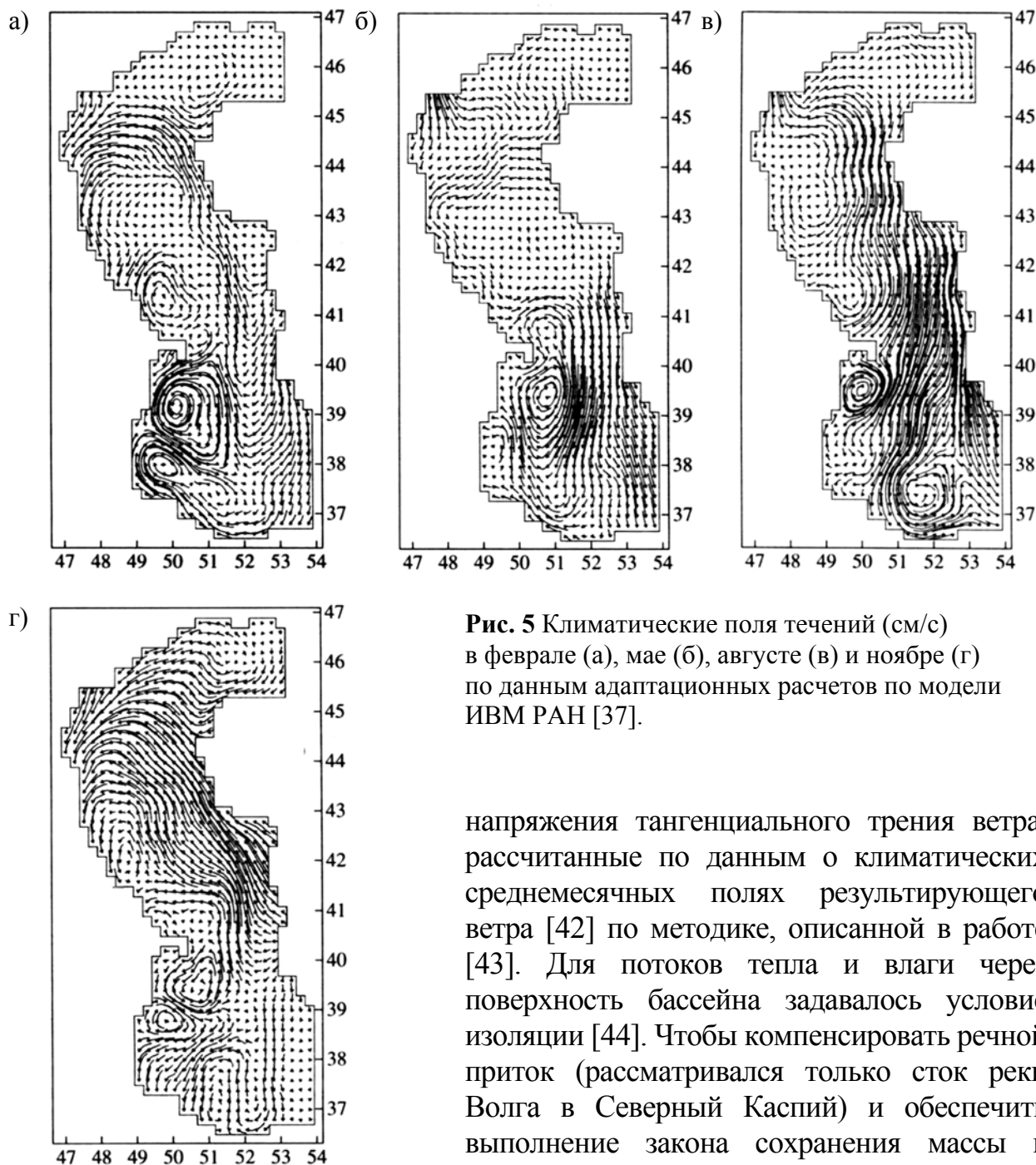


Рис. 5 Климатические поля течений (см/с) в феврале (а), мае (б), августе (в) и ноябре (г) по данным адаптационных расчетов по модели ИВМ РАН [37].

напряжения тангенциального трения ветра, рассчитанные по данным о климатических среднемесячных полях результирующего ветра [42] по методике, описанной в работе [43]. Для потоков тепла и влаги через поверхность бассейна задавалось условие изоляции [44]. Чтобы компенсировать речной приток (рассматривался только сток реки Волга в Северный Каспий) и обеспечить выполнение закона сохранения массы в модели, на поверхности моря задавалось равномерное значение вертикальной

скорости, направленной вверх, имитирующей испарение. Процесс льдообразования в модели не учитывался.

В феврале (рис. 5а) в Среднем Каспии поверхностные течения вдоль изобаты 100 м образуют обширный циклонический круговорот. Севернее Апшеронского п-ова располагается циклонический вихрь, береговой сегмент которого составляет юго-западную периферию циклонического круговорота Среднего Каспия. В Южном Каспии доминирует циклонический вихрь в северо-западной части и антициклонический, расположенный южнее устья реки Кура в юго-западной части. В мае (рис. 5б) циклонический характер циркуляции в Среднем Каспии сохраняется с меньшей интенсивностью по сравнению с зимой. В Южном Каспии, где сила ветра меньше, чем в его центральной части, циклонический вихрь смещается к востоку, и интенсивность его уменьшается. Антициклонический вихрь в юго-восточной части Южного Каспия не наблюдается. В июле (рис. 5в) под действием сильных северных и северо-западных ветров в восточной половине Среднего и центральной части Южного Каспия происходит усиление течений соответственно в южном и юго-западном направлениях. В Среднем Каспии у восточного берега наблюдается апвеллинг вод. Антициклон, расположенный в Южном Каспии южнее Апшеронского п-ова, смещается ближе к берегу. У иранского побережья моря формируется интенсивный циклонический вихрь.

Смена направления ветра над морем в осенний сезон (рис. 5г) приводит к перестройке поверхностных течений всего моря. В Среднем Каспии происходит усиление течения вдоль восточного побережья, которое является частью общей циклонической циркуляции этого региона. В юго-восточной части Южного Каспия южнее Апшеронского п-ова наблюдаются циклонический и антициклонический вихри меньшей интенсивностью по сравнению с зимой.

Модель ассимиляции климатических данных. Как уже отмечалось, метод гидродинамической адаптации [21] позволяет воспроизводить среднеклиматические и климатические сезонные поля температуры и солености (плотности) морской воды. Более эффективным методом реконструкции сезонных климатических полей является непрерывная по времени ассимиляция (усвоение) климатических данных о температуре и солености в термогидродинамической модели с переменными граничными условиями на поверхности [45]. При таком подходе роль усваиваемых в модели на каждом шаге по времени данных не должна быть завышенной, и ассимиляция данных должна осуществлять процесс быстрого (геострофического) согласования гидрофизических ролей. Предложенные в работах [46–47] методика периодической ассимиляции данных и алгоритм адаптивной статистики ошибок прогноза [36] позволяют воспроизвести взаимно согласованные климатические поля температуры и солености.

Для модели ассимиляции климатических данных [36] климатические поля температуры и солености, полученные по среднемноголетним гидрологическим данным методом гидродинамической адаптации [37], использовались как начальные условия. На верхней границе моря использовались среднемесячные данные реанализа атмосферной циркуляции, выполненного в Европейском центре среднесрочного прогноза погоды

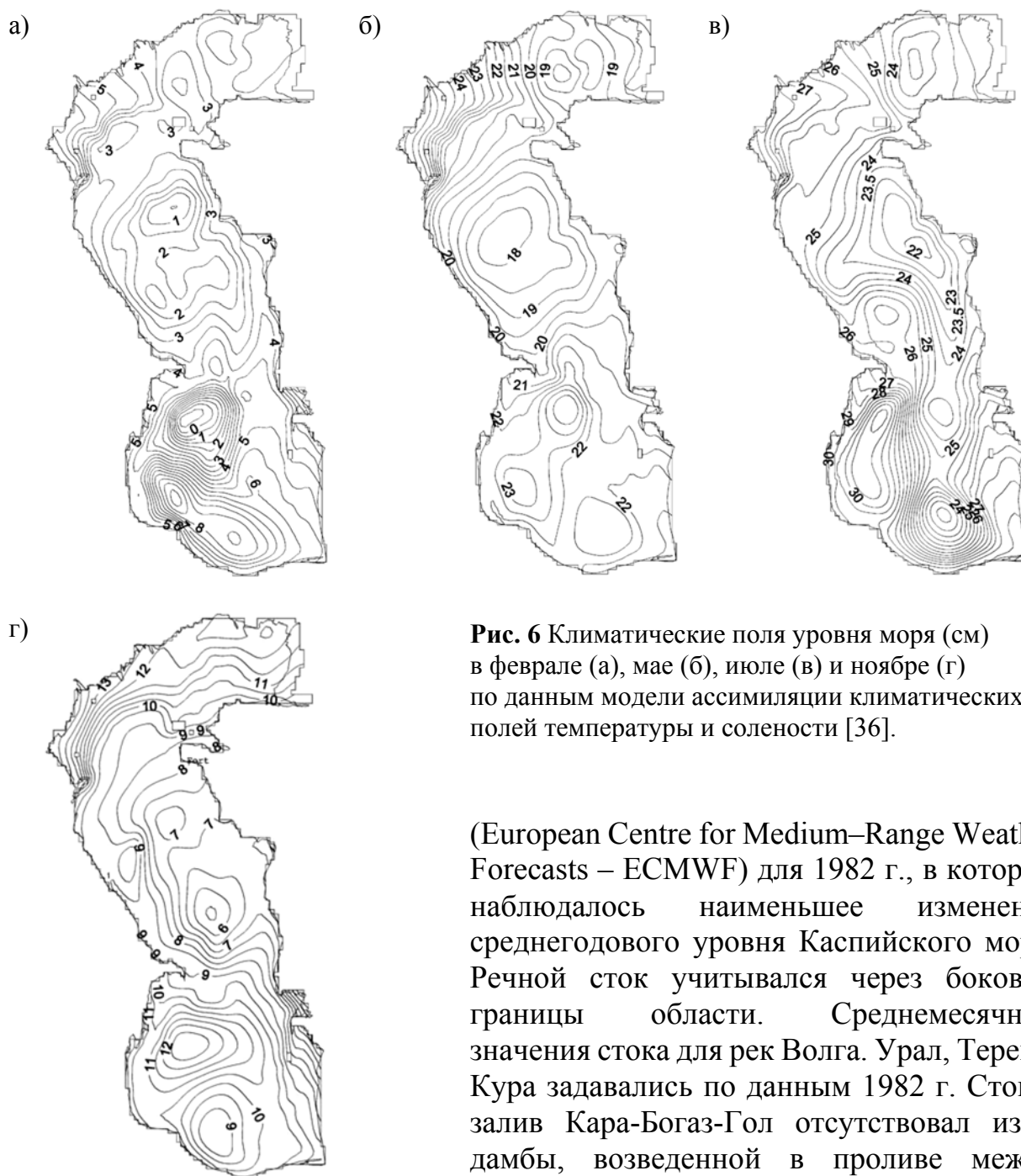


Рис. 6 Климатические поля уровня моря (см) в феврале (а), мае (б), июле (в) и ноябре (г) по данным модели ассимиляции климатических полей температуры и солёности [36].

(European Centre for Medium–Range Weather Forecasts – ECMWF) для 1982 г., в котором наблюдалось наименьшее изменение среднегодового уровня Каспийского моря. Речной сток учитывался через боковые границы области. Среднемесячные значения стока для рек Волга, Урал, Терек и Кура задавались по данным 1982 г. Сток в залив Кара-Богаз-Гол отсутствовал из-за дамбы, возведенной в проливе между морем и заливом в 1980 г. Температура речной

воды задавалась равной средней температуре воды за 1960–1990 гг., а солёность принималась равной 0‰.

Согласно полученным результатам, характерной особенностью поверхностных течений Северного Каспия в осенне-зимний период (рис. 6а) является сильное струйное течение. Оно направленно от дельты реки Волга на юго-запад к о. Чечень и Аграханскому п-ову. Поскольку пик половодья реки Волга приходится на конец мая начало июня, градиенты уровня мористее дельты реки в июле (рис. 6в) заметно меньше, чем в мае (рис. 6б). В восточной мелководной части Северного Каспия из-за циклонической завихренности ветра образуются два циклонических вихря (рис. 6в).

Циркуляция поверхностных вод в мае (рис. 6б) в западной части Северного Каспия качественно не отличается от зимней (рис. 6а). В ноябре поверхностные течения в Северном Каспии направлены с востока на запад и юго-запад (рис. 6г). Максимальный перепад уровня здесь наблюдается несколько южнее о. Искусственный и о. Тюлений.

В Среднем Каспии фактически весь год наблюдается обширный циклонический круговорот. Лишь в феврале циклонический характер циркуляции вод нарушается (рис. 6а). В отличие от зимнего состояния, в мае циклонический круговорот охватывает весь Средний Каспий (рис. 6б). Направленное на юг вдоль восточного берега Среднего Каспия течение из-за усиления северной компоненты ветра заметно сильнее в мае по сравнению с февралем и имеет максимальную протяженность. Значительные изменения в топографии уровня моря Среднего Каспия по сравнению с другими месяцами происходят в июле (рис. 6в). Западное прибрежное течение, хотя и доходит до Апшеронского п-ова, но существенно слабее. В ноябре (рис. 6г) в Среднем Каспии наблюдаются западный антициклонический вихрь и смещенный от него на юго-восток циклонический вихрь. Возбуждаемое стоком реки Волга градиентное течение, направленное от о. Чечень на юг распространяется лишь до Махачкалы. В этот период в Среднем Каспии отсутствует ярко выраженный циклонический круговорот вод. В западной части Среднего Каспия прослеживается антициклонический мезомасштабный вихрь.

В феврале в Южном Каспии выделяются два вихря (рис. 6а): юго-западная область моря охвачена антициклоническим вихрем, а северо-западная, южнее Апшеронского порога — циклоническим вихрем. Это наиболее интенсивные структуры мезомасштабных течений не только Южного Каспия, но и всего моря. Отмеченные вихри разного знака вращения вод присутствуют в Южном Каспии почти в течение всего года. По сравнению с февралем в мае (рис. 6б) антициклонический вихрь смещается вплотную к Апшеронскому порогу, в то время как циклонический вихрь — к востоку. Характерной особенностью циркуляции Южного Каспия летом являются сильное прибрежное течение южного направления вдоль восточного побережья и два циклонических вихря, расположенные между Апшеронским п-овом и устьем реки Кура и вблизи иранского побережья, а также антициклонический вихрь северо-восточнее Апшеронского порога (рис. 6в). В ноябре в северной области Южного Каспия доминирует антициклонический вихрь, южнее которого расположен менее интенсивный циклонический вихрь. У восточного побережья возле Красноводского залива уровень моря понижен, что указывает на подъем вод в этом районе.

4. Динамика Каспийского моря по данным ДЗЗ

Огромные возможности для исследования динамики вод Каспийского моря открывают данные ДЗЗ. Последовательные спутниковые изображения с высоким пространственно-временным разрешением и одновременным охватом всей исследуемой акватории позволяют проследивать эволюцию обнаруженного элемента циркуляции вод, при наличии контрастов в поле

температуры поверхности моря (ТПМ), содержании взвеси, содержании хлорофилла, шероховатости поверхности или аномалии уровня. Кроме того, очень важна, ввиду ограниченности экспедиционного времени, возможность коррекции курса научно-исследовательского судна на выбранный при анализе оперативной спутниковой информации объект исследования (например, мезомасштабный вихрь или вихревой диполь).

В арсенале средств ДЗЗ поверхности Каспийского моря спутниковые изображения ИК- и оптического диапазонов спектра, радиолокационные изображения (РЛИ) радаров с синтезированной апертурой (РСА) и данные спутниковой альтиметрии. В настоящее время в Каспийском море различают крупномасштабную, мезомасштабную и мелкомасштабную циркуляции вод. К крупномасштабной циркуляции вод в Каспийском море — круговороты в Среднем и Южном Каспии. К мезомасштабным элементам циркуляции относят: антициклонические и циклонические вихри, вихревые диполи и струи с горизонтальным размером ~20–100 км, превышающим бароклинный радиус деформации Россби, который для Каспийского моря составляет 17–22 км в глубоководных районах и 3–8 км на шельфе в восточной части Среднего Каспия [48]. К мелкомасштабным — циклонические и антициклонические вихри и диполи с диаметрами (размерами) менее радиуса деформации Россби. Основные результаты исследования мезомасштабной динамики вод Каспийского моря, ее связи с крупномасштабной циркуляцией вод, ветровым воздействием и неоднородностями линии берега/донной

топографии, полученные главным образом на основе анализа доступных спутниковых изображений ИК- и видимого диапазонов спектра, изложены в работе [49]

Богатую информацию об элементах крупномасштабной и мезомасштабной динамике вод Каспийского моря дают поля ТМП по данным ИК-изображения и карты содержания хлорофилла и взвеси. Они позволили: получить синоптическую картину апвеллинга у западного и восточного побережий Среднего Каспия и проследить ее динамику; выявить не известные ранее нестационарные элементы циркуляции (вдольбереговые струеобразные потоки теплых вод из Северного и Южного Каспия в Средний; струи и вихри, связанные с прибрежным апвеллингом;

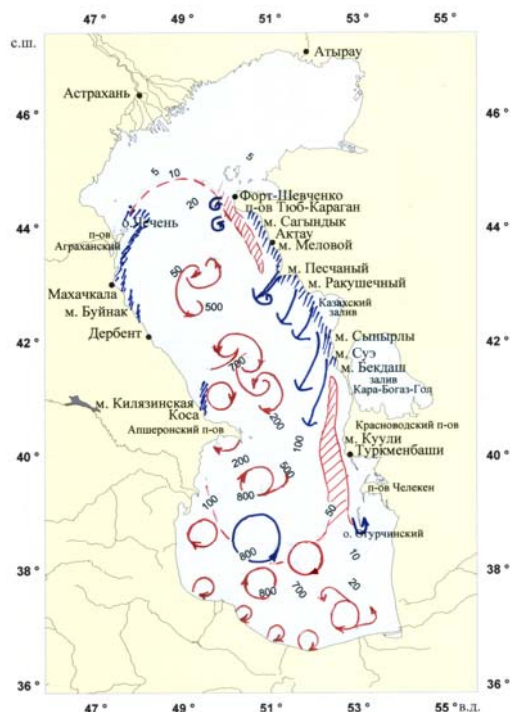


Рис. 7. Типичные элементы мезомасштабной циркуляции Каспийского моря в теплый сезон [49].

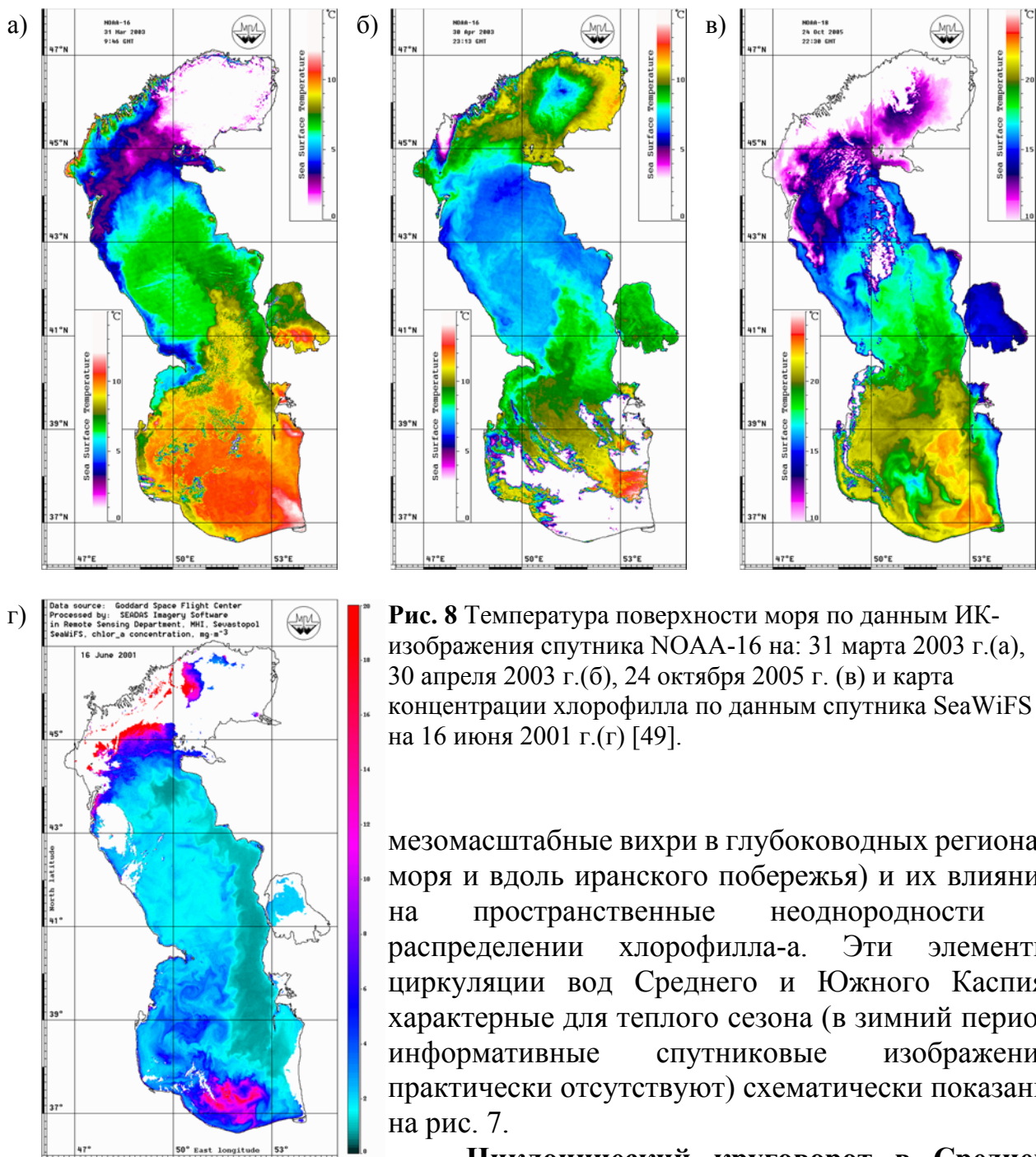


Рис. 8 Температура поверхности моря по данным ИК-изображения спутника NOAA-16 на: 31 марта 2003 г.(а), 30 апреля 2003 г.(б), 24 октября 2005 г. (в) и карта концентрации хлорофилла по данным спутника SeaWiFS на 16 июня 2001 г.(г) [49].

мезомасштабные вихри в глубоководных регионах моря и вдоль иранского побережья) и их влияние на пространственные неоднородности в распределении хлорофилла-а. Эти элементы циркуляции вод Среднего и Южного Каспия, характерные для теплого сезона (в зимний период информативные спутниковые изображения практически отсутствуют) схематически показаны на рис. 7.

Циклонический круговорот в Среднем Каспии, характерный элемент крупномасштабной

циркуляции в холодный период, отчетливо проявляется на спутниковых изображениях в марте-июне и октябре (рис. 8) (зимой информативные изображения редки из-за облачности). Вовлечение теплых вод из Южного Каспия по восточной периферии этого круговорота над Дербентской впадиной с центром на ~42° с.ш. и 50° в.д. обеспечивает их распространение в холодный период на север до 43–44° с.ш., в то время как южный поток по его западной периферии способствует распространению холодных и распресненных вод из Северного Каспия в Средний Каспий (рис. 8а). По мере весенне-летнего прогрева размер поверхностного циклонического круговорота уменьшается и северная граница вовлеченных южно-каспийских вод смещается на юг (рис. 8б, 8г). В теплый сезон на месте этого крупномасштабного круговорота часто

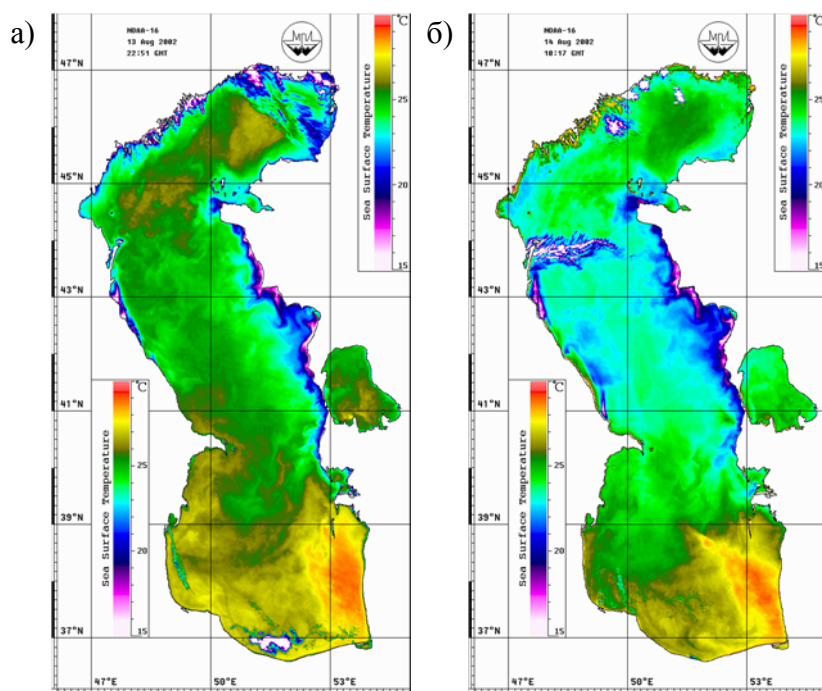


Рис. 9 Температура поверхности моря по данным ИК-изображения спутника NOAA-16 на 13 (а) и 14 (б) августа 2002 г. [49].

наблюдаются мезомасштабные вихри, вихревые диполи и струи апвеллинга (рис. 8в), однако и тогда примерно в центре прежнего круговорота нередко различается мезомасштабный циклон с диаметром $\sim 40\text{--}50$ км (рис. 8в). Осенью (с начала октября) циклонический круговорот снова начинает проявляться а поле ТПМ (рис. 8в).

Характер **апвеллинга** у западного и восточного побережий Каспия существенно различается, что связано с характером береговой линии/донной топографии (рис. 1), преобладающими локальными направлениями ветра, наличием интенсивного юго-восточного течения у западного побережья. Для западного побережья Среднего Каспия характерны локальные синоптические подъемы холодных вод при благоприятных для апвеллинга направлениях ветра. В основном это, в соответствии с общим направлением береговой черты, ветры юго-восточного направления на пространстве от п-ова Аграханский до Апшеронского п-ова [5, 17, 51]. На квазизональных участках (Махачкала – м. Турали, районы м. Буйнак и Килязинская Коса) при ветрах восточных румбов образуются холодные струи северного направления с шириной 10–20 км, длиной до ~ 60 км, скоростью продвижения фронта до 140 см/с, перепадом температуры относительно окружающих вод до 11–12 °С, временем жизни — несколько дней (рис. 9) [51]. Отличительная особенность этих струй — в том, что, распространяясь от берега сначала почти поперек изобат, в итоге они в соответствии с изменениями линии берега и хода изобат становятся параллельными им. Задержка во времени наступления апвеллинга относительно северного участка (вблизи Махачкалы) последовательно увеличивалась в южном направлении.

В отличие от апвеллинга у западного побережья Среднего Каспия с эпизодическими выходами холодных вод на поверхность, апвеллинг у его

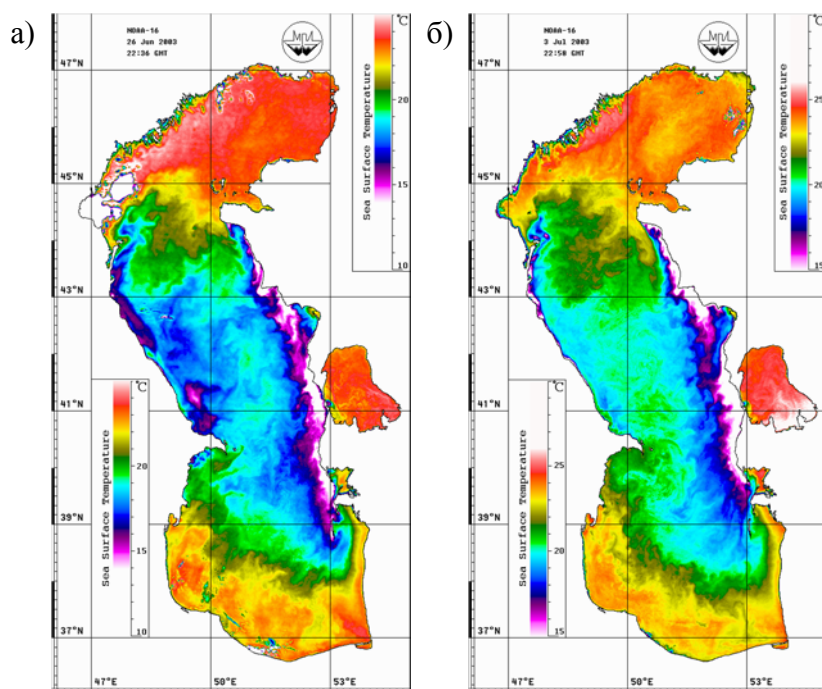


Рис. 10 Температура поверхности моря по данным ИК-изображения спутника NOAA-16 на 23 июня 2003 г. (а) и 3 июля 2003 г. (б) [49].

восточного побережья имеет сезонный характер, обусловленный преобладающими северо-западными ветрами в летний сезон, совпадающими по направлению с линией берега (в среднем) [5, 17, 51]. Сезонный апвеллинг вдоль восточного побережья от п-ова Тюб-Караган до Краснодарского п-ова (при сильных северных и северо-западных ветрах — до о-ва Огурчинский, рис. 10) с холодной температурной аномалией у берега наблюдается с середины мая до середины октября. Изрезанность береговой линии и разнообразие ветровых условий вдоль побережья с большой меридиональной протяженностью обуславливают существенную пространственно-временную изменчивость зоны апвеллинга [52], а близость к берегу 50-метровой изобаты на большей части побережья (на этой глубине находятся глубинные воды с температурой 10–12 °С [53]) — яркое проявление апвеллинга при сравнительно слабых ветрах, не превышающих в теплый сезон в большинстве случаев 5–7 м/с. Например, при восточных ветрах апвеллинг у восточного побережья (сгон) был слабым, тогда как в ситуации конца июня – начала июля 2003 г., при преобладающих ветрах западных румбов над Северным Каспием и северных — над Средним Каспием, наблюдался интенсивный апвеллинг у обоих побережий (рис. 10). Локальная ширина зоны апвеллинга (расстояние от берега, в пределах которого прослеживаются трансформированные апвеллинговые воды) зависит от силы, направления и продолжительности ветрового воздействия, а также от горизонтального масштаба сопровождающих апвеллинг когерентных структур.

Струйные потоки из Северного и Южного Каспия в Средний. Синоптическая ситуация с северным ветром вдоль восточного побережья моря и антициклонической циркуляцией в Среднем Каспии приводит к распространению теплых вод из Северного Каспия струйным потоком по западному побережью п-ова Тюб-Караган до ~43° с.ш. (рис. 10б) [52].

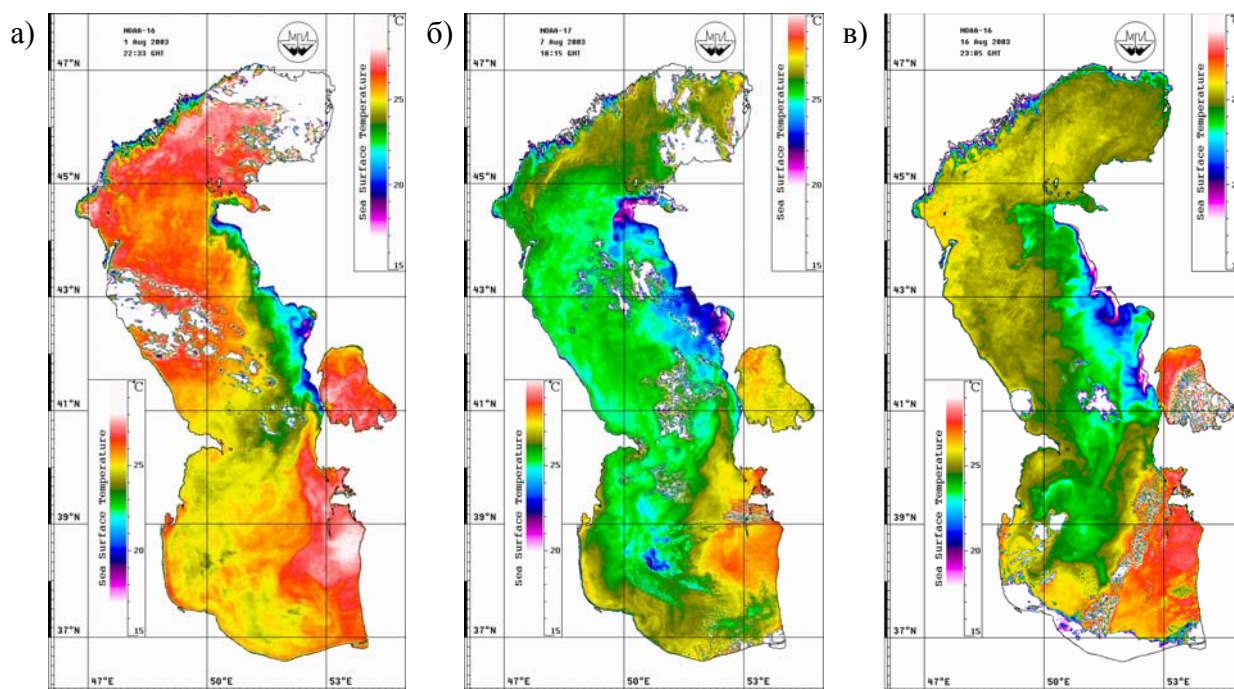


Рис. 11 Температура поверхности моря по данным ИК-изображения спутника NOAA-16 на 1 августа 2003 г. (а), 7 августа 2003 г. (б) и 3 августа 2003 г. (в) [49].

Ширина такой струи теплых вод на 3 июля 2003 г. составляла ~ 20 км, а скорость продвижения ее фронта на юго-восток, оцененная по ИК-изображениям для 26 июня и 3 июля 2003 г., была ~ 15 см/с.

Ветры восточных румбов, более частые в августе-октябре, способствуют распространению теплых вод из Южного в Средний Каспий в виде струйных потоков от $39\text{--}40^\circ$ до $41^\circ 30'\text{--}42^\circ$ с.ш. в пределах 50-метровой изобаты. Скорость продвижения таких струеобразных потоков из Южного Каспия на север, оцененная по смещению их головной части между последовательными изображениями ТПМ, — около 20 см/с, а продолжительность проявления на изображениях — порядка одной-двух недель.

Вихри в Среднем и Южном Каспии имеют широкий диапазон пространственных масштабов – от примерно 10 км до ~ 80 км. Время их наблюдения ограничивается в большинстве случаев несколькими днями, а наличие облачности и слабые контрасты трассера не позволяют проследить их эволюцию и выявить механизмы образования. Наиболее очевидна природа вихрей, связанных с апвеллингом у восточного побережья Каспия.

При северных и северо-восточных ветрах от зоны апвеллинга у западного побережья п-ова Тюб-Караган отделяются циклонические вихри с диаметром $\sim 10\text{--}20$ км (рис. 9, 11). Процесс последовательного формирования циклонов на фронте апвеллинга и их последующего распространения запад и юг в августе 2003 г. показан на рис. 11. Средняя скорость перемещения циклона, оцененная по двум полям ТПМ (рис. 11а и 11б) составила ~ 8 см/с. В результате отделения от зоны апвеллинга этих циклонических вихрей,

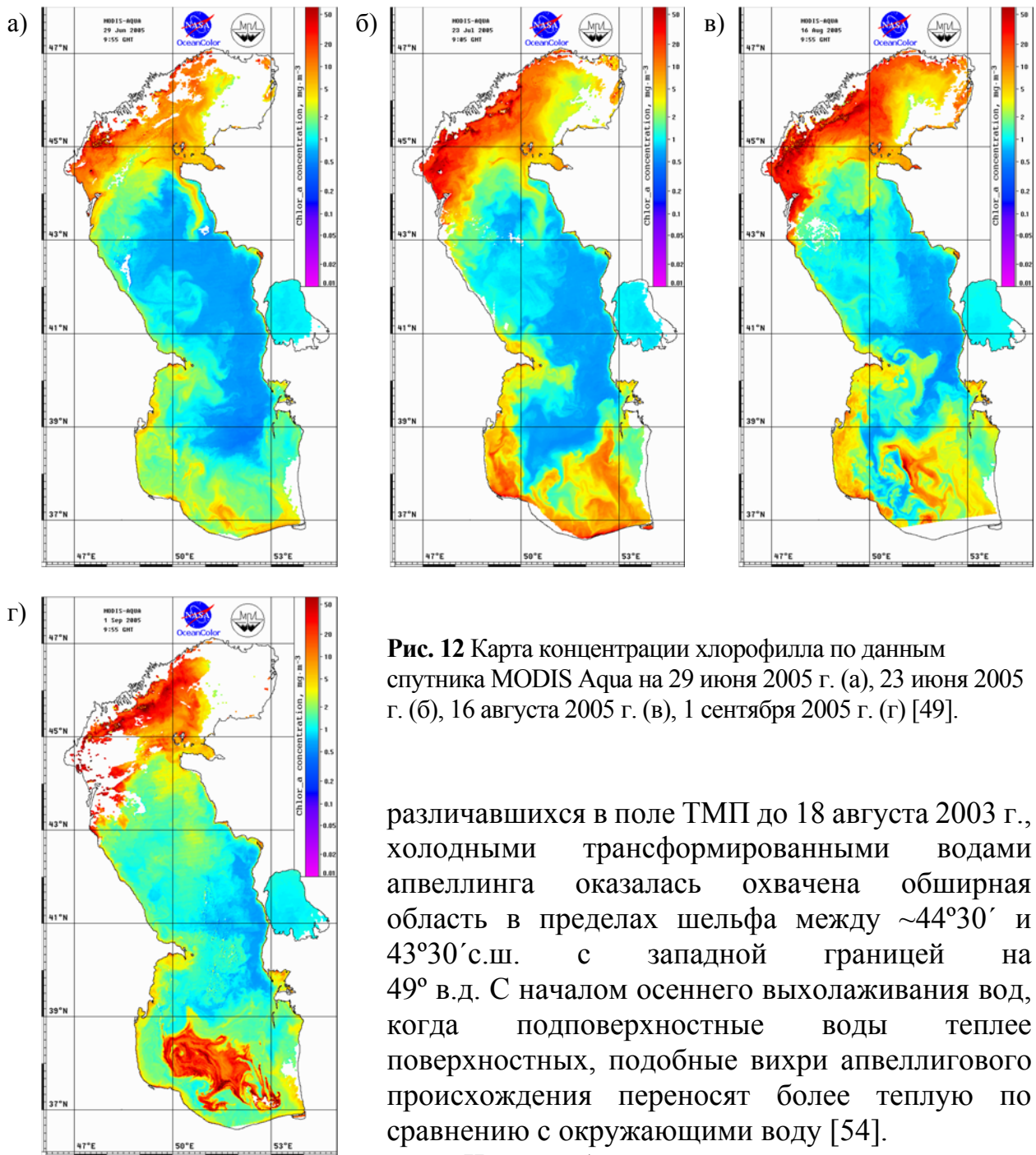


Рис. 12 Карта концентрации хлорофилла по данным спутника MODIS Aqua на 29 июня 2005 г. (а), 23 июня 2005 г. (б), 16 августа 2005 г. (в), 1 сентября 2005 г. (г) [49].

различавшихся в поле ТМП до 18 августа 2003 г., холодными трансформированными водами апвеллинга оказалась охвачена обширная область в пределах шельфа между $\sim 44^{\circ}30'$ и $43^{\circ}30'$ с.ш. с западной границей на 49° в.д. С началом осеннего выхолаживания вод, когда подповерхностные воды теплее поверхностных, подобные вихри апвеллигового происхождения переносят более теплую по сравнению с окружающими воду [54].

Часто обнаруживаемым на спутниковых изображениях элементом мезомасштабной циркуляции Среднего Каспия является антициклонический вихрь с центром на 41° – $41^{\circ}30'$ с.ш., 50° – $50^{\circ}30'$ в.д. (между Дербентской впадиной и Апшеронским п-овом) с диаметром от ~ 30 до ~ 70 км. Этот вихрь и связанные с ним элементы циркуляции обеспечивают распространение трансформированных вод апвеллинга на расстояние до ~ 150 км от берега (рис. 10а). Иногда вихри примерно такого же масштаба и вихревые диполи наблюдаются и в центральной части Среднего Каспия (рис. 7). Вихревой диполь к северо-востоку от Апшеронского п-ова с размером «шляпки» примерно 55 км виден на рис. 12а. Антициклоны или вихревые диполи меньшего размера (~ 20 км) обнаруживаются на конце струйного потока

теплых вод из Северного Каспия вдоль п-ова Тюб-Караган (рис. 10б), на фронте теплых и распресненных вод из Северного Каспия (рис. 12б).

В Южном Каспии мезомасштабные антициклоны с присоединенными циклонами часто наблюдаются как над склоном южно-каспийской впадины на участке от Апшеронского п-ова до юго-восточного «угла» моря, так и в глубоководной части моря, с центрами преимущественно западнее 51° в.д. В большинстве случаев это антициклонические вихри или диполи/триполи на основе антициклона. Центры часто обнаруживаемых антициклонов над западным склоном впадины с диаметром $\sim 30\text{--}50$ км находятся непосредственно южнее Апшеронского п-ова (рис. 10а, 12в–12г), южнее устья р. Куры ($\sim 38^\circ 40'$ с.ш., $49^\circ 30'$ в.д., рис. 10а, 12а–12б) и в юго-западной части моря ($\sim 37^\circ 40'$ с.ш., $49^\circ 30'$ в.д., рис. 12б). Вихри с диаметром $\sim 20\text{--}40$ км (рис. 12б–12в) обнаруживаются вдоль южного побережья от м. Сефид-Руд до самой южной точки моря на 52° в.д. (см. также [49, 54–55]).

Более крупные антициклонические и циклонические вихри, а также вихревые диполи и их комбинации характерны для глубоководной части Южного Каспия. Циклонический вихрь с диаметром до $70\text{--}80$ км иногда отчетливо проявляется в западной части впадины (центр на $\sim 38^\circ 10'\text{--}38^\circ 30'$ с.ш., $50^\circ\text{--}50^\circ 30'$ в.д.) (рис. 12в–г).

Сравнение последовательных спутниковых изображений (к сожалению, временной интервал между информативными снимками может превышать две недели) показывает, что вихревая картина в Южном Каспии довольно изменчива. Например, крупный циклонический вихрь на рис. 12в–г, образующий сложную вихревую группу с соседними антициклонами, оказался на месте небольших элементов антициклонической завихренности, наблюдавшихся примерно месяцем ранее (рис. 12а–б). Время его жизни (проявления в поле хлорофилла) составило почти месяц (примерно с 7 августа до начала сентября 2005 г.). Вовлечение вод по перифериям вихрей, в том числе вихрей на границе Среднего и Южного Каспия, обеспечивает распространение теплых (холодных) вод на север (юг).

В Каспии существуют и **мелкомасштабные вихри и вихревые диполи**, которые обнаруживаются на радиолокационные изображения (РЛИ) РСА и визуализируются либо посредством пассивных трассеров, либо за счет изменения контрастов в конвергентно-дивергентных зонах. Пассивными трассерами служат в первую очередь пленки поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые выглаживают морскую поверхность за счет подавления мелкомасштабной составляющей волнения (так называемый пленочный или сликовый механизм). На долю вихрей, проявляющихся за счет пленочного механизма, приходится до 90 % всех выявленных вихрей в Каспийском море [49]. Пленки, вовлекаясь в орбитальные движения, достаточно детально «прорисовывают» вихри и вихревые диполи. Это дает возможность оценить их пространственные характеристики, определить знак их завихренности (циклонические – антициклонические). На РЛИ за счет «сликового» механизма хорошо проявляются вихревые структуры от нескольких сот метров до десятков километров (рис. 13). Наиболее часто

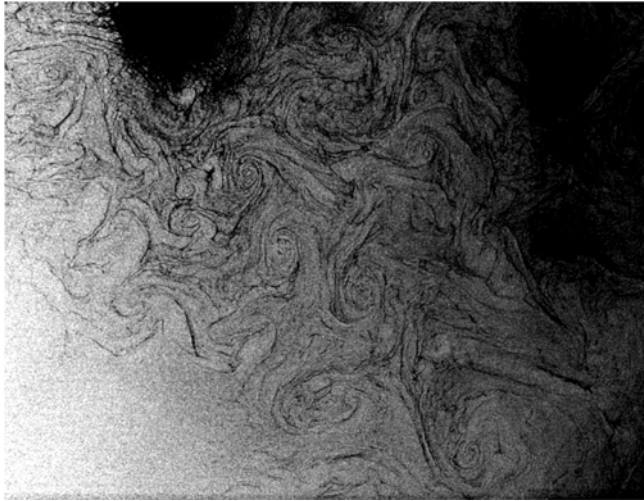


Рис. 13 Проявление мелкомасштабных вихрей на РЛИ за счет «сликового» механизма: мелкомасштабные вихри в юго-восточной части Каспийского моря.

Фрагмент РЛИ ASAR спутника Envisat, полученного 19 ноября 2010 г. в 18:17 UTC с разрешением в точке 75 м [49]

вихри, «прорисованные» сликами, выявляются на РЛИ в период активного цветения водорослей. Следует отметить,

что, помимо необходимого условия – наличия большого количества ПАВ или скопления водорослей, для «проявляемости» вихрей на РЛИ существенна и скорость ветра. Лучше всего «сликовый» механизм работает при скоростях ветра 3–5 м/с, при которых уже существуют короткие гравитационно-капиллярные волны, вызывающие брэгговское рассеяние радиолокационного сигнала, а ветер еще не оказывает разрушительного воздействия на поверхностные пленки. При определенных обстоятельствах вихри и вихревые диполи могут быть непосредственно зарегистрированы на снимках в оптическом диапазоне в зоне солнечного блика. В этом случае сигнал формируется пленками ПАВ, которые выступают в качестве трассеров подобно тому, как это происходит на РЛИ (рис. 14).



Рис. 14 Пример проявления мелкомасштабных вихрей на оптическом снимке в зоне солнечного блика. Фрагмент цветосинтезированного изображения спутника TM Landsat-5, полученного 2 июня 2010 г. с разрешением 30 м. Композиция 3-го, 2-го и 1-го каналов [49]

5. Динамика Каспийского моря по данным спутниковой альтиметрии

Создаваемая для решения геодезических задач спутниковая альтиметрия нашла широкое применение в океанологии [56]. Помимо

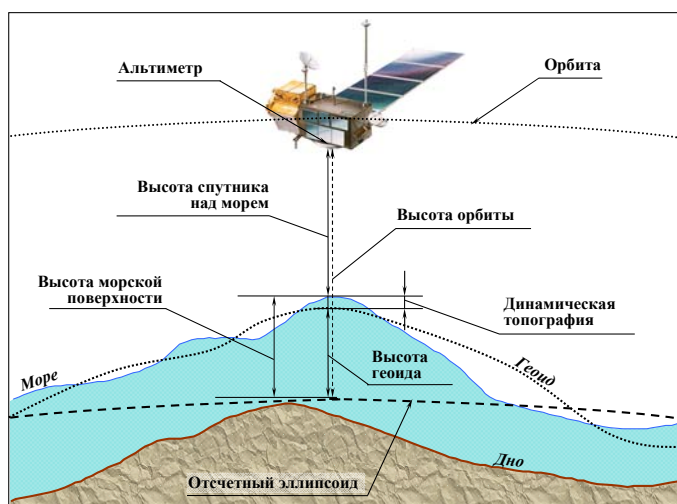


Рис. 15 Принципиальная схема альтиметрических измерений и основные поверхности, связанные с ними [49].

климатических изменений уровня Мирового океана она позволяет исследовать синоптическую изменчивость крупномасштабной динамики, уточнять глобальные модели приливов, исследовать

синоптические вихри и меандры сильных струйных течений, планетарные волны, волны цунами, морские льды и многое другое. В настоящее время наблюдается тенденция к переходу от исследования крупномасштабных явлений в Мировом океане к исследованиям отдельных акваторий, внутренних и окраинных морях [57].

Спутниковая альтиметрия — единственный тип данных ДЗЗ, позволяющий вне зависимости от погодных условий на регулярной основе создавать карты динамической топографии морской поверхности. Сегодня точность альтиметров достигла такого уровня [49], что дает возможность рассчитывать по градиентам уровня моря поля поверхностных геострофических течений [58].

Исследование динамики Мирового океана, внутренних и окраинных морей проводится на основе анализа динамической топографии (ДТ), которая определяется как отклонение высоты морской поверхности от высоты морского геоида (рис. 15).

Различают два вида динамической топографии: среднюю (или среднеклиматическую) и синоптическую. Среднеклиматическая ДТ определяется как отклонение средней высоты морской поверхности от высоты морского геоида. Она рассчитывается по данным спутниковой альтиметрии, дрейфующих буев и результатам расчетов по термогидродинамическим моделям [59]. Различают глобальные и региональные модели среднеклиматической ДТ. Синоптическая динамическая топография определяется как суперпозиция среднеклиматической ДТ и аномалий уровня моря, рассчитанных по данным спутниковой альтиметрии [59].

Для анализа гидрологического и гидродинамического режимов Каспийского моря наиболее оптимальными являются данные спутников ТОЕХ/Poseidon (Т/Р) и Jason-1/2 (J1/2). Это обусловлено следующими причинами.

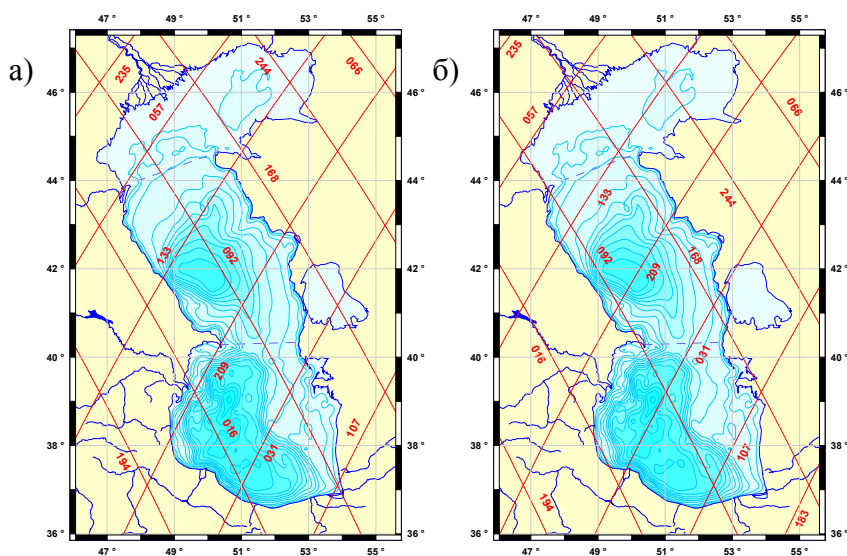


Рис. 16 Положение на акватории Каспийского моря треков фазы А программы спутников Т/Р и J1/2 (а) и фазы В программы спутников Т/Р и J1(б) [4].

Восходящий трек соответствует нечетному номеру, нисходящий трек – четному.

- Точность измерения высоты спутника над морской поверхностью для этой программы составляет 1,7 см [4, 49], а расчет самой ВМП относительно отсчетного эллипсоида для открытого океана – 4,2 см [4, 49], что является наилучшей характеристикой по сравнению с другими программами альтиметрических измерений.
- Внутри каждого 10-суточного цикла на акватории Каспийского моря расположено 4 нисходящих (четные номера) и 4 восходящих (нечетные номера) трека (рис. 16а).
- Временной масштаб повторения измерений вдоль трека – 9,916 суток (т.е. примерно 3 раза в месяц) – наиболее приемлем для исследования синоптической и сезонной изменчивости уровня Каспийского моря.
- Пространственное разрешение альтиметрических измерений этих спутников для акватории Каспийского моря меньше характерного радиуса деформации Россби.
- Массив данных спутника Т/Р¹ [60] представляет собой непрерывный и наиболее длинный по времени ряд измерений с возможностью его продления данными спутника J1² [61] и J2³ [62]. Расположение треков последнего полностью совпадает с расположением треков спутников Т/Р и J1 до совершения ими маневра коррекции орбиты соответственно 19 августа 2002 г. и 26 января 2009 г. (рис. 16).

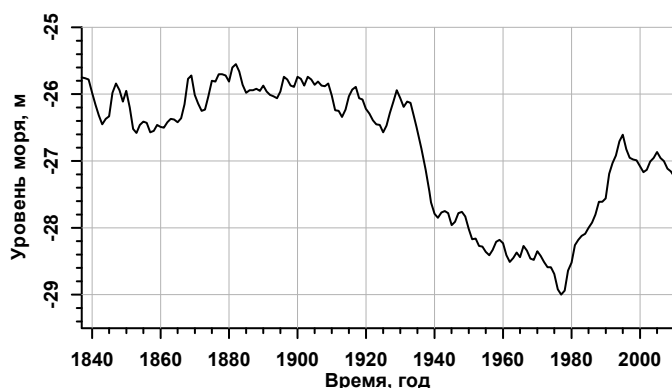
Обработка данных спутников Т/Р и J1/2 проводилась с применением программного обеспечения Интегрированной базы данных спутниковой альтиметрии (ИБДСА) — «Каспий» с учетом всех необходимых поправок (поправки на влажность, сухой поправки, ионосферной поправки, систематической поправки и т.д.)

¹ – Фаза А – с сентября 1992 г. по август 2002 г. или с 1 по 364 цикл.

² – Фаза А – с января 2002 г. по январь 2009 г. или с 1 по 259 цикл.

³ – Фаза А – с августа 2008 г. по настоящее время.

Рис. 17 Межгодовая изменчивость уровня Каспия за период инструментальных наблюдений с 1837 по 2012 гг.



Существующие на сегодня глобальные **модели средних высот морской поверхности (СВМП)** Мирового океана [4, 59], относительно которых рассчитываются аномалии уровня из данных спутниковой альтиметрии, не все включают акваторию Каспийского моря. При вычислении СВМП всегда автоматически учитываются приливные поправки и/или поправки обратного барометра. Для Каспийского моря такой метод не подходит, поэтому необходимо создание региональной модели СВМП с учетом особенностей его гравитационного поля, гидрологического (сильная межгодовая изменчивость уровня моря [5, 17, 63], см. рис. 17) и термогидродинамического режимов.

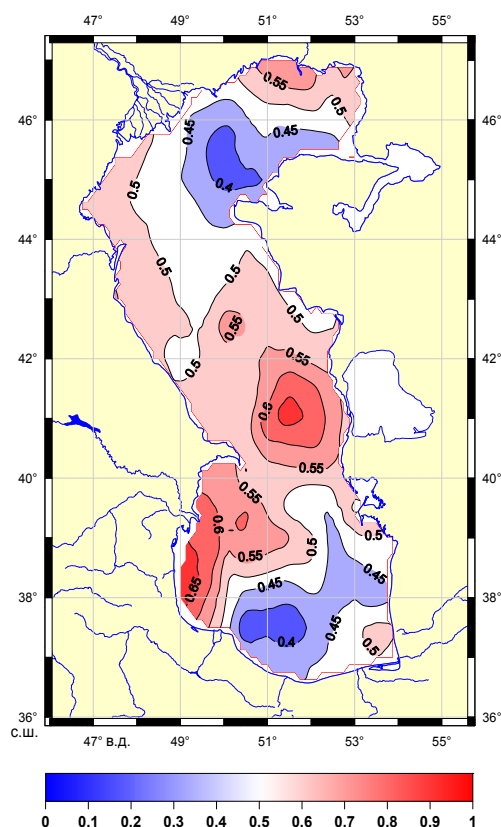


Рис. 18 Нормированные скорости изменения уровня Каспийского моря по данным альтиметрических измерений спутников Т/Р и J1/2 с января 1993 г. по декабрь 2012 г.

Исходя из определения СВМП как поверхности, наиболее приближенной к эквипотенциальной поверхности моря, региональная модель СВМП для Каспийского моря представляет собой функцию не только широты и долготы, но и времени с фильтрацией сезонной и синоптической изменчивости [4, 64–65]. Пространственно-временной анализ изменчивости СВМП Каспийского моря показал, что уровень моря за период с 1993 по 2012 гг. рос и падал неравномерно по акватории моря (рис. 18). Расчет аномалий уровня моря относительно региональной модели СВМП позволит учесть как межгодовую изменчивость уровня моря, так и его пространственную неоднородность.

В качестве среднеклиматической ДТ для акватории Каспийского моря наиболее оптимальными являются результаты расчетов по модели Гидрометцентра [32–34] (рис. 4д). Синоптическая динамическая топография (рис. 19в) определяется как суперпозиция среднеклиматической ДТ (рис. 19а) и

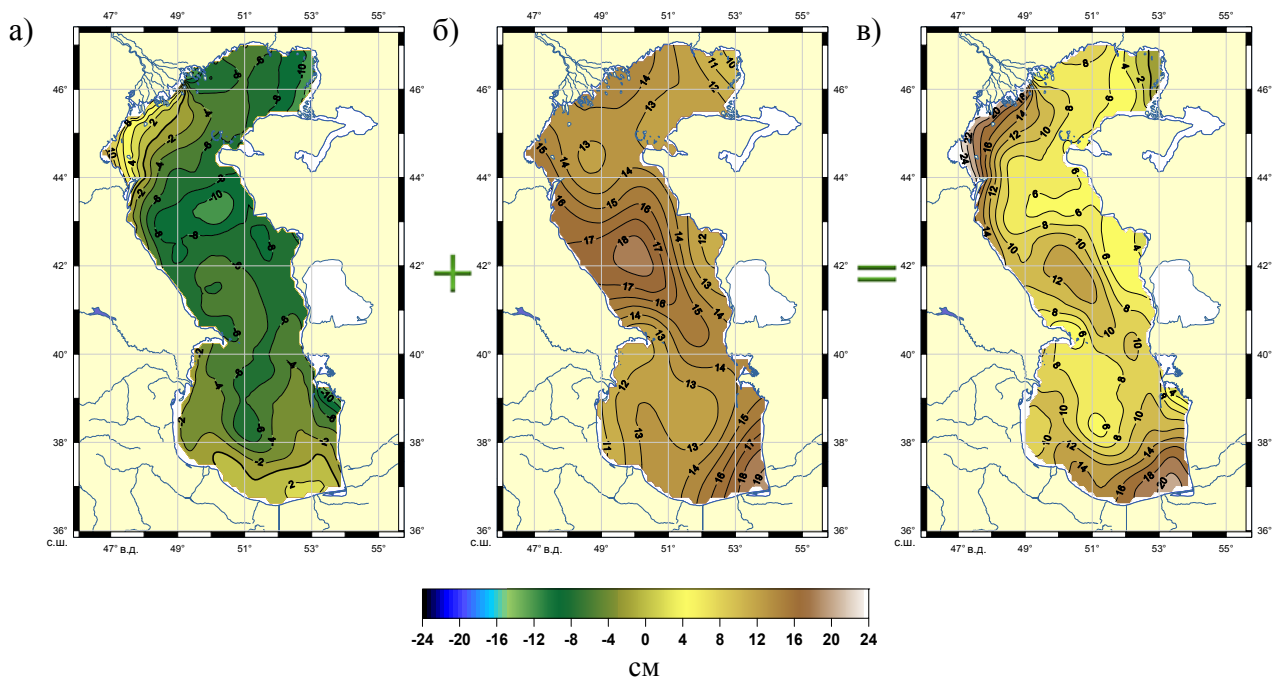


Рис. 19 (а) – Среднеклиматическая ДТ (см), рассчитанная по модели Гидрометцентра России [32–34], (б) – среднемесячные аномалий уровня моря Каспийского моря (см) за июль 2005 г. и (в) – синоптическая ДТ (см) за июль 2005 г., определяемая как суперпозиция среднеклиматической ДТ и аномалий уровня моря.

аномалий уровня, рассчитанным по данным спутниковой альтиметрии (рис. 19б) [4, 58]. По этой методике проводились расчеты среднемесячных и среднесезонных полей синоптической ДТ для временного интервала 1993–2012 гг.

Верификацию полей синоптической ДТ, построенной по данным спутниковой альтиметрии можно провести по другим параметрам состояния морской поверхности (температуре поверхности моря, концентрации взвешенного вещества, содержание хлорофилла и др.), рассчитанным по данным ДЗЗ, которые являются естественными трассерами, отражающими особенности мезомасштабной динамики вод [49].

Рассмотрим случай аномального цветения водорослей *Cyanobacteria Nodularia* у Иранского побережья в Южном Каспии в 2005 г. [66]. Оно началось развиваться во второй декаде августа и продолжалось до конца сентября и охватило область в 20 000 км². Аномальное цветение водорослей было зарегистрировано по данным спектрорадиометра MODIS спутника Aqua 12 августа и достигло максимума 1 сентября 2005 г. (рис. 19).

Анализ карт концентрации хлорофилла и восходящего излучения морской воды (длина волны 412 нм) на 1 сентября 2005 г. по данным спектрорадиометра MODIS спутника Aqua показывает наличие мощного антициклонического вихря в Южном Каспии, центр которого имеет координаты 50°28' в.д. и 38°09' с.ш. Этот вихрь наблюдается и в поле среднемесячной за август 2005 г. синоптической ДТ, рассчитанной по данным

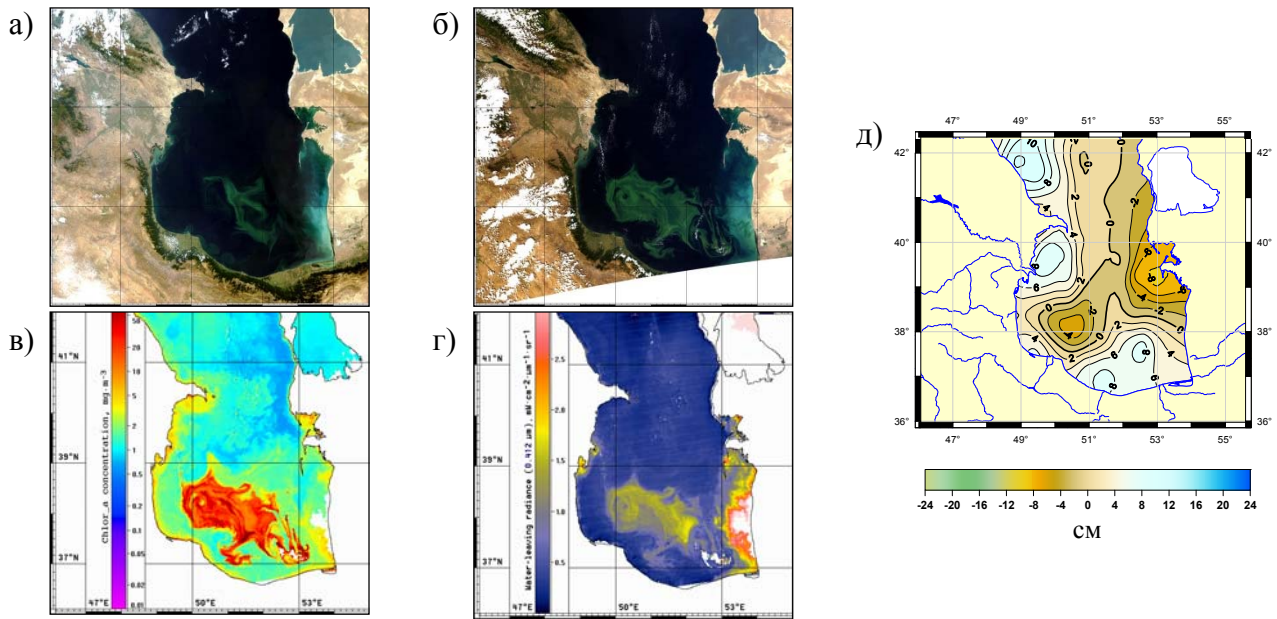


Рис. 20 Аномальное цветение водорослей по данным спектро радиометра MODIS спутника Aqua (а) на 17 августа 2005 г., (б) на 1 сентября 2005 г.; карты (в) концентрации хлорофилла ($\text{мг}/\text{м}^3$) и (г) восходящего излучения морской воды на длине волны 412 нм ($\text{мВт}/\text{см}^2$) на 1 сентября 2005 г. и (д) среднемесячной синоптической ДТ (см) за август 2005 г., рассчитанной по данным альтиметрических измерений спутников Т/Р и J1/2.

альтиметрических измерений спутников Т/Р и J1. Однако форма этого вихря более сглаженная по сравнению с картами, рассчитанными по данным спектро радиометра MODIS. Этот факт можно объяснить пространственным разрешением данных. Для концентрации хлорофилла и восходящего излучения морской воды (длина волны 412 нм), рассчитанным по данным спектро радиометра MODIS, пространственное разрешение составляет 250 м, а для поля среднемесячной синоптической ДТ – $0,125^\circ$ или 12,5 км.

Таким образом, показано, что поля синоптической ДТ, рассчитанные по данным альтиметрических измерений по алгоритму, изложенному выше, хорошо отражают особенности мезомасштабной динамики вод Каспийского моря.

Анализ **среднемесячных полей ДТ** показывает, что в феврале (рис. 20а) циклонический вихрь, расположенный в северной части Среднего Каспия, становится более мощным по сравнению со среднеклиматической картиной (рис. 17а) и незначительно смещается в сторону западного побережья. В Южном Каспии также происходит усиление циклонического круговорота в центре. В Среднем Каспии вдоль побережья Дагестана от Аграханского п-ва до Дербента и в Южном Каспии на побережье Туркменского залива и южнее наблюдается интенсификация прибрежных течений. Весной (апрель) (рис. 20б) циклонический вихрь в северной части Среднего Каспия ослабевает. Севернее Апшеронского порога формируется антициклонический вихрь. Циклонический круговорота в центре Южного Каспия также ослабевает по сравнению со среднеклиматической картиной (рис. 17а). Интенсификация прибрежных течений наблюдается в Северном

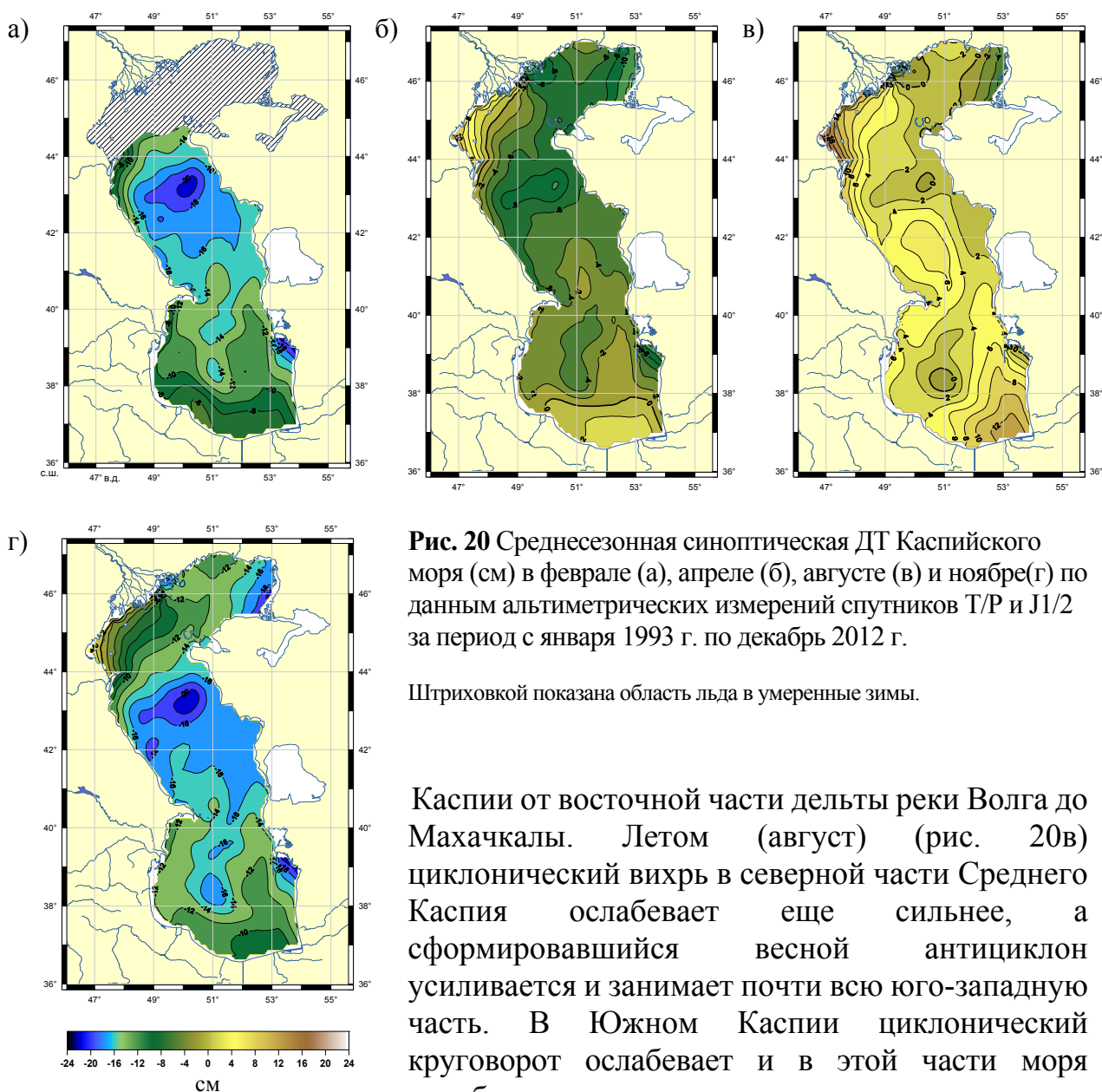


Рис. 20 Среднесезонная синоптическая ДТ Каспийского моря (см) в феврале (а), апреле (б), августе (в) и ноябре(г) по данным альтиметрических измерений спутников Т/Р и J1/2 за период с января 1993 г. по декабрь 2012 г.

Штриховкой показана область льда в умеренные зимы.

Каспии от восточной части дельты реки Волга до Махачкалы. Летом (август) (рис. 20в) циклонический вихрь в северной части Среднего Каспия ослабевает еще сильнее, а сформировавшийся весной антициклон усиливается и занимает почти всю юго-западную часть. В Южном Каспии циклонический круговорот ослабевает и в этой части моря преобладает антициклоническая

циркуляция. По-прежнему в Северном Каспии от восточной части дельты реки Волга до границы со Средним Каспием наблюдается сильные прибрежные течения. В ноябре (рис. 20в) общая картина циркуляции Каспийского моря близка к среднеклиматической (рис. 17а).

Спутниковая альтиметрия дает уникальные возможности для исследования океанологических полей в широком диапазоне пространственно-временных масштабов, не только дает возможность получать непрерывную информацию о поле синоптической ДТ, но и открывает перспективы оценки полей **скоростей течений на поверхности**. Из уравнений геострофического баланса, когда горизонтальный градиент давления компенсируется силой Кориолиса [67–68], по градиентам

динамической топографии h_{dyn} определяют скорости течений: $U_g = -\frac{g}{f} \frac{\partial h_{dyn}}{\partial y}$ и

$V_g = \frac{g}{f} \frac{\partial h_{dyn}}{\partial x}$ где U_g и V_g – составляющие скорости течения на поверхности по осям $0x$, $0y$ в декартовой системы координат; $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; $f = 2\Omega \sin \varphi$ – параметр Кориолиса, определяемый через угловую скорость вращения Земли вокруг оси $\Omega = 7,2921 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ и широту места φ .

Анализ среднемесячных геострофических скоростей течений на поверхности показывает, что наиболее максимальные среднемесячные скорости ($7,5 \pm 0,5 \text{ см/с}$) наблюдаются в Северном Каспии, а минимальные ($4,6 \pm 0,1 \text{ см/с}$) в Южном Каспии. В Среднем Каспии и в море в целом среднемесячные скорости почти совпадают.

Сезонный ход скоростей течений в Северном и Среднем Каспии находятся в противофазе. Когда в апреле в северной части моря наблюдается максимум $8,1 \text{ см/с}$, в средней части – минимум $4,3 \text{ см/с}$. В июле ситуация изменяется на противоположную. В Среднем Каспии наблюдается максимум $4,8 \text{ см/с}$, в Северном – минимум $6,9 \text{ см/с}$. Следующий максимум скоростей течений в северной части моря $8,2 \text{ см/с}$ наблюдается в ноябре, а минимум в средней части $4,5 \text{ см/с}$ – в сентябре.

Межгодовая изменчивость среднемесячных скоростей геострофических на поверхности показывает, что скорости течений в различных частях Каспия и моря в целом не имеют ярко выраженный сезонный характер, также наблюдаются значительные межгодовые различия (рис. 21). Так в Северном Каспии в 1994, 2000, 2002, 2004, 2007 и 2008 гг. наблюдаются максимальные значения среднемесячных скоростей течений (более 15 см/с) относительно среднеклиматической величины ($12,9 \pm 1,9 \text{ см/с}$). В Среднем Каспии только в 1998 г. наблюдался аномальный максимум величины среднемесячных скоростей течений (более 12 см/с), а в Южном Каспии – в 1997 г. (более 11 см/с) и в 2004 г. (более 15 см/с).

Среднеклиматические величины среднемесячных скоростей течений для этих частей моря составили

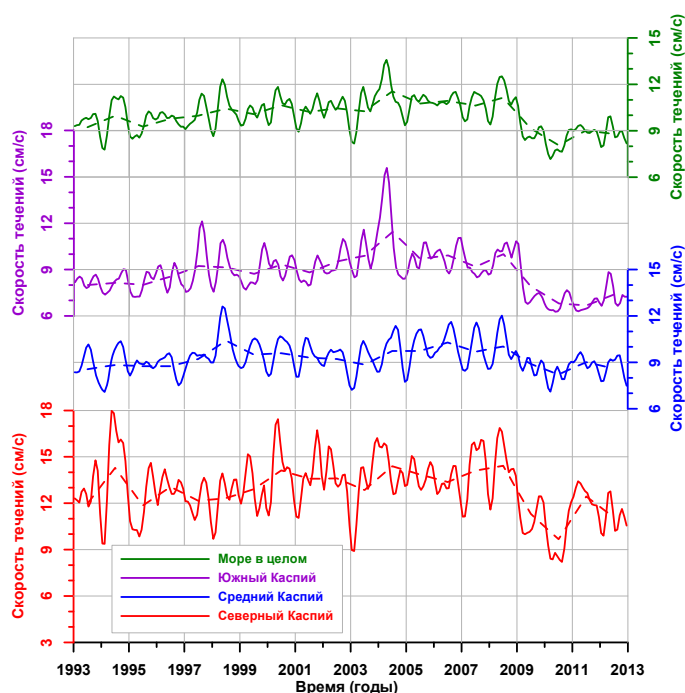


Рис. 21 Межгодовая изменчивость среднемесячных геострофических скоростей течений (м/с) в различных частях Каспия и моря в целом по данным альтиметрических измерений спутника Т/Р и J1/2 за сентябрь 1992 г. – декабрь 2012 г.

Штриховыми линиями показаны среднегодовые величины.

соответственно $9,3 \pm 1,1$ см/с и $8,8 \pm 1,5$ см/с, что близко к величинам для всего моря в целом $10,1 \pm 1,2$ см/с. На рисунке 21 хорошо видно, что в 1997 и 1998 гг., а также в 2003 г. временной ход среднемесячных скоростей во всех частях моря наиболее синхронен, что говорит об особенном режиме циркуляции моря в эти временные интервалы. После 2009 г. произошло резкое падение среднемесячных скоростей во всех частях моря в пределах от 1–2 см/с, что, судя по всему связано, с изменениями режима циркуляции воздуха в данном регионе.

Другой характеристикой поля скоростей является завихренность, количественной мерой которой служит ротор скорости $\zeta = \frac{\partial V_g}{\partial x} - \frac{\partial U_g}{\partial y}$.

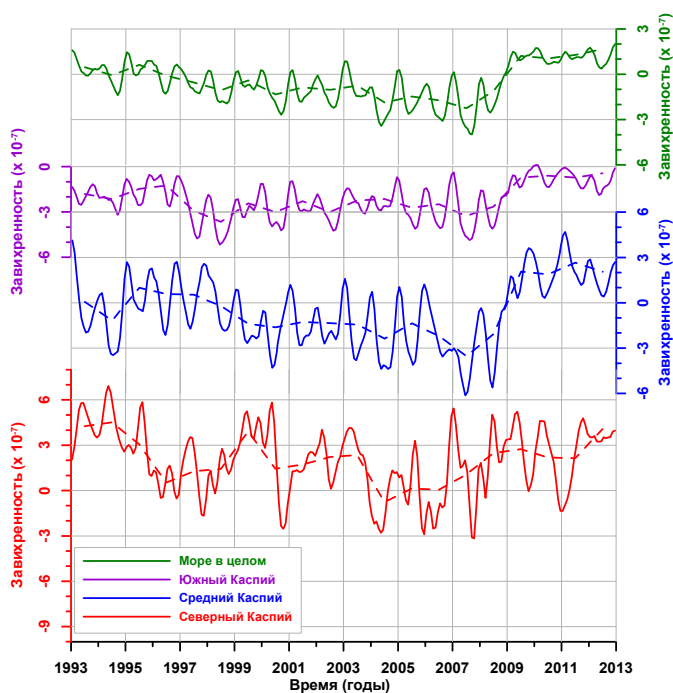
Положительная величина ζ характеризует преобладание циклонической циркуляции, отрицательная – антициклонической.

Анализ сезонной изменчивости поля завихренности показывает, что в Северном и Среднем Каспии, как и в море в целом, преобладает циклоническая циркуляция, тогда как в южной части моря — антициклоническая циркуляция. Сезонная изменчивость вихревых режимов Северного и Среднего Каспия находятся в противофазе. Максимальная циклоническая завихренность в северной части моря наблюдается летом в июле, соответствует минимуму завихренности в средней части моря. В Южном Каспии преобладает антициклоническая завихренность на протяжении всего года. Минимум ее наступает летом, а максимум — зимой.

Анализ межгодовой изменчивости завихренности поля геострофических скоростей показывает, что в различных частях Каспия и моря в целом она не имеют ярко выраженный сезонный характер, при этом наблюдаются и значительные межгодовые различия (рис. 22). Между Северным и Средним Каспием так же, как и в сезонном ходе, наблюдается противофаза в изменении завихренности.

В Северном Каспии в 1993–1995, 1999–2000, 2002–2003, 2007–2010 и 2012 гг.

Рис. 22 Межгодовая изменчивость среднемесячной завихренности геострофических скоростей течений в различных частях Каспия и моря в целом по данным альтиметрических измерений спутника Т/Р и J1/2 за сентябрь 1992 г. – декабрь 2012 г.



Штриховыми линиями показаны среднегодовые величины.

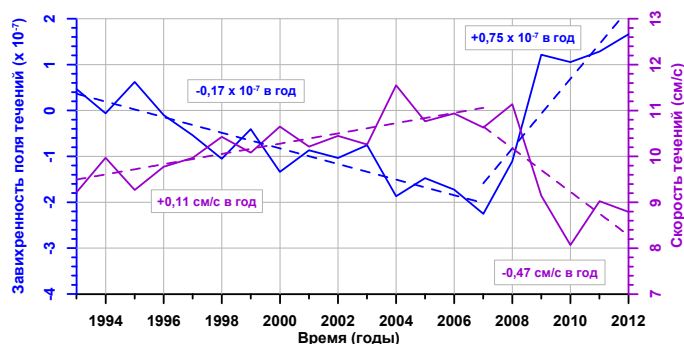


Рис. 23 Межгодовая изменчивость среднегодовых величин завихренности (синяя линия) и модуля (сиреневая линия) геострофических скоростей течений по данным альтиметрических измерений спутника Т/Р и J1/2 с 1993 по 2012 гг.

наблюдаются максимальные значения завихренности (более $4 \cdot 10^{-7}$) относительно среднеклиматической величиной ($2,02 \cdot 10^{-7}$). В Среднем Каспии в 1993 и 2009–2011 гг. наблюдались аномальные максимумы величины завихренности поля геострофических скоростей (более $3 \cdot 10^{-7}$). Среднеклиматическая величина завихренности для этой части моря составила $-0,61 \cdot 10^{-7}$. В Южном Каспии подобных локальных максимумов за период 1993–2012 гг. не наблюдалось. Среднеклиматические величины завихренности полей скоростей течений для этой части моря составила $-2,20 \cdot 10^{-7}$, что говорит о преобладании антициклонической циркуляции. Для всего моря в целом величина завихренности составляет $0,51 \cdot 10^{-7}$. На рисунке 22 хорошо видно, что после 2008 г величина завихренности почти во всех частях моря за исключение северной части увеличилась в пределах от $1,5-3 \cdot 10^{-7}$. Согласно анализу временного хода среднемесячных скоростей течений (рис. 21), в это время наблюдалось падение во всех частях моря. Это еще раз подтверждает изменения режима циркуляции воздуха в данном регионе.

Совместный анализ изменчивости среднегодовых величины скоростей течений и завихренности поля течений, рассчитанных по данным альтиметрических измерений (рис. 23) показывает, что средние скорости течений обратно зависимы от завихренности поля скоростей течений. Начиная с 1993 по 2007 гг. завихренность поля течений падала со скоростью $-0,17 \pm 0,02 \cdot 10^{-7}$ в год, а модуль скорости рос — $+0,11 \pm 0,06$ см/с в год. После 2008 г. ситуация перевернулась на противоположную. Завихренность поля течений росла со скоростью $+0,75 \pm 0,12 \cdot 10^{-7}$ в год, а модуль скорости падал — $-0,47 \pm 0,19$ см/с в год.

Таким образом спутниковая альтиметрия в отличие от других средств ДЗЗ позволяет с достаточной точностью на регулярной основе проводить численный анализ изменчивости динамики Каспийского моря. В будущем ассимиляция данных об аномалиях уровня и ТПМ в численных термогидродинамических моделях позволят улучшить точность последних.

Заключение

Современные методы численного математического моделирования и данные дистанционного зондирования Земли из космоса позволяют с достаточной точностью анализировать крупномасштабную, мезомасштабную и мелкомасштабную циркуляции вод в Каспийском море. Развитие их, и в

частности методов ассимиляции данных дистанционного зондирования, позволят как повысить точность численных термогидродинамических моделей, так и описывать весь спектр циркуляции вод в Каспийском море.

Область применения полученных результатов позволит улучшить проектирование, строительство, эксплуатацию гидротехнических объектов в прибрежно-шельфовых зонах моря, прогноз эволюции экосистемы, рыболовство, оценку регионального изменения климата, информационное обеспечение экологической безопасности хозяйственной деятельности на Каспийском море.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского научного фонда (проект № 14-17-00555), в рамках которого разработана алгоритма обработки данных спутниковой альтиметрии для исследования динамики Каспийского моря.

Авторы выражают благодарность Соловьеву Д.М. сотруднику Морского гидрофизического института за часть предоставленных материалов.

Литература

1. Kosarev A.N. Physico-Geographical Conditions of the Caspian Sea // *The Caspian Sea Environment* / Eds. A.G. Kostianoy, A.N. Kosarev. – Hdb. Env. Chem. V. 5. Part P. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2005. – P. 59–81. doi: 10.1007/698_5_002.
2. Зонн И.С., Жильцов С.С. Новый Каспий: география, экономика, политика. – М.: АСТ Восток-Запад, 2008. – 542 с.
3. Лебедев С.А. Спутниковая альтиметрия в науках о Земле // *Современные проблемы ди-станционного зондирования Земли из космоса*. – 2013. – Т. 10, – № 3. – С. 33–49.
4. Лебедев С.А., Костяной А.Г. Спутниковая альтиметрия Каспийского моря. – М.: Изд. центр «МОРЕ» Международного института океана. 2005. – 366 с.
5. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Проект «Моря». Т. VI. Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / Ред. Ф.С. Терзиев, А.Н. Косарев, А.А. Керимов. – СПб: Гидрометеиздат, 1992. – 359 с.
6. Скриптунов Н.А. Сезонные изменения течений на устьевом взморье Волги (по данным плавмаяка Астраханский приемный) // *Тр. ГОИН*. – 1970. – Вып. 98. – С. 195–202.
7. Скриптунов Н.А. Течения в западной части Северного Каспия // *Тр. ГОИН*. – 1974. – Вып. 118. – С. 83–101.
8. Скриптунов Н.А. Схемы течений Северного Каспия // *Тр. ГОИН*. – 1984. – Вып. 172. – С. 32–47.
9. Шкудова Г.Я. Расчет стационарных течений Северного Каспия // *Тр. ГОИН*. – 1979. – Вып. 115. – С. 26–40.
10. Каспийское море. Гидрология и гидрохимия / Под ред. С.С. Байдина, А.Н. Косарева. – М.: Наука, 1986. – 261 с.
11. Каспийское море. Структура и динамика вод / Под ред. А.Н. Косарева. – М.: Наука, 1990. – 164 с.
12. Книпович Н.М. Гидрологические исследования в Каспийском море в 1914–1915 гг. // *Труды Касп. эксп. 1914–1915 гг. Т.1.* – Петербург. 1921. – 943 с.
13. Михалевский А.И. Схема течений Каспийского моря // *Записки по гидрографии*. – 1931. – Т. 16. – С. 46–54.
14. Зайцев Г.Н. Динамическая карта южной части Каспийского моря // *Записки по гидрографии*. – 1935. – № 3. – С. 82–83.
15. Течения Каспийского моря (руководство для мореплавателей). – Баку, 1942. – 73 с.

16. Леонов А.К. Каспийское море // Региональная океанография. Т. 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – С. 464–622.
17. Косарев А.Н. Гидрология Каспийского и Аральского морей. – М.: Изд-во МГУ. 1975. – 272 с.
18. Цицарев А.Н. Особенности дрейфовых течений на акватории взморья р. Куры // Сб. работ Бакинской ГМО. – 1967. – Вып. 3. – С. 50–57.
19. Кошинский С.Д. Режимные характеристики сильных ветров на морях Советского Союза. Ч. 1. Каспийское море. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 412 с.
20. Саркисян А.С., Зарипов Б.Р., Косарев А.Н., Ржеплинский Д.Г. Диагностические расчеты течений в Каспийском море // Изв. АН СССР. ФАО. – 1976. – Т. 2. – № 10. – С. 1106–1110.
21. Саркисян А.С., Демин Ю.Л., Бреховских А.Л., Шаханова Т.В. Методы и результаты расчета циркуляции вод Мирового океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 152 с.
22. Линейкин П.С., Фельзенбаум А.И. Теория и расчет ветровых течений Северного Каспия // Тр. ГОИН. – 1955. – № 20. – С. 454–471.
23. Бахмалов Ф.Г. Расчет циркуляции вод для некоторых типов штормовых ветров на Северном Каспии // Изв. АН Азерб.ССР. Сер. наук о земле. – 1968. – № 1. – С. 120–125.
24. Гетман И.Ф., Кутало А.А. Расчет полных потоков на границе Северный – Средний Каспий с учетом контуров береговой линии // Тр. Гидрометцентра СССР. – 1972. – Вып. 60. – С. 49–54.
25. Казаков О.В. Краевые условия на жидкой границе при моделировании стационарной циркуляции в Северном Каспии // Тр. Гидрометцентра СССР. – 1976. – Вып. 182. – С. 19–26.
26. Белов В.П., Филиппов Ю.Г. Основные черты циркуляции вод в Северном Каспии // Тр. ГОИН. – 1986. – Вып. 168. – С. 49–53.
27. Ахвердиев И.О., Демин Ю.Л. О структуре синоптических течений Каспийского моря в летний сезон по результатам диагностических расчетов // Каспийское море. Структура и динамика вод. – М.: Наука, 1990. – С. 5–15.
28. Trukhchev D., Kosarev A., Ivanova D., Tuzhilkin V. Numerical analysis of the general circulation in the Caspian Sea // Comptes Rendus de l'Academie Bulgare des Sciences. – 1995. – V. 48. – № 10. – P. 35–38.
29. Тужилкин В.С., Косарев А.Н., Трухчев Д.И., Иванова Д.П. Сезонные особенности общей циркуляции вод глубоководной части Каспийского моря // Метеорология и гидрология. – 1997. – № 1. – С. 91–99.
30. Бадалов А.Б., Ржеплинский Д.Г. Моделирование динамики деятельного слоя Каспийского моря под действием синоптических процессов // Моделирование гидрофизических процессов и полей в замкнутых водоемах и морях. – М.: Наука, 1989. – С. 31–51.
31. Саркисян А.С. Моделирование динамики океана. – СПб.: Гидрометеиздат, 1991. – 295 с.
32. Safronov G.F., Zilberstein O.I. Calculation of the climate dynamics characteristics in the coastal sea zone by the methods of hydrodynamic and probabilistic modelling // J. Marine Systems. – 1996. – V. 7. – № 2–4. – P. 395–410. doi: 10.1016/0924-7963(95)00009-7.
33. Попов С.К. Моделирование климатической термохалинной циркуляции в Каспийском море // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 5. – С. 76–84.
34. Попов С.К., Зильберштейн О.И., Лобов А.Л., Чумаков М.М. Моделирование сезонного хода уровня Каспийского моря с применением параллельных вычислений // Метеорология и гидрология. – 2009. – № 12. – С. 41–53.
35. Ибраев Р.А. Математическое моделирование термогидродинамических процессов в Каспийском море. – М.: ГЕОС, 2008. – 128 с.

36. Кныш В.В., Ибраев Р.А., Коротаев Г.К., Инютина Н.В. Сезонная изменчивость климатических течений Каспийского моря, восстановленная ассимиляцией климатической температуры и солености в модели циркуляции вод // Изв. РАН. ФАО. – 2008. – Т. 44. – № 2. – С. 251–265.
37. Ибраев Р.А., Саркисян А.С., Трухчев Д.И. Сезонная изменчивость циркуляции вод Каспийского моря, реконструированная по среднемноголетним гидрологическим данным // Изв. РАН. ФАО. – 2001. – Т. 37. – № 1. – С. 103–111.
38. Зильберштейн О.И., Попов С.К., Чумаков М.М., Сафронов Г.Ф. Метод расчета характеристик уровня моря в Северном Каспии // Водные ресурсы. – 2001. – Т. 28. – № 6. – С. 692–700.
39. Вербицкая О.А., Зильберштейн О.И., Попов С.К., Лобов А.Л. Метод краткосрочного гидродинамического прогноза штормовых нагонов в северной части Каспийского моря и результаты его испытаний // Гидрометцентр РФ. Информационный сборник. – 2002. – № 29. – С. 76–89.
40. Вербицкая О.А., Зильберштейн О.И., Попов С.К., Лобов А.Л. О результатах оперативных испытаний технологии краткосрочного прогноза уровня моря и течений в Каспийском море // Гидрометцентр РФ. Информационный сборник. – 2005. – № 31. – С. 70–84.
41. Ривин Г.С., Розинкина И.А., Багров А.Н., Блинов Д.В. Мезомасштабная модель COSMO–RU07 и результаты ее оперативных испытаний // Гидрометцентр РФ. Информационный сборник. – 2012. – № 39. – С. 15–42.
42. Комплексные гидрометеорологические атласы Каспийского и Аральского морей / Ред. В.С. Самойленко, А.И. Сачкова. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 179 с.
43. Ариель Н.З., Мурашова А.В. Расчет уточненных номограмм для определения коэффициентов сопротивления, тепло- и влагообмена над морем // Тр. ГГО. – 1981. – Вып. 454. – С. 9–23.
44. Ибраев Р.А., Трухчев Д.Т. Диагноз климатической сезонной циркуляции Черного моря // Изв. АН. ФАО. – 1996. – Т. 32. – № 5. – С. 655–675.
45. Кныш В.В., Демьшев С.Г., Коротаев Г.К. Методика реконструкции климатической сезонной циркуляции Черного моря на основе ассимиляции гидрологических данных в модели // Морской гидрофизический журн. – 2002. – № 2. – С. 36–52.
46. Демьшев С.Г., Кныш В.В. Реконструкция адаптированной вертикальной скорости Черного моря на базе синтеза модели циркуляции и климатических данных по температуре и солености // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2004. Вып. 11. – С. 93–104.
47. Демьшев С.Г., Кныш В.В., Коротаев Г.К. Результаты расчета адаптированных полей Черного моря на основе ассимиляции в модели данных по климатической температуре и солености // Изв. РАН. ФАО. – 2006. – Т. 42. – № 4. – С. 604–617.
48. Архипкин В.С., Бондаренко А.Л., Ведев Д.Л., Косарев А.Н. Особенности циркуляции вод у восточного берега Среднего Каспия // Водные ресурсы. 1992. № 6. С. 36–43.
49. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. – М.: ИКИ РАН, 2011. – 480 с.
50. Архипкин В.С. Особенности структуры и динамики прибрежного апвеллинга в Каспийском море // Каспийское море. Структура и динамика вод. М.: Наука, 1990. С. 61–74.
51. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Соловьев Д.М., Шеремет Н.А. Структура апвеллинга у западного побережья Среднего Каспия (по спутниковым наблюдениям) // Исслед. Земли из космоса. 2005. № 4. С. 76–85.

52. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Соловьев Д.М., Шеремет Н.А. Фронтальная зона апвеллинга у восточного побережья Каспийского моря (спутниковые наблюдения) // Исслед. Земли из космоса. 2006. № 4. С. 3–12.
53. Косарев А.Н., Тужилкин В.С. Климатические термохалинные поля Каспийского моря / Под ред. С.Н. Дружинина, Ф.С. Терзиева. – М.: ГОИН, 1995. – 96 с.
54. Shipilova L.M. Eddy formation in the Caspian Sea // *Dynamic Earth Environments/ Remote Sensing Observations from Shuttle-Mir Missions* / Eds. K.P. Lulla, L.V. Dessinov. – John Wiley&Sons, Inc. 2000. – P. 211–219.
55. Катунин Д.Н., Сапожников В.В. Комплексные исследования экосистемы Южного Каспия // *Океанология*. 1997. Т 37. № 1. С. 103–111.
56. Лебедев С.А. Спутниковая альтиметрия в науках о Земле // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2013. – Т. 10, – № 3. – С. 33–49.
57. *Costal altimetry* / Eds S. Vignudelli, A. Kostianoy, P. Cipollini, J. Benveniste. – Berlin, Heidelberg: Springer–Verlag, 2011. – 565 p. doi: 10.1007/978-3-642-12796-0.
58. Сирота А.М., Лебедев С.А., Тимохин Е.Н., Чернышков П.П. Использование спутниковой альтиметрии для диагноза промыслово-океанологических условий в Атлантическом и юговосточной части Тихого океанов. – Калининград. АтлантНИРО. 2004. – 68 с.
59. Tapley B.D., Kim M.C. *Applications to Geodesy // Satellite Altimetry and Earth Sciences. A Handbook of Techniques and Applications* / Eds. L.L. Fu, A. Cazenave. – San Diego: Academic Press, 2001. – P. 371–406.
60. Benada J.R. *PODAAC Merged GDR (TOPEX/Poseidon) Generation B User's Handbook*. – JPL D–11007. Version 2.0. – Pasadena: JPL, 1997. – 131 p.
61. Picot N., Case K., Desai S., Vincent P. *AVISO and PODAAC User Handbook. IGDR and GDR Jason Products*. – SMM-MU-M5-OP-13184-CN (AVISO). JPL D–21352 (PODAAC). Edition 4.1. – AVISO, PODAAC, 2008. – 130 p.
62. Dumont J.P., Rosmorduc V., Picot N., Desai S., Bonekamp H., Figa J., Lillibridge J., Scharroo R. *OSTM/Jason–2 Products Handbook*. – CNES: SALP-MU-M-OP-15815-CN. – EUMETSAT: EUM/OPS-JAS/MAN/08/0041. – JPL: OSTM-29-1237. – NOAA/NESDIS: Polar Series/OSTM J400. – Issue 1. Rev. 8. – CNES, EUMETSAT, JPL, 2011. – 72 p.
63. Костяной А.Г., Гинзбург А.И., Лебедев С.А., Шеремет Н.А. Южные моря России // *Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации*. М.: Росгидромет, 2014. С. 644–683.
64. Lebedev S.A. Mean Sea Surface Model of the Caspian Sea Based on TOPEX/Poseidon and Jason–1 Satellite Altimetry Data // *Geodesy for Planet Earth* / Eds. S. Kenyon et al. – IAG Geodesy Symposia. V. 136. – Berlin, Heidelberg: Springer–Verlag, 2012. – P. 833–841. doi: 10.1007/978-3-642-20338-1_105.
65. Лебедев С.А. Модель средней высоты морской поверхности Каспийского моря // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2012. – Т. 9. – № 3. – С. 224–234.
66. Kopelevich O.V., Burenkov V.I., Sheberstov S.V. *Case Studies of Optical Remote Sensing in the Barents Sea, Black Sea, and Caspian Sea // Remote Sensing of the European Seas* / Eds. V. Barale, M. Gade. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer–Verlag, 2008. – P. 53–66. doi: 10.1007/978-1-4020-6772-3_4.
67. Педлоски Дж. *Геофизическая гидродинамика*. – М.: Мир. 1984. – В 2-х томах. 811 с.
68. Гилл А. *Динамика атмосферы и океана*. – М.: Мир, 1986. – Т. 1. – 396 с., Т. 2. – 415 с.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕЯ

Н.П. Очерет, В.С. Гусарова

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Адыгейский государственный университет»
г. Майкоп, Россия*

E-mail: pr-ocheret@mail.ru

Вода является ценнейшим природным ресурсом. Она играет исключительную роль в процессах обмена веществ, составляющих основу жизни. Огромное значение вода имеет в промышленности и сельскохозяйственном производстве; общеизвестна необходимость ее для бытовых потребностей человека, всех растений и животных. Для многих живых существ она служит средой обитания.

Рост городов, бурное развитие промышленности, интенсификация сельского хозяйства, значительное расширение площадей орошаемых земель, улучшение культурно-бытовых условий и ряд других факторов все больше усложняет проблемы обеспечения водой. Потребности в воде огромны и ежегодно возрастают. Ежегодный расход воды на земном шаре по всем видам водоснабжения составляет 3300-3500 км³. При этом 70% всего водопотребления используется в сельском хозяйстве. Много воды потребляют химическая и целлюлозно-бумажная промышленность, черная и цветная металлургия. Развитие энергетики также приводит к резкому увеличению потребности в воде. Значительное кол-во воды расходуется для потребностей отрасли животноводства, а также на бытовые потребности населения. Большая часть воды после ее использования для хозяйственно-бытовых нужд возвращается в реки в виде сточных вод. Дефицит чистой пресной воды уже сейчас становится мировой проблемой. Все более возрастающие потребности промышленности и сельского хозяйства в воде заставляют все страны, ученых всего мира искать разнообразные средства для решения этой проблемы.

На современном этапе определяются следующие направления рационального использования водных ресурсов: более полное использование и расширенное воспроизводство ресурсов пресных вод, разработка новых технологических процессов, позволяющих предотвратить загрязнение водоемов и свести к минимуму потребление свежей воды. [1-2]

На сегодняшний день актуален вопрос качества природных вод, поскольку их загрязнение приводит к дефициту воды даже в регионах, в достаточной мере обеспеченных природными ресурсами. Несмотря на ухудшающееся состояние многих водоемов, они активно используются жителями для рыбной ловли, отдыха, купания.

Республика Адыгея – регион с уникальным географическим положением, особыми природными условиями, с богатейшим запасом и разнообразием природных ресурсов, однако повсеместное интенсивное использование их приводит к ухудшению экологической обстановки.

В настоящее время увеличение объемов поступления загрязняющих веществ в водоемы республики идет с нарастающей тенденцией. В большей степени антропогенное влияние испытывают малые реки. Выявление источников антропогенного загрязнения, их нормирование и приведение к общим показателям весьма актуально.

Загрязнение воды – процесс изменения физико-химического и биологического состава природных вод в результате поступления в них загрязняющих веществ и возникновения в них обычно нехарактерных для водных объектов физических, химических или биологических показателей, приводящих к ухудшению качества воды для водопотребления, обусловленной хозяйственной деятельностью человека. Поэтому наибольшее значение приобретают вопросы качества воды, идущих на хозяйственно-бытовые нужды. [3-4]

В рамках гидрохимического мониторинга был изучен ряд физико-химических показателей качества природных вод р. Келермес Республики Адыгея (табл.1)

Таблица 1.

Результаты определения физико-химических показателей воды р. Келермес

№ п/п	Исследуемая вода	O ₂ ⁻ мг/л	NO ₂ ⁻ мг/л	NO ₃ ⁻ мг/л	NH ₄ ⁺ мг/дм ³	Cl ⁻ мг/л	Ж.вр мг-экв/л	Ж.общ мг-экв/л
1	Речная вода(река Келермес)	10,5	0,0001	-	0,3	22	4,95	9,3

Важнейшим показателем качества воды является ее активная реакция (рН). Для определения рН воды использовали электрометрический (потенциометрический) метод, который отличается большой точностью (до 0,02) и позволяет проводить исследование практически в любой воде независимо от ее окраски, мутности, солевого состава (рис.1).

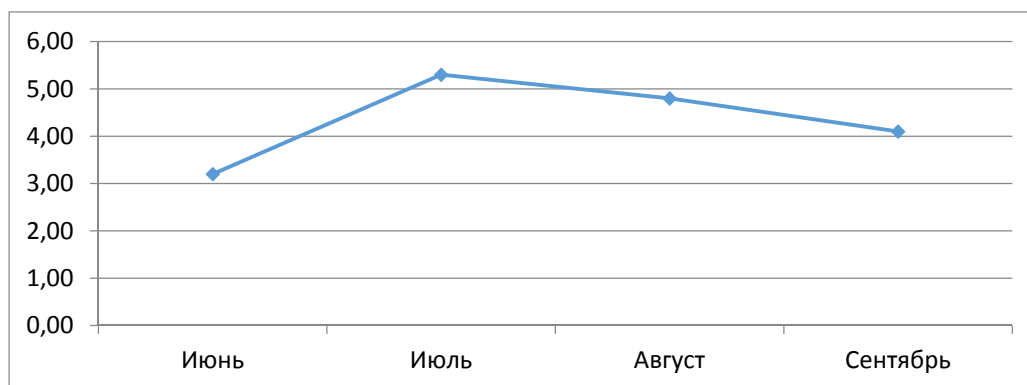


Рис.1. Активная реакция (рН)

Активная реакция воды реки Келермес (рН) находится в пределах нормы, небольшое повышение кислотности наблюдается в июне, что объясняется накоплением в воде гуминовых кислот, образующихся в результате эвтрофирования. В большинстве природных вод рН находится в пределах от 6,5 до 8,5 и зависит от соотношения концентраций свободного диоксида углерода и бикарбонат-иона. Более низкие значения рН могут наблюдаться в кислых и болотных водах. Летом при интенсивном фотосинтезе рН может повышаться до 9,0. На величину рН влияет содержание карбонатов, гидроокисей, солей, подверженных гидролизу гуминовых веществ и т. п. В результате происходящих в воде химических и биологических процессов и потерь углекислоты рН воды может быстро изменяться, поэтому этот показатель определяли сразу же после отбора воды.

Прозрачность. На прозрачность влияют взвешенные в воде различные вещества (в том числе и фитопланктон), температура и цвет воды. Как правило, прозрачность воды уменьшается после дождей и в периоды паводков. Чем ближе цвет приближается к голубому, тем прозрачнее вода, к желтому - прозрачность снижается, что наблюдается в летний период в водоёмах с гумусовыми водами. Степень прозрачности выражается высотой столба жидкости в см, через который отчетливо виден специальный шрифт. Прозрачностью не менее 30 см должны обладать воды, подаваемые для питьевого водоснабжения без осветления. Речные воды кроме горных могут иметь прозрачность 25 см. Изменение прозрачности природных вод свидетельствует об их загрязненности. Прозрачность исследуемой воды реки Келермес составляет 17 см, т.е. обладает умеренной загрязненностью.

Главный показатель качества воды – это наличие в ней растворенного кислорода, для определения которого использовали метод Винклера. [5]

В летнее время содержание кислорода составило 11,52 мг/л, что объясняется малой глубиной водоёма, и интенсивным процессом эвтрофирования связанным с наличием в воде биогенных элементов. В сентябре, в период когда на реке было много сине-зеленых водорослей, содержание кислорода было несколько ниже 9,82 мг/л.

Кислород является важным компонентом для жизни живых организмов. Его концентрация зависит от интенсивности газообмена между водой и атмосферой, а так же от интенсивности процессов разложения органического вещества. Накапливающиеся в водоёме вещества являются токсическими и даже патогенными для животных и людей. При этом вода приобретает неприятный запах и становится непригодной для питья, купания и других целей.

Содержание в воде азота : нитрат (NO_2^-), нитрит-ионов (NO_3^-) и ионов аммония (NH_4^+) не превышает предельно допустимой концентрации. Концентрация нитритов оказалась равна 0,001 мг/л, нитраты отсутствовали, а концентрация ионов аммония составила 0,3 мг/дм³, наличие хлорид-ионов (Cl^-) в исследуемой воде (22 мг/л), что соответствует норме.

По степени жесткости исследуемую воду реки Келермес в осенний и весенний периоды можно отнести к жесткой, что свидетельствует о высоком содержании солей кальция и магния в воде.

Оценка качества воды по организмам макрозообентоса.

Среди всех экологических групп, развивающихся в водоемах и реках особое место принадлежит сообществу микроскопических водных растений, находящихся в толще воды - фитопланктона. Являясь продуцентами органического вещества, водоросли выделяют кислород при фотосинтезе, а при избыточном своем развитии вызывают "цветение" воды и ухудшение ее качества. «Цветением» воды называют массовое развитие одного или нескольких видов водорослей, обитающих в толще воды или на дне водоёмов. «Цветение» могут вызывать представители разных видов водорослей. В пресноводных экосистемах чаще других «цветение» вызывают сине-зеленые цианопрокариоты (*Cyanobacteria*), золотистые (*Chrysophyta*), желто-зеленые (*Xanthophyceae*, или *Xanthophyta*), диатомовые (*Diatomeae*), криптофитовые (*Cryptophyceae*) и зелёные (*Chlorophyta*) водоросли. В умеренных масштабах «цветение» повышает биологическую продуктивность водоёмов, что связано с поступлением в водную среду продуктов жизнедеятельности водорослей: белков, свободных аминокислот, углеводов, витаминов, макро- и микроэлементов, стимулирующих развитие гидробионтов. «Гиперцветения» ухудшают качество воды, снижают биологическую продуктивность и представляют серьёзную угрозу для жизни и здоровья людей, вызывают болезни и массовую гибель рыб, бентосных, планктонных и нейстонных беспозвоночных, а также водоплавающих птиц и млекопитающих, создают проблемы на водозаборных станциях, водохранилищах, рекреационных водоёмах. Одними из основных и опасных возбудителей «цветения» воды являются цианопрокариоты, сине-зеленые водоросли, цианобактерии. Это связано со способностью данной группы прокариотных организмов продуцировать токсины, опасные для человека и животных. Многие виды водорослей являются биологическими индикаторами, например, показателями содержания органических веществ в воде (сапробности). «Цветение» воды сопровождается массовым развитием запаха. Привкусы и запахи могут появиться от развития в воде некоторых водорослей, а также за счёт разложения органического вещества. Источником запаха так же могут быть сточные воды. Запах является объективной характеристикой восстановительной способности воды водоёма. Запах сероводорода говорит о наличии восстановительных процессов. Запах аммиака может характеризовать степень антропогенного загрязнения водоёма. Вода с выраженным запахом является благоприятной средой для роста и развития специфических групп бактерий, но не пригодна для жизни большинства других микроорганизмов.

Запах исследуемой воды определяли при 20⁰ С и при 60⁰ С. В исследуемых пробах был обнаружен слабый илистый запах, по которому можно судить о некоторой степени эвтрофирования.

Оценка качества воды по организмам макрозообентоса — это эффективный способ, который основывается на определении количества

групп организмов, населяющих водоем. Этот метод разработанный Ф.Вудивиссом пригоден для изучения малых водоемов и рек.

В исследуемой воде и иле были обнаружены следующие макрозообентосы: личинки поденок (Mayfly), так же на растениях были ручейники (Trichoptera), личинки стрекозы (Odonata), разные жуки. Общее количество найденных групп оказалось свыше 7. По биотическому индексу Вудивисса установили, что исследуемая вода относительно чистая и пригодна для существования макрозообентоса.

Таким образом, результаты биоиндикационных исследований воды согласуются с физико-химическими показателями и позволяют считать, что вода реки Келермес является умеренно загрязненной, ее можно использовать с целью рыболовства, для орошения земель и на хозяйственно-бытовые нужды.

Литература

1. Влияние экологических факторов среды обитания на здоровье населения: в 2 ч. Ч. 2 // О состоянии окружающей природной среды Республики Адыгея в 2002 г.: гос. доклад / МПР России по Республике Адыгея. – Майкоп: Качество, 2003.
2. Кантор, Т.Я. экологический мониторинг: учеб. пособие / Т.Я. Кантор, А.Н. Васильева, В.М. Кондакова. – 3-е изд., исп. доп. – М.: Академический проект, 2006. – 416 с.
3. Качество природной среды и состояние природных ресурсов: в 2 ч. Ч. 2 // О состоянии окружающей природной среды Республики Адыгея в 2002 г.: гос. доклад / МПР России по Республике Адыгея. – Майкоп: Качество, 2003.
4. Биологические методы определения качества воды: метод. разработки отдела биологии СПОГДТЮ. – СПб., 2002.
5. Федорова, А.И. Практикум по экологии и охране окружающей среды: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / А.И. Федорова, А.Н. Никольская. – М.: ВЛАДОС, 2003. – 288 с.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Ю.Ю. Рафикова, С.В. Киселева

*МГУ им. М.В. Ломоносова
г. Москва, Россия*

E-mail: ju.rafikova@gmail.com

Одним из актуальных научных вопросов на сегодняшний день в области наук о Земле является оценка воздействия объектов на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ) на окружающую среду и учет этого воздействия при долгосрочном планировании развития возобновляемой энергетики в регионах.

При проектирование объектов на ВИЭ, как и при проектировании других объектов энергетик, важным является учет экологических аспектов и

природных условий территории. К таким условиям можно отнести закрытость склонов, современную систему землепользования, природоохранную, историческую, эстетическую, туристическую и рекреационную ценности территории и др. Важен учет инженерно-геологических и инженерно-геоморфологических условий строительства, а именно – инженерно-геологические свойства пород, развитие и распространение карста, наличие оползневых и селевых процессов, абразии, анализ микросейсмологических условий.

Столь широкий перечень критериев целесообразно анализировать при помощи геоинформационных технологий. Неотъемлемой частью проектов ВЭ на региональном и локальном уровне является составление серий карт для определения территорий, на которых природные, экологические и другие аспекты наименее ограничивают дальнейшие проектные изыскания и возведение и эксплуатацию установок на ВИЭ.

В нашей работе на примере «пилотного» региона (Волгоградской области) были рассмотрены критерии, *ограничивающие* строительство объектов ветровой и солнечной энергетики.

По существующим на сегодняшний день в России государственным стандартам в области нетрадиционной энергетики [1], проектирование ветроустановок ограничивается только миграционными путями перелетных птиц (и необходимостью установки акустических маячков на мачтах для отпугивания птиц), уровнем звука на расстоянии 50 м от ветроагрегата на высоте 1,5 м от уровня земли (не более 60 дБА), уровнем звука в жилых и общественных помещениях, находящихся вблизи ветроустановок (уровень звука должен быть не выше 60 дБА, уровень инфразвука не выше 100 дБА), электромагнитной совместимостью оборудования на ВЭУ.

Для установок, работающих на солнечной энергии, также актуальна проблема отсутствие нормативов, регламентирующих их производство, эксплуатацию и утилизацию. Проведенный авторами анализ показал, что в РФ на сегодняшний день отсутствуют ГОСТы, которые могли бы стать источником информации о факторах, ограничивающих размещение объектов солнечной энергетики. По оценкам экспертов [2] нехватка таких стандартов наблюдается и в тех странах, где солнечная энергетика развивается давно и успешно.

Без регламентированной общепринятой основы процесс многокритериального анализа сложно автоматизировать – в любом случае на всех этапах проведения такого анализа необходимы экспертные оценки.

В представленной работе факторы, влияющие на размещение объектов ВИЭ и на развитие возобновляемой энергии в регионе определялись исходя из практики компаний, осуществляющих проекты солнечной и ветровой энергетики на территории России, существующих нормативных документов по строительству инженерных объектов, зарубежного опыта, экспертных мнений. В результате исследования нами были отобраны следующие критерии размещения систем на ВИЭ для территории Юга России (табл. 1).

Таблица 1

Перечень отобранных для Волгоградской области критериев, влияющих на использование ресурсов солнечной и ветровой энергии

Ограничивающие критерии	Критерии, влияющие на развитие возобновляемой энергетики
Особо охраняемые природные территории	Численность населения
Лечебно-оздоровительные местности и курорты	Потребление э/э на душу населения
Территории объектов культурного значения, памятников природы и архитектуры	Динамика энергопотребления
Районы с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями	Существующие объекты электрогенерации
Гидрологические объекты (речная сеть, каналы, озера, болота, водохранилища), водоохраные зоны	Наличие опыта создания объектов на ВИЭ (объекты на ВИЭ, количество, ежегодная выработка э/э)
Ключевые орнитологические районы	Наличие средних и высших учебных заведений для подготовки специалистов-энергетиков (в т.ч. по ВЭ): СУЗы и ВУЗы, количество ежегодно выпускаемых специалистов
Территории объектов министерства обороны	
Территории сельскохозяйственных земель (определенные типы землепользования)	
Территории населенных пунктов	
Линии автодорог, железных дорог	

Не все возможные факторы могут быть представлены на конкретной территории. Тем не менее при оценке каждого региона необходимо рассмотрение максимально полного перечня и всех доступных (с точки зрения доступности информации) из методически определенных факторов.

После составления перечня критериев были определены форма их отображения в картографическом виде, буферная зона объектов (если зона воздействия на объект шире, чем его границы) (табл. 2).

Все учтенные критерии были разделены на 3 группы и для их оценки была использована балльная система:

- **строгое ограничение (3 балла)** – строительство объекта на ВИЭ здесь полностью запрещено

- **среднее ограничение (2 балла)** – строительство теоретически запрещено, но может быть реализовано, если положительное воздействие объекта от объекта будет достаточно высоко.

- **слабое ограничение (1 балл)** – строительство может быть осуществлено после более детальной оценки воздействия объекта на окружающую среду.

Таблица 2.

Структура базы данных критериев, ограничивающих использование ресурсов солнечной и ветровой энергии

ID	Ограничивающие критерии	Форма отображения	Уровень ограничения (в баллах)	Буферная зона, м
1	Природные парки	полигон	2	
2	Природные заказники	полигон	2	
3	Охраняемые ландшафты	полигон	2	
4	Памятники природы	полигон	2	
5	Земли лесного фонда	полигон	2	
6	Районы с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями (склоны)	полигон	3	
7	Нелинейные гидрологические объекты (озера, болота, водохранилища)	полигон	3	
8	Линейные гидрологические объекты (речная сеть, каналы)	линия	3	
9	Ключевые орнитологические районы	полигон	2	150
10	Территории объектов министерства обороны	полигон	2	
11	Пашни, сенокосы	полигон	1	
12	Леса, выгоны и пастбища, пески, сады	полигон	2	
13	Территории населенных пунктов	полигон	1	
14	Линии автодорог	линия	3	40
15	Линии железных дорог	линия	3	40

Серия карт, составленная в ходе сбора и анализа информации, позволила выделить следующее.

На карте земельных ресурсов (рис. 1) были выделены сельскохозяйственные земли с более строгими ограничениями по их

использованию (такие как сады, леса) и те, на которых возможно сооружение объектов солнечной и ветровой энергетики при полном учете воздействия их на окружающую среду (сенокосы, пашни, пастбища).

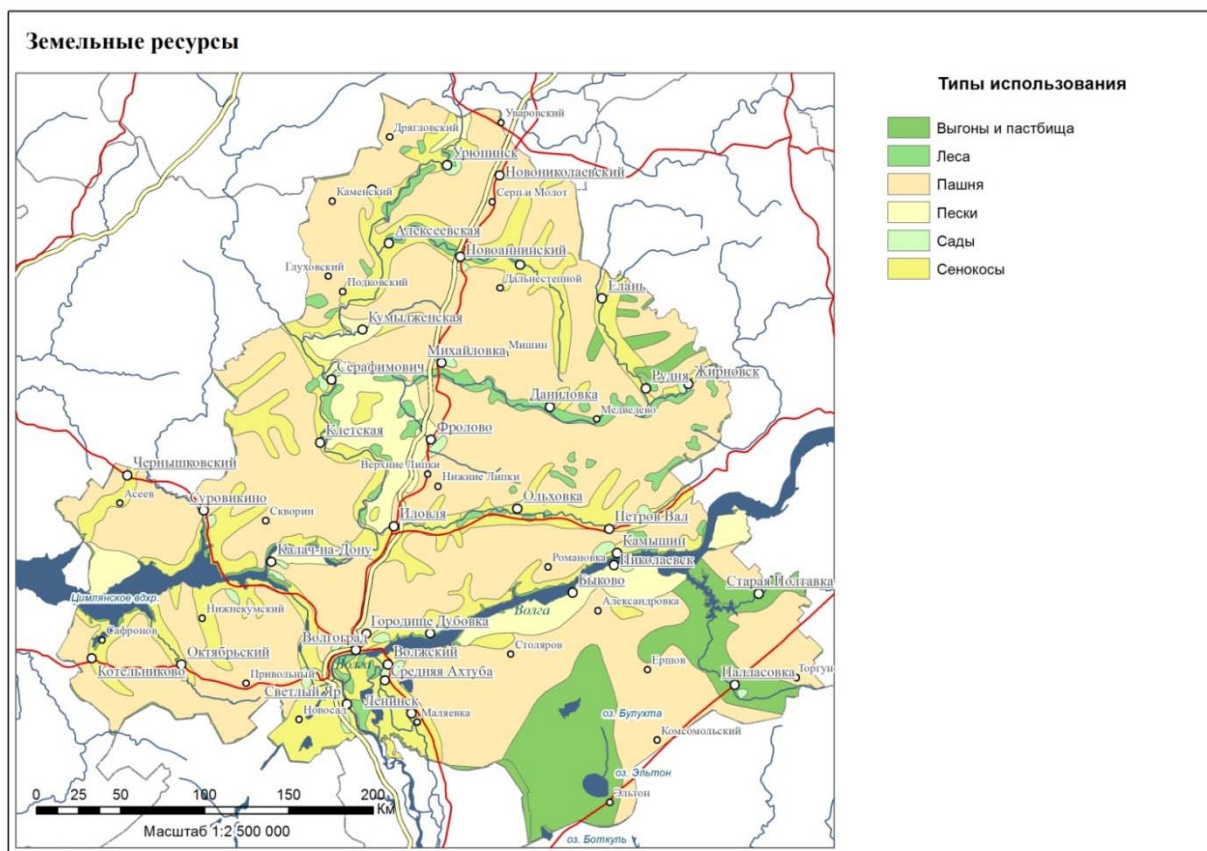


Рис. 1. Карта земельных ресурсов Волгоградской области

Пашня занимает более половины территории Волгоградской области. Вторую по величине часть занимают сенокосы, пастбища, выгоны. Согласно исследованиям по воздействию объектов солнечной и ветровой энергетики на окружающую среду и мировому опыту, сооружения этого типа не только не оказывают негативного воздействия на домашних животных и растений, но в некоторых случаях и наблюдается взаимовыгодный симбиоз.

Леса, распространенные по долинам рек, и сады, расположенные вблизи крупных городов, можно выделить как менее благоприятные для объектов ВЭ территории, т.к. строительство на них сопряжено с вырубкой деревьев, а, следовательно, с существенным воздействием на окружающую среду и возможными экономическими потерями.

Существенной причиной для представления дорожно-транспортной сети в виде отдельной карты (рис. 2) является их двойственность с точки зрения учета факторов, влияющих на размещение объектов ВЭ. Дороги с одной стороны являются территорией с буферной зоной, где сооружение крупномасштабных энергообъектов не возможно. С другой стороны наличие транспортной сети вблизи проектируемого объекта на ВИЭ является одним из основных факторов целесообразности реализации проекта, т.к. сильно снижает объём инвестиций.

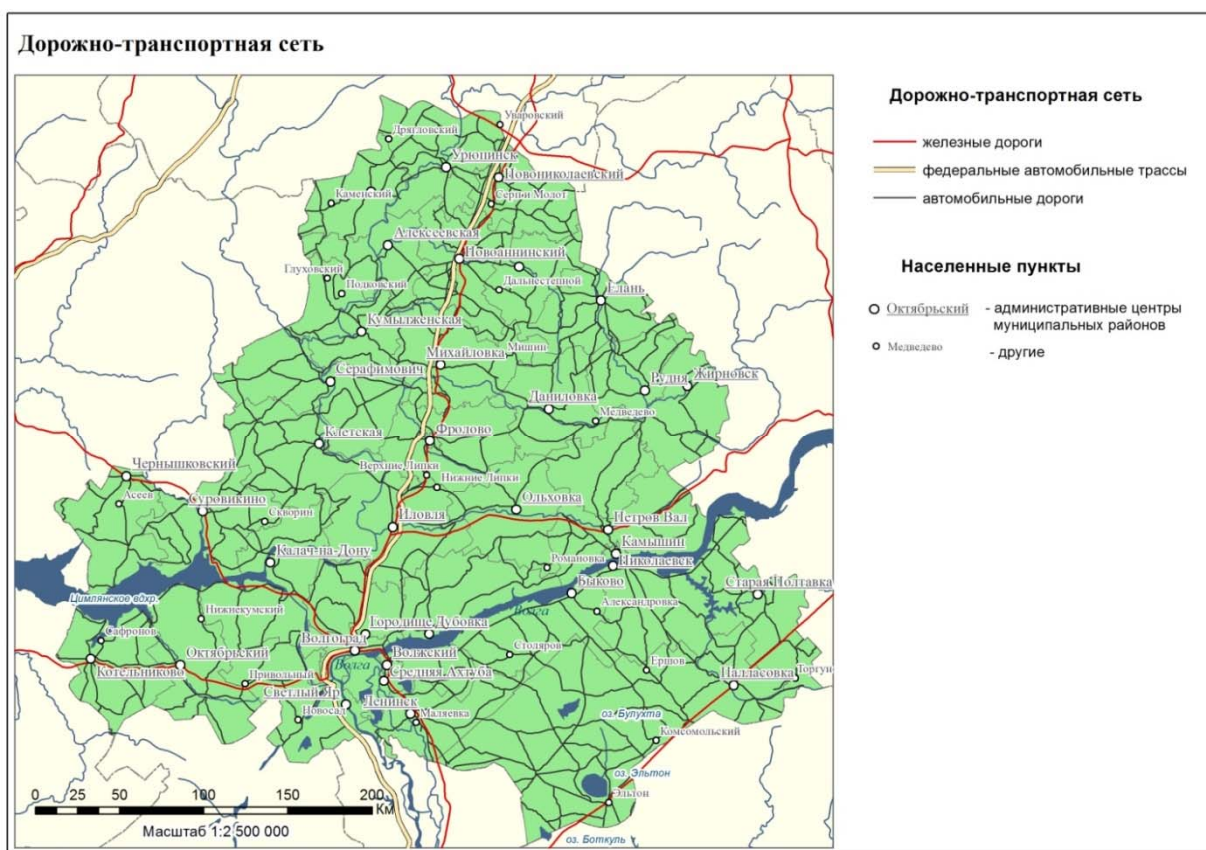


Рис. 2. Карта дорожно-транспортной сети Волгоградской области.

На карте отображены железные дороги, федеральная трасса Москва-Дон и автомобильные дороги местного назначения. Помимо этого показаны пунсонами административные муниципальные центры и некоторые другие города для ориентации по листу карты.

Можно отметить, что Волгоградская область достаточно плотно покрыта дорожной сетью, что благоприятно для поиска площадок и реализации проектов ВЭ.

При составлении карты особо охраняемых территорий (рис. 3) учтены территории федерального и местного значения: природные парки и заказники, территории лесного фонда. Также на карте показаны территории военной безопасности и обороны (в Палласовском и Калачевском районах). Особое внимание обратим на ключевые орнитологические территории, которые включены в рассмотрение в связи с необходимостью учета гибели птиц при проектировании ветропарков. Ключевые орнитологические территории выделяются на основании специальных критериев, разработанных координационным центром программы КОТР в соответствии с требованиями Международной ассоциации охраны птиц (BirdLife International). Первоочередное внимание уделено редким, сокращающим численность или образующим крупные скопления (и, следовательно, уязвимым) видам птиц. В основе большинства критериев - четкие количественные пороги численности (табл. 2, 3). Значимой для вида или популяции принято считать потерю 1 % численности. Эта величина и использовалась при расчете большинства порогов численности, на которых основано выделение КОТР. Ключевая

орнитологическая территория имеет тот или иной ранг, если выполняется хотя бы один из перечисленных ниже критериев. Надежность оценки ранга КОТР повышается, если выполняется сразу несколько критериев [3].

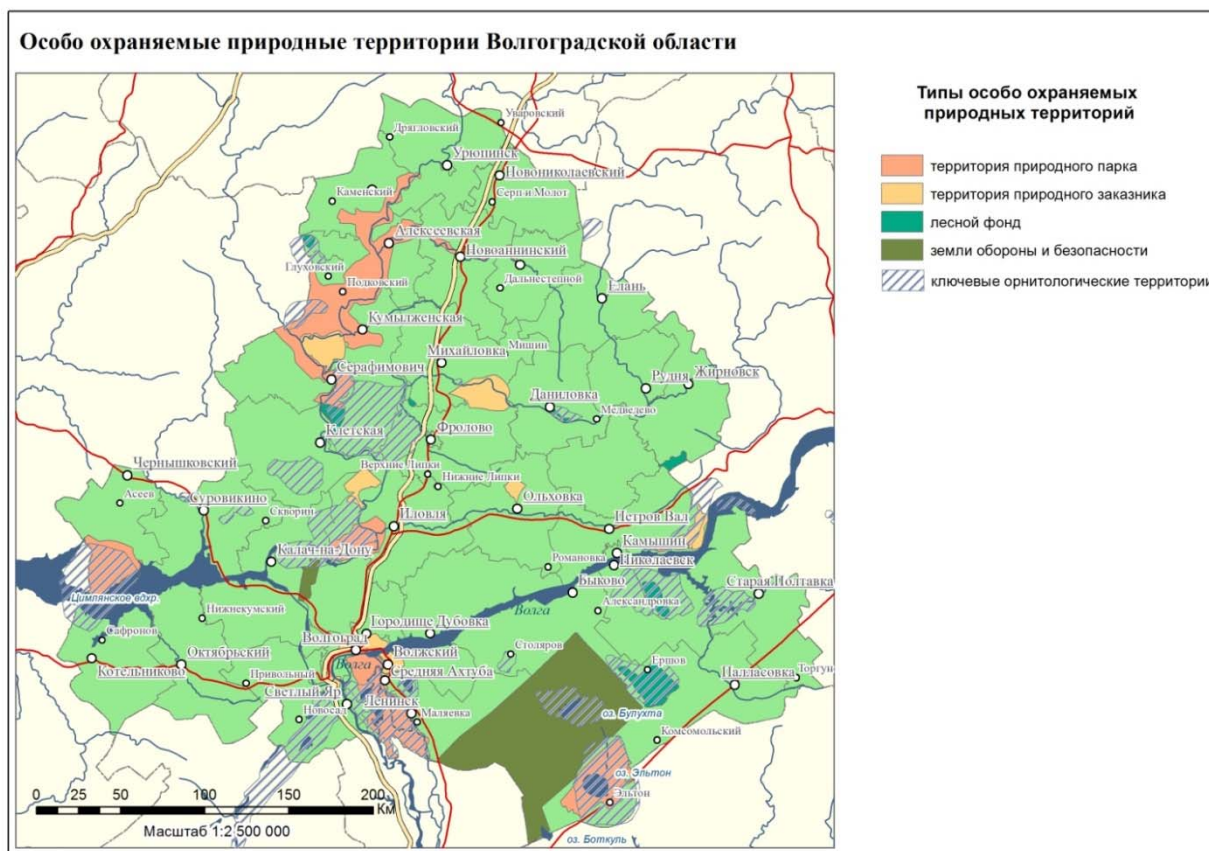


Рис. 3. Карта особо охраняемых территорий Волгоградской области.

Представленная карта содержит описание именно КОТР международного значения, выделенных в Европейской России согласно критериям, разработанным Секретариатом BirdLife International с привлечением широкого круга российских и зарубежных экспертов.

Проведенный сбор информации, ее структуризация в виде баз геоданных, представление в серии карт и анализ, стали существенным этапом при оценке перспективности региона для развития солнечной и ветровой энергетики. Помимо вышеперечисленных критериев, в оценках учитывались так же технические, экономические и социальные ограничения и предпосылки. Тем не менее природные и экологические факторы безусловно имеют более значительный вес и влияние на принятие решений, непосредственно после оценки ресурсной составляющей.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ №13-08-01186.

Литература

1. ГОСТ Р 51991-2002. Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Общие технические требования. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data1/40/40075/> (дата обращения: 28.05.2014)

2. Рустамов Н.А., Андреев Т.И., Варигина Л.В. О стандартизации для обеспечения развития энергетики возобновляемых источников в России" // Мир стандартов. — 2013. — Т. 2, № 73. — С. 5–8.

3. Свиридова Т.В., Зубакин В.А и др. Ключевые орнитологические территории России. Том 1. Ключевые орнитологические территории международного значения в Европейской России. М.: Союз охраны птиц России, 2000. 702 с.

МЕТАН В АТМОСФЕРЕ АРКТИКИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ, ПРИЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

И.А. Репина, А.А. Аниферов, А.Ю. Артамонов

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН,
г. Москва, Россия*

E-mail: repina@ifaran.ru

Метан играет важную роль в экологических процессах на Земле. В атмосфере он является эффективным парниковым газом. Рост его концентрации приводит к гораздо более сильному парниковому эффекту по сравнению с аналогичным приростом (в процентах) в случае CO_2 . В работе с использованием данных измерений, численного моделирования и спутниковых наблюдений рассмотрена эмиссия метана в Арктике. Рассчитана предполагаемая мощность источников в море Лаптевых. Для валидации расчетов используются данные мониторинга концентраций метана в ГМО Тикси.

Введение

Одной из центральных проблем современной физики атмосферы является математическое моделирование изменчивости газового и аэрозольного состава атмосферы, а также оценка влияния атмосферных примесей на окружающую среду. Атмосфера представляет собой сложную динамическую систему, в которой протекают различные динамические и физико-химические процессы. Эти процессы обусловлены как атмосферной циркуляцией, так и трансформацией газовых и аэрозольных примесей. Важнейшую роль в экологических процессах на Земле играет метан (CH_4). Не смотря на то, что его процентное содержание в атмосфере очень невелико, он является эффективным парниковым газом. Рост его концентрации приводит к гораздо более сильному парниковому эффекту по сравнению с аналогичным приростом (в процентах) углекислого газа. Потенциал глобального потепления CH_4 в краткосрочной перспективе в 72, а среднесрочной в 25 раз выше, чем у CO_2 [1]. Измерения показывают, что начиная с доиндустриального периода концентрация метана выросла примерно на 150 %, в то время как концентрация CO_2 лишь на 40 %. Поэтому роль CH_4 как

парникового газа постоянно возрастает. Кроме того, увеличение содержания метана способствует росту концентрации другого парникового и жизнеобеспечивающего газа – озона как в тропосфере [2], так и в стратосфере [3].

Потепление в Арктике проходит в два раза быстрее, чем в других районах планеты. Это потепление влияет на естественные источники метана, мощность многих из которых зависит от окружающей температуры. Исследования последних десятилетий показали, что в отдельных районах морей российской Арктики наблюдаются повышенные концентрации метана как в водной толще, так и в атмосфере. Есть предположение, что подобные концентрации могут быть объяснены выходом метана, значительное количество которого находится под вечной мерзлотой шельфа арктических морей в виде метангидратов [4]. Причиной их разрушения может служить изменение термодинамических условий, в которых они находятся по сравнению с условиями последнего ледникового периода [5]. Из-за послеледниковой трансгрессии моря огромные площади суши были затоплены, и вечная мерзлота, мощность которой достигала 500-600 метров, оказалась в условиях при температуре выше на $5-10^{\circ}$. В результате метангидраты оказались в состоянии фазового перехода «мерзлотное состояние - талое состояние» [5], возникла опасность их массового разрушения и выхода метана в атмосферу, что может привести к усилению парникового эффекта и повторению катастрофической ситуации, которая наблюдалась по палеоданным 55 млн. лет назад [4]. По оценкам геологов, содержание гидратов только на континентальном шельфе морей Восточной Сибири составляет более чем $3,5 \times 10^5$ Мт С [6]. Согласно более консервативной оценке [7], глобальное содержание углерода в гидратах составляет $1,8 \times 10^6$ Мт. Но эта теория далеко не однозначна. Существует теория о выделении метана из-за деградации зоны вечной мерзлоты в условиях современного потепления [8,9], а также оценки отклика эмиссии метана на эту деградацию [10,11]. В некоторых работах (см., напр., [12]) подчеркивается высокая степень неопределенности этого источника эмиссии метана, в частности, на шельфе моря Лаптевых он оценивается в 1–12 Мт С/год. Кроме того, модельные расчеты [13], а также наблюдения температуры на разных глубинах на шельфе показывают: текущего потепления недостаточно, чтобы вызвать дестабилизацию вечной мерзлоты на шельфе моря Лаптевых.

Целью данной работы является оценка возможных источников метана на шельфе моря Лаптевых по данным наземных и спутниковых наблюдений.

Оценка мощности источника метана

На рисунке 1 показана карта маршрута научно-исследовательского судна «Яков Смирницкий» с нанесёнными значениями измеренной с борта судна с помощью высокочастотного газоанализатора закрытого типа DLT-100 концентрации метана в атмосфере.

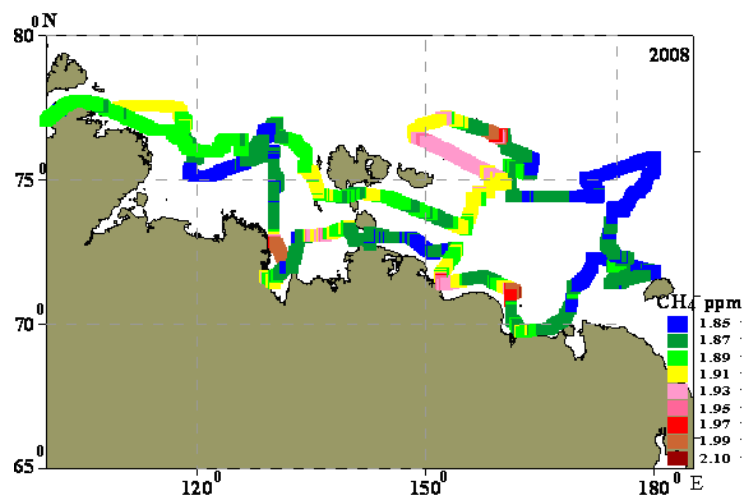


Рис. 1. Изменение концентрации метана по ходу НИС «Яков Смирницкий» во время измерений в 2008 г.

На карте можно выделить районы, где концентрация резко повышалась до 2–2.1 ppm, при фоновой концентрации 1.86 ppm. В настоящей работе анализируется один из таких источников вблизи эстуария реки Лена. В этом районе повышенные концентрации метана наблюдались регулярно [6]. Характерные размеры площадного источника 30*30 км, примерные координаты 72.6° с.ш. 130.62° в.д, а мощность, оцененная с помощью боксовой модели - 92 кг/км²/час при высоте однородной атмосферы 1000 метров.

Для решения прямой задачи нами предполагалось, что на поверхности моря есть площадной источник метана, характерный размер которого составляет примерно 10x10 километров. В условиях развитого турбулентного переноса, когда газ в приземном слое атмосферы быстро перемешивается, образуется практически однородная область с повышенной концентрацией до высоты 150 метров. В задаче определяется минимальная мощность источника, при которой концентрация метана в этой области будет расти.

Для решения задачи использовалось уравнение переноса примеси [14], а для численного решения задачи использовалась явная схема с первым порядком аппроксимации по времени и пространству.

В таблице 1 представлена полученная зависимость мощности источника, необходимой для возрастания концентрации метана в столбе, от времени.

Т.е., чтобы концентрация метана в столбе воздуха начала возрастать после 40 часов воздействия, нужно, чтобы мощность источника была не менее 89 нг/(м² с).

Для расчёта распространения концентрации примеси от площадного источника и, соответственно, местоположения источника нами была использована трёхмерная модель HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory), разработанная в Air Resources Laboratory [15].

Из-за переменчивости направления и скорости ветра картина распределения концентрации будет иметь сложный вид и меняться во времени. Если рассматривать район $L \sim 200$ км, то характерное время изменения концентрации $L/u \sim 10$ часов будет определяться переносом (u –

характерная скорость ветра 20 км/час). Во время выполнения работ в районе эстуария реки Лена, по данным NOAA ветер имел западное и юго-западное направление. За это время мог образоваться шлейф концентрации метана, который судно пересекло почти поперёк. На рис. 2 показано рассчитанное расположение источника метана на основе измеренных концентраций. То есть можно предположить, что источник расположен где-то между двумя треками и находится не восточнее 133 в.д.

Таблица 1. Зависимость мощности источника, необходимой для возрастания концентрации метана в столбе, от времени.

	1.86-2 ppm	1.86-2.5 ppm	2-2.2 ppm
t, часы	нг/(м ² с)	нг/(м ² с)	нг/(м ² с)
5	208	267	113
10	177	225	93
20	150	193	63
40	89	193	52
80	89	193	38
200	89	193	22
400	89	152	22
800	58	152	22
1200	58	152	22
2000	30	115	22
4000	30	115	22



Рис. 2. Траектории модельных частиц и измеренные значения концентрации метана.

Сравнение рассчитанных и измеренных концентраций метана для источника с координатами 72.4 с.ш и 132.6 в.д. представлено в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение рассчитанных и измеренных концентраций метана для источника с координатами 72.4 с.ш и 132.6 в.д.

Время	Координаты	Измеренное значение	Вычисленное значение для 12 часов (72.4 с.ш. 132.6 в.д.), Kanthar-Clayson
25.08.13:00	73.021 с.ш 129.981 в.д	1,897	1,926
25.08.16:00	72.919 с.ш 130.066 в.д.	1,925	1,926
25.08.17:00	72.852 с.ш 130.108 в.д.	1,952	1,926
25.08.18:00	72.808 с.ш 130.161 в.д.	2,007	1,926
25.08.20:00	72.607 с.ш 130.615 в.д.	2,0157	2,03
25.08.21:00	72.464 с.ш 130.873 в.д.	2,0136	2,094
25.08.22:00	72.323 с.ш 131.159 в.д.	2,0185	2,094
25.08.23:00	72.174 с.ш 131.436 в.д.	2,0198	2,031
25.08.0:00	72.021 с.ш 131.725 в.д.	2,0077	2,031
25.08.1:00	71.958 с.ш 132.212 в.д.	2	1,948
25.08.3:00	71.923 с.ш 132.587 в.д.	1,998	1,913

Полученные результаты подтвердил анализ мониторинга потоков углекислого газа и метана на базе обсерватории Тикси, также расположенной в районе эстуария р. Лена. Максимальные концентрации метана в Тикси, как и везде в высоких широтах наблюдаются в июле из-за большого притока солнечной радиации и развития фотохимических процессов в тундре. Летом и осенью основная причина высоких концентраций метана – окружающая Тикси тундра и эмиссия с морского шельфа. Наземные источники оказывают влияние с июня по октябрь. В летний и осенний период концентрации метана в Тикси выше, чем на других станциях арктического мониторинга (Цепелин, Шпицберген и Барроу, Аляска) из-за эмиссии метана из сибирских болот. На рисунке 3 показана зависимость потока метана от направления ветра по измерениям 2012 года.

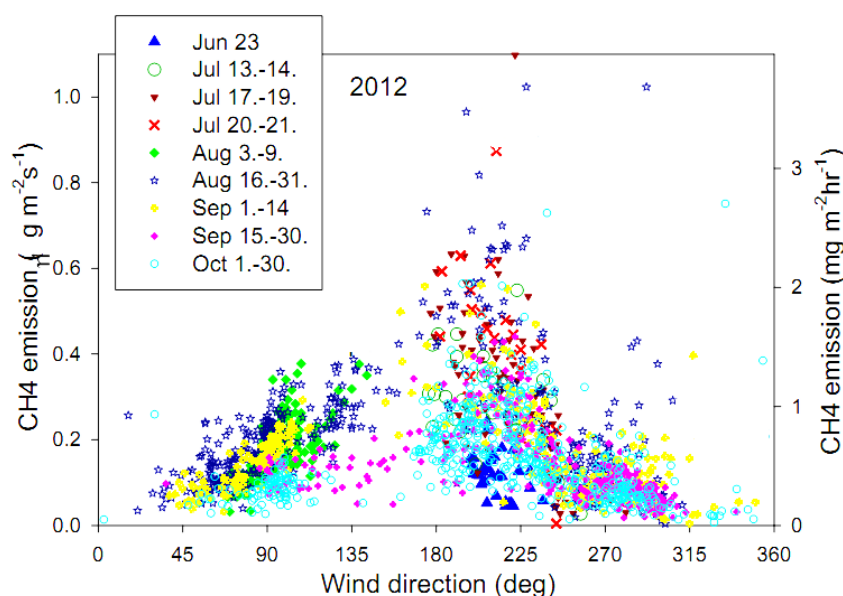


Рис. 3. Зависимость потока метана от направления ветра.

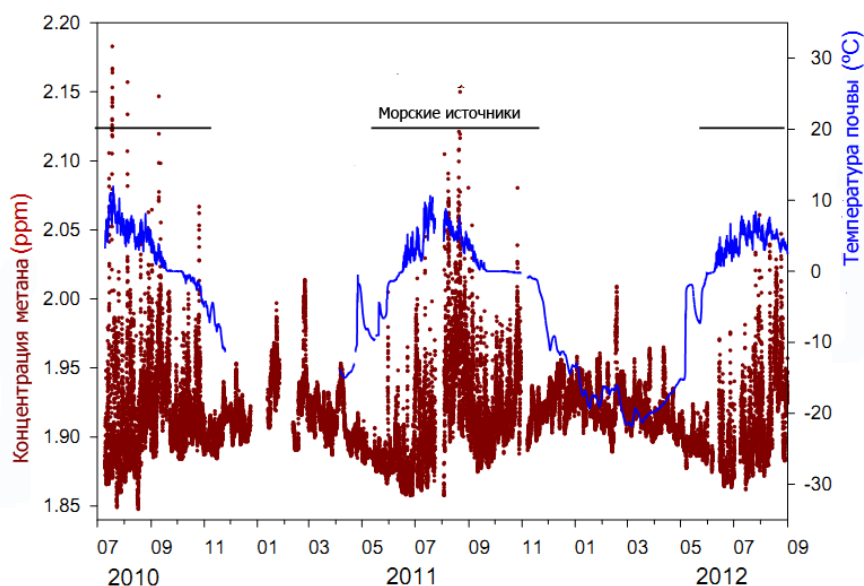


Рис. 4. Изменчивость концентраций метана за период наблюдений в Тикси.

Связь избыточных концентраций метана с направлением ветра подтверждают рис. 4 и 5. На рис. 4 показана изменчивость концентраций метана за все время наблюдений, на рис. 5 – отдельно за август 2012 года. Анализ расположения источника, вызвавшего увеличение концентрации метана 20 августа 2012, подтвердил полученные в предыдущих расчетах координаты источника. Он находится в море восточней 133 в.д. с мощностью порядка 170 – 380 мг/м²/сут.

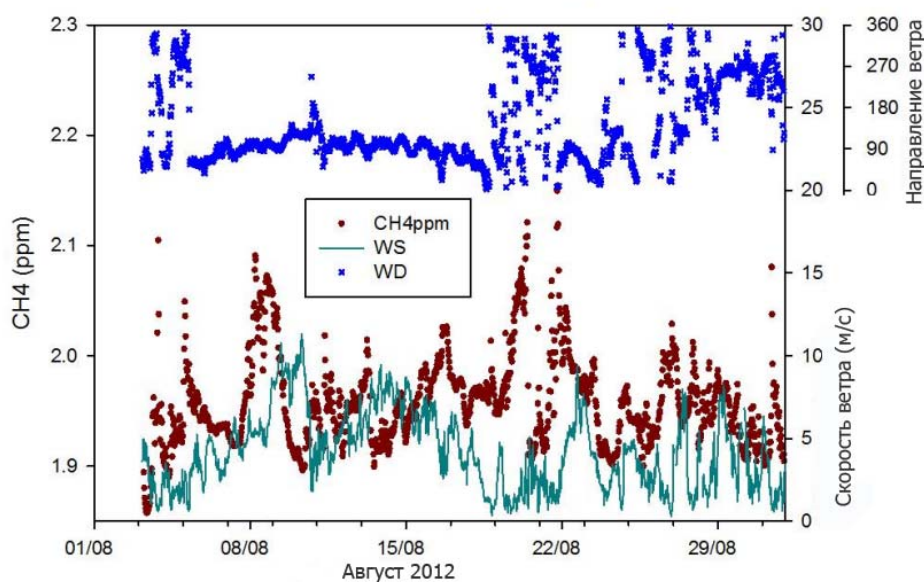


Рис. 5. Изменчивость концентраций метана, скорости и направления ветра в августе 2012 (Тикси).

Также для анализа были привлечены спутниковые данные. Спутниковые инструменты, работающие в ближней инфракрасной области (например, SCIAMACHY) используют в качестве источника солнечное излучение и, соответственно, неприменимы в Арктике, особенно во время полярной ночи. Спутниковые приборы, работающие в тепловой области ИК диапазона

(спектрометры AIRS, IASI, TANSO) способны изменять излучение Земли и атмосферы круглогодично и независимо от времени суток. Точность восстановления концентраций метана по этим приборам в тропосфере оставляет желать лучшего, но является приемлемой для решения определенных задач [16]. Различия в данных, осредненных по всему Северному ледовитому океану и только над открытой водой подтверждают, что стандартные данные измерений метана IASI чувствительны к нижней тропосфере (ниже 4 км) для случаев достаточного температурного градиента (над водой). Над льдом чувствительность либо недостаточна, либо практически отсутствует.

В районе Тикси также проведено сопоставление со спутниковыми данными AIRS, корреляция среднемесячных вариаций метана составила 0,69.

Анализ спутниковых данных по приборам IASI и AIRS для всего Северного Ледовитого океана показал, что измерения метана над СЛО с помощью спутников дают ценную информацию о содержании этого важного парникового газа. Наличие источников метана в акватории СЛО вполне вероятно. Однако, по состоянию на конец 2013 года, концентрация метана над океаном растет с той же скоростью, что и над умеренными и высокими широтами над континентами. Т.е., пока никакого роста выделения метана от СЛО не зарегистрировано.

Регистрировать локальные источники метана возможно по данным РСА (радиолокаторов синтезированной апертуры). Основные преимущества спутниковой радиолокации: возможность получения снимков высокого разрешения (до нескольких метров), широкая полоса обзора, независимость от освещенности и всепогодность. Наиболее доступны и пригодны для целей регулярного мониторинга данные РСА с европейских спутников ERS-1 (1991-2000гг), ERS-2 (1995-2011) и Envisat (2002-2012). В настоящее время работают радиолокаторы на канадском спутнике RADARSAT 2 и на немецких TerraSAR-X и TanDEM-X, но доступ к этим данным затруднен. Рассмотрим некоторые основные особенности радиолокационного обнаружения естественных газовых проявлений. При слабом волнении или штиле в местах выхода естественных газовых компонент при наличии пузырьковой составляющей будут наблюдаться аномалии положительной контрастности по отношению к уровню собственного шума приемника. Возникновение газовых компонент в толще воды приводит к появлению градиента плотности по глубине, что может вызвать генерацию внутренних волн, которые, взаимодействуя с поверхностным волнением, приводят к появлению гладких полос (сликов), что в свою очередь, отразится на радиолокационном изображении. Внутренние волны на РЛИ проявляются как темные или светлые (относительно фона) нитевидные полосы на поверхности воды. Они визуализируются благодаря сликовым полосам, образованным пленками поверхностно-активных веществ естественного происхождения, которые обладают способностью гашения гравитационно-капиллярных волн и тем самым уменьшают величину обратно рассеянного сигнала [17].

Заключение

По расчетам с использованием модели HYSPLIT мощности источников метана, расположенных в морях Восточной Арктики по данным об избыточной концентрации метана в прибрежных районах установлена предполагаемая мощность источников. Координаты источника, находятся не восточней 133 в.д., что подтверждено моделированием распространения частиц от вымышленного источника с координатами 73 с.ш и 138 в.д. Источник метана находится в море, это следует из картины распределения метана и направлении ветра на юго-запад, запад. Для объяснения измеренных концентраций во всех точках в этом районе, необходимо чтобы мощностью источника была порядка 170 – 380 мг/м²/сут., а площадь – порядка 30x30 км. Расчет обратных траекторий переноса воздушных масс, выполненный с использованием HYSPLIT для района обсерватории Тикси показал, что из 9 точек, концентрация СН₄ в которых существенно превышала фоновую, только для одной обратная траектория (высоты 100, 500 и 1000 м) проходила от материка, все остальные были с северных направлений, то есть от морских источников. Работы выполнены при поддержке РФФИ (гранты 13-05-12082 и 14-05-91764).

Литература:

1. МГЭИК, 2007: Отчет Межправительственной группы экспертов по изменению климата, 2007. URL: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_ru.pdf.
2. Crutzen P.J., Zimmermann P.H. The changing photochemistry of the troposphere // *Tellus*. 1991. Vol. AB43. P. 136–151.
3. Ozone Depletion, 1994: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1994. WMO Global Ozone Research and Monitoring Project. Report № 37. Geneva, 1994.
4. Голицын Г.С. Оценки возможного «быстрого» метанового потепления 55 млн. лет назад // Доклады академии наук. 2007. Т. 413. №6. С.1-4.
5. Шахова Н.Е., Никольский Д.Ю., Семилетов И.П. О современном состоянии подводной мерзлоты на Восточно-Сибирском шельфе: тестирование результатов моделирования данными натуральных наблюдений // Доклады Академии Наук. 2009. Т. 429. № 4. С. 541-544.
6. Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O. Methane from the East Siberian Arctic Shelf-Response // *Science*. 2010. Vol. 329 (5996). P. 1147–1148.
7. Boswell R., Collett T.S. Current perspectives on gas hydrate resources // *Energy and Environmental Science*. 2011. Vol. 4. P. 1206–1215.
8. Малевский-Малевиц С.П., Молькентин Е.К., Надежина Е.Д., Павлова Т.В. Модельные оценки изменений температуры воздуха и эволюция теплового состояния многолетнемерзлых пород // *Криосфера Земли*. 2005. № 3. С. 36–44.
9. Малевский-Малевиц С.П., Молькентин Е.К., Надежина Е.Д., Павлова Т.В., Семиошина А.А. Моделирование и анализ возможностей экспериментальной проверки эволюции термического состояния многолетнемерзлых грунтов // *Криосфера Земли*. 2007. № 1. С. 29–36.
10. Anisimov O. Potential feedback of thawing permafrost to the global climate system through methane emission // *Environmental Research Letters*. 2007. № 2. doi:10.1088/1748-9326/2/4/045016.
11. Anisimov O.A., Borzenkova I.I., Lavrov S.A, Strelchenko J.G. The current dynamics of the submarine permafrost and methane emissions on the shelf of the Eastern Arctic seas // *Ice and Snow*. 2012. № 2. P. 97–105.

12. Petrenko V.V., Ethiridge D.M., Weiss R.F., Brook E.J., Shaefer H., Severinghaus J.P., Smith A.M., Lowe D., Hua Q., Riedel K. Methane from the East Siberian Arctic Shelf // Science. 2010. Vol. 329. (5996). P. 1146–1147.
13. Dmitrenko I.A. Kirillov S.A., Tremblay L.B., Kassens H., Anisimov O., Lavrov S.A., Razumov S.O., Grigoriev M.N. Recent changes in shelf hydrography in the Siberian Arctic: Potential for subsea permafrost instability // Journal of Geophysical Research – Oceans. 2011. Vol. 116. C10027. doi: 10.1029/2011JC007218.
14. Алоян А.Е. Динамика и кинетика газовых примесей и аэрозолей в атмосфере // Курс лекций, М.,: ИВМ РАН, 2002. 201 с.
15. Roland R. Draxler, G.D. Hess. DESCRIPTION OF THE HYSPLIT_4 MODELING SYSTEM. // <http://www.arl.noaa.gov/documents/reports/arl-224.pdf>
16. Yurganov L., Leifer I., Xiong X. Atmospheric Methane over the Arctic Ocean: Thermal IR Satellite and Ship-Based Observations (в печати).
17. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН, 2011. 480 с.

БИОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ СВИНЦА В ВОЗДУХЕ МАЙКОПА

Э.А. Сиротюк, А.Е. Шадже

*Майкопский государственный технологический университет
г. Майкоп, Россия*

E-mail: emiliya09@yandex.ru

Проблема обеспечения экологической безопасности населения является одним из приоритетных направлений государственной политики России [1]. Техногенная нагрузка на экологические системы постоянно увеличивается, поэтому необходимы меры по сохранению окружающей среды, так как именно ее состояние определяет экологическую безопасность и состояние здоровья населения.

Одной из главных проблем охраны здоровья населения во всем мире признается загрязнение окружающей среды токсичным металлом I класса опасности – свинцом и его соединениями. Длительный контакт человека с незначительно повышенными дозами свинца вызывает развитие хронической свинцовой интоксикации (сатурнизм), характеризующийся поражением системы кровообращения, нервной системы и желудочно-кишечного тракта.

В связи с запретом на использование этилированного бензина во многих странах мира, в том числе и в России, в последние годы концентрация свинца в атмосферном воздухе резко уменьшилась. Главными источниками загрязнения воздуха соединениями свинца остаются: предприятия топливно-энергетического и химического комплексов, металлургической, машиностроительной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной и

лакокрасочной отраслей промышленности, стекольные, полиграфические и консервные производства; полигоны твердых бытовых отходов и др.

Свинец и его соединения также поступают в атмосферу из твердых промышленных и бытовых отходов: отработанных свинцовых аккумуляторных батарей; потерявших потребительские свойства проводов и кабелей; лакокрасочных покрытий; изделий из хрусталя; свинцовых стекол; глазированной керамики; паяных изделий, в том числе консервных жестяных банок; некоторых резиновых изделий, а также при использовании в охотничьем промысле свинцовой дроби и др.

Существуют различные подходы к решению проблемы защиты воздушного бассейна городов от примесей токсичных элементов. Наряду с ограничением поступления в атмосферу загрязняющих веществ, удалением их из нее различными способами, в настоящее время актуальными являются их раннее выявление и идентификация. Для этого используются физико-химические методы исследования. Однако в воздухе часто присутствуют несколько токсичных компонентов. Концентрация каждого из них, фиксируемая с помощью физико-химических методов исследования, может оказаться неопасной для организмов, тогда как их совокупное влияние может стать угрожающим. Так, ПДК в атмосферном воздухе населенных мест соединений свинца составляет $0,001 \text{ мг/м}^3$ [2], однако оксид свинца обладает эффектом суммации. Этот синергизм можно выявить только при использовании методов биоиндикации. Многие исследователи [3, 4] для повышения надежности экологических оценок загрязнения среды наряду с биоиндикационными методами рекомендуют использовать и другие методы, в том числе химические.

Целью исследования является изучение степени загрязненности свинцом атмосферного воздуха в Майкопе фитоиндикационными и электрохимическими методами.

Объект исследования

Во многих литературных источниках в качестве индикатора на загрязнение атмосферного воздуха свинцом приводится липа сердцевидная [5], которая широко используется в Майкопе для озеленения. Это определило выбор объекта настоящего исследования.

Род липа включает 40 видов. В городе Майкоп род представлен двумя видами: липа сердцевидная, или мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), и липа кавказская (*Tilia caucasica* Rupr.) [6]. Липа сердцевидная – дерево высотой до 20 м, с компактной овальной кроной и стволом правильной, цилиндрической формы. Кора глубокобороздчатая, темно-серая. Корневая система мощная, с сильным стержневым корнем и далеко идущими боковыми корнями. Дерево теневыносливо, обладает значительной морозостойкостью, хорошо переносит временный недостаток или избыток влаги. К плодородию почвы предъявляет средние требования. В период цветения и плодоношения вступает в 20-25 лет, доживает до 300-400 (600) лет.

Методика исследования

С учетом особенностей архитектурной застройки, расположения источников загрязнения, а также произрастания липы сердцевидной, в городе было выбрано четыре района: Черемушки, Маяк, Вокзал, Центр.

Всего было собрано и засушено 120 листьев. На этом материале определялось содержание свинца прямым способом – методом инверсионной вольтамперометрии, и косвенным – фитоиндикационным методом, на основе определения площади пораженных хлорозом участков листьев липы.

Инверсионная вольтамперометрия (ИВ) является одним из вариантов электрохимических методов анализа. Она основана на предварительном концентрировании определяемого компонента, характеризуется относительно простым аппаратным оформлением и приводит к хорошо воспроизводимым и достоверным результатам. Схема анализа проб методом ИВ показана на рисунке 1. Первый этап включает подготовку прибора и проб, а также проверку электрохимической ячейки. Затем производятся ИВ-измерения и расчет концентрации исследуемого вещества.

В связи с особенностями метаболизма (наличие высокочувствительного фотосинтетического аппарата, который поглощает вещества из окружающей среды, в том числе токсичные) для диагностики загрязнения атмосферного воздуха чаще всего используются высшие растения. Фитоиндикация может осуществляться по ответной реакции растений, наиболее чувствительных к отдельным ингредиентам среды (чувствительные биоиндикаторы), или по накоплению вредных веществ в их тканях (аккумулятивные биоиндикаторы).

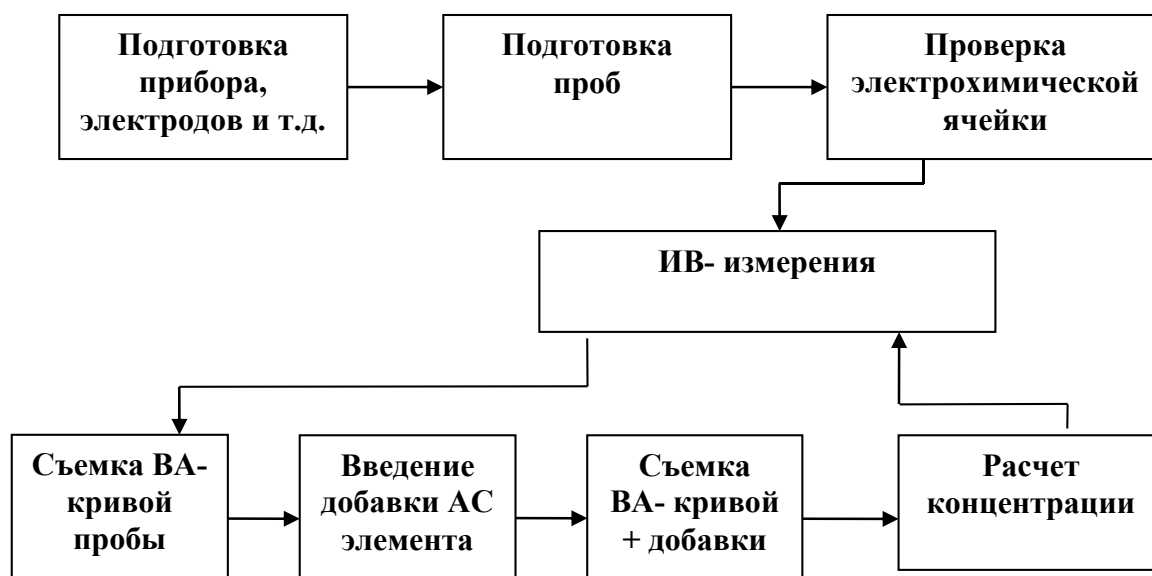


Рис. 1 – Общая схема анализа проб методом ИВ

Для диагностики уровня суммарного загрязнения воздуха лучше использовать первую группу биоиндикаторов (неспецифическая биоиндикация). Аккумулятивные биоиндикаторы в основном применяются для диагностики загрязнения воздуха определенным токсикантом (специфическая биоиндикация).

Согласно Н.Н. Москаленко [7], свинец является одним из элементов, информативных к биоиндикации (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация микроэлементов-биоиндикаторов техногенного воздействия на окружающую среду

Информативность к биоиндикации	Химические элементы	Частота, %	Коэффициент концентрации
Индикаторы	Серебро, ванадий, олово, свинец	100-44	1,5-7,1
Умеренные индикаторы	Хром, никель, молибден	25-10	1,5-4,0
Неинформативные	Кобальт, цинк	8,6-1,3	1,2-2,0

Липа сердцевидная накапливает в различных вегетативных органах свинец, который может поступать как из почвы – через корневую систему, так и непосредственно из атмосферного воздуха – через листья.

Результаты исследования

Данные о концентрации свинца в листьях липы, полученные нами методом ИВ, приведены в таблице 2. Ее анализ показывает, что концентрация свинца в пробах по районам города отличается друг от друга незначительно. Наиболее высокая концентрация свинца отмечается в Центре (0,00038 мг/м³), наиболее низкая – в районе Вокзала.

Таблица 2 – Концентрация свинца (мг/м³) в воздухе в районах Майкопа

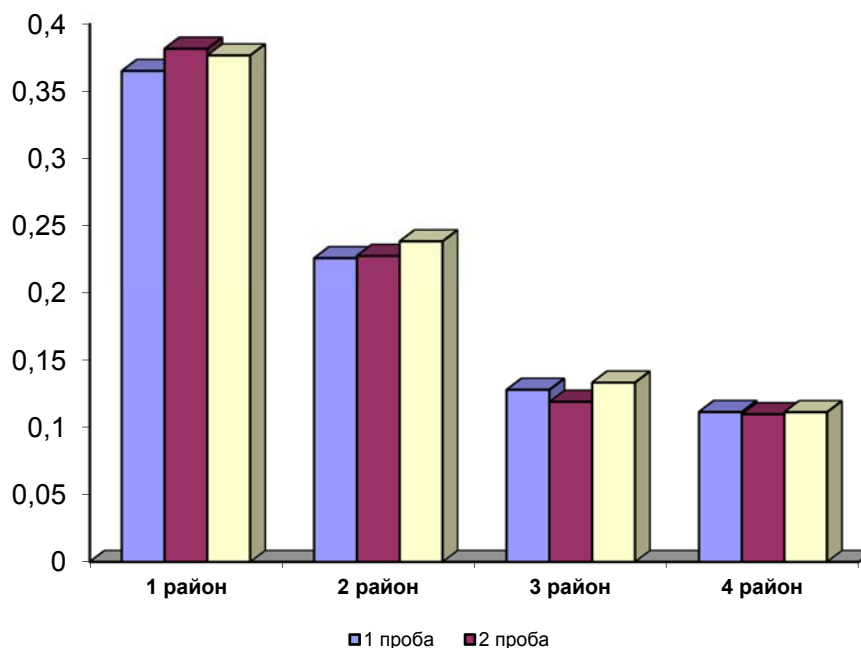
Центр			Черемушки			Маяк			Вокзал		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0,00037	0,00039	0,00038	0,00022	0,00023	0,00024	0,00013	0,00012	0,00014	0,00011	0,00012	0,00011
0,00038			0,00023			0,00013			0,00011		

Для большей наглядности результатов данные представлены в виде диаграммы (рисунок 2).

Группа ученых (И.В. Кондратюк, Е.А. Тарабрин, Ю.И. Бакланов) [8] изучали аккумуляцию свинца листьями липы сердцевидной на опытных участках в разных условиях загрязнения: в заводском парке Донецка; в городском парке; в Ботаническом парке и на опытной станции, где отсутствуют источники загрязнения. Содержание свинца авторы определяли химическими методами и методами атомно-адсорбционной спектроскопии. В таблице 3 представлены их результаты.

Таблица 3 – Среднее содержание свинца в листьях липы сердцевидной, мг/м³.

Заводской парк	Городской парк	Ботанический парк	Опытная станция
0,00022	0,00021	0,00017	0,00020



**Рис. 2 – Содержание свинца в воздухе в районах Майкопа:
1 район – Центр; 2 район – Черемушки; 3 район – Маяк; 4 район – Вокзал**

Полученные исследователями данные свидетельствуют об отсутствии значительного загрязнения среды свинцом исследуемых объектов, нежели о низкой поглотительной способности липы. По многочисленным данным, содержание свинца в листьях липы, произрастающей вдоль автомобильных дорог и улиц с интенсивным движением транспорта в 5-20 и даже в 100 раз выше нормы.

По Р. Шуберту [9], концентрация свинца в листьях растений не должна превышать $0,0007 \text{ мг/м}^3$, а по А.И. Федоровой и А.Н. Никольской [10], ПДК равняется $0,0003 \text{ мг/м}^3$. Таким образом, получается, что в центре Майкопа наблюдается превышение свинца в воздухе на 1,2 %. В остальных исследованных районах города концентрация свинца в воздухе находится в пределах нормы.

На основании полученных данных нами составлена карта состояния воздуха в городе Майкоп по содержанию свинца и его соединений (рис. 3). На карте выделены четыре зоны с различной степенью загрязнения воздуха свинцом: I – зона максимального загрязнения (Центр, выделена красным), II – зона повышенного загрязнения (Черемушки, выделена желтым), III – зона среднего загрязнения (Маяк, выделена зеленым), IV – зона незначительного загрязнения (Вокзал, выделена голубым).

Повышенное содержание свинца в листьях липы в центре города (зона I) может быть связано с сильным запылением от поступающих в окружающую среду загрязняющих веществ с выхлопными газами автотранспорта, асфальтным покрытием дорог, наличием промышленных предприятий и со сплошной застройкой. Территория здесь практически не проветривается, в результате чего происходит застаивание загрязненного воздуха.

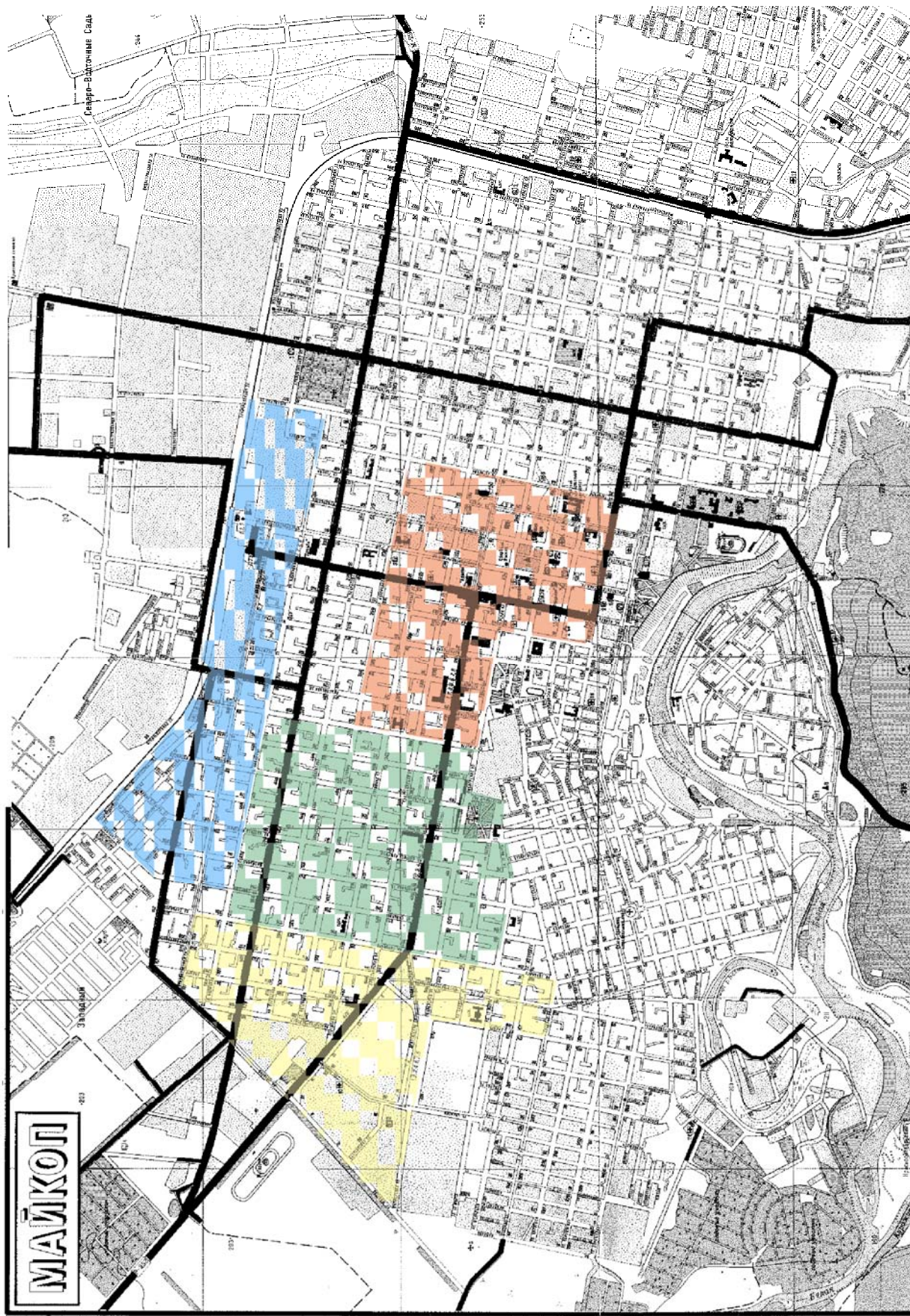


Рис. 3 – Картосхема распределения зон загрязнения воздуха свинцом в Майкопе (пояснения в тексте)

В зоне II – повышенного загрязнения (район Черемушки) нет промышленных предприятий, район застроен 5-ти и 9-ти этажными домами. При въезде в район расположен небольшой сквер и начинается аллея «Победы», в которых произрастают кустарники, древесные растения, находятся небольшие клумбы. Однако зеленые территории района со всех сторон окружены асфальтированными дорогами с интенсивной транспортной нагрузкой, а промежутки между многоэтажками застроены двух- или трехэтажными зданиями, что затрудняет проветривание территории.

Зона III – среднего загрязнения (район Маяк) охватывает территорию, застроенную в основном 5-ти этажными домами и домами частного сектора. Преобладают древесные и кустарниковые растения, есть и небольшие клумбы возле домов. Загруженность дорог высокая (троллейбусы, автобусы, маршрутки и легковой транспорт).

В районе вокзала (зона IV) отмечено наименьшее загрязнение воздуха свинцом, несмотря на наличие двух вокзалов (железнодорожный и автовокзал). Возможно, это вызвано наличием небольшого количества 5-ти этажных домов и большого количества домов частного сектора с огородами, садами и газонами. Здесь вдоль улиц произрастает много древесных и кустарниковых пород. Район хорошо проветривается.

В этих же четырех районах города (Центр, Маяк, Вокзал, Черемушки) нами были исследованы листья липы сердцевидной по вопросу выявления встречаемости межжилковых хлорозов листьев липы сердцевидной. В таблице 4 представлены полученные данные.

Таблица 4 – Частота встречаемости хлорозов листьев липы

Районы города	Отсутствие пятен		Наличие пятен		1/3 листа с пятнами		Половина листа с пятнами	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
Центр	5	16,6	15	50,0	5	16,6	5	16,6
Черемушки	10	33,3	10	33,3	7	23,3	1	3,3
Маяк	9	30,0	14	46,6	5	16,6	2	6,6
Вокзал	12	40,0	9	30,0	7	23,3	2	6,6

Из таблицы 4 видно, что наибольшая частота встречаемости хлорозов в межжилковых зонах листьев липы сердцевидной наблюдается в Центре (I зона), а наименьшая частота – на Вокзале (IV зона). В Центре из исследованных листьев 16,6 % имели хлоротичные пятна, достигающие половины листовой пластинки. В районах Маяк и Вокзал такие же поражения имели 6,6 % листьев, а в Черемушках – 3,3 %.

Нами определена площадь поврежденной поверхности (некрозов) листьев липы сердцевидной: I зона (Центр) – 1500 см², II зона (Маяк) – 300 см², III зона (Черемушки) – 600 см² и IV зона (Вокзал) – 100 см². Данные изображены на рисунке 4: больше всего повреждены листья липы сердцевидной в районе Центр, на втором месте район Маяк, на третьем – район Черемушки, и, наконец, на четвертом месте район Вокзал.

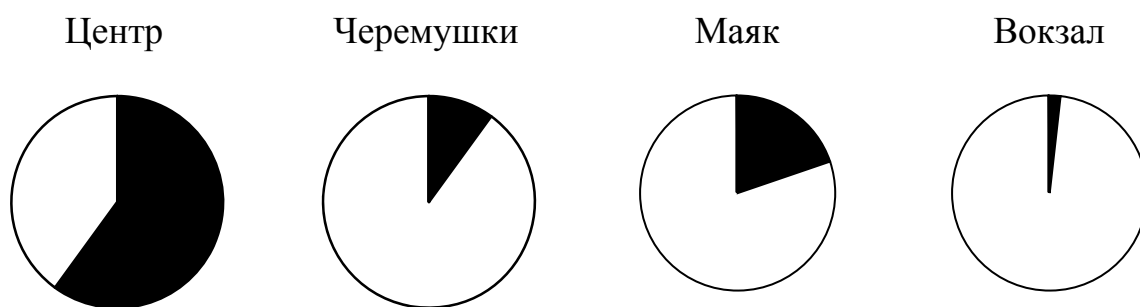


Рисунок 4 – Площадь некрозов на листьях липы (%):
 поврежденная поверхность; поврежденная поверхность

Выводы и рекомендации

1. Полученные нами результаты исследования показывают, что воздух в исследованных районах города Майкоп загрязнен свинцом и его соединениями. Загрязнение воздуха свинцом и другими вредными веществами обусловлено типом застройки районов, наличием промышленных предприятий, составом растительности, климатическими и эдафическими факторами, розой ветров и т.д.

2. Используемые нами методы дают примерно одинаковые результаты и, поэтому, для выявления качества атмосферного воздуха можно применять любой из них. Близкие данные косвенно свидетельствуют об их достоверности.

3. Подтверждается, что липа сердцевидная действительно является чувствительным биоиндикатором на свинец. Свинец и его соединения способны накапливаться в листьях липы сердцевидной и оказывать отрицательное воздействие, вызывая хлороз в их межжилковых зонах.

4. Рассмотренные методики можно рекомендовать в системе мониторинга атмосферного воздуха города как дополнение к проводимым физико-химическим исследованиям.

Литература

1. Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации. Утверждены Указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899.

2. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 21 мая 2003 г.

3. Николаевский, В.С. Эколого-физиологические основы газоустойчивости растений: учеб. пособие / В.С. Николаевский. – М.: МЛТИ, 1989. – 64 с.

4. Шуберт, Р. Возможности применения растительных биоиндикаторов в биолого-технической системе контроля окружающей среды // Разработка и внедрение на комплексных фоновых станциях методов биологического мониторинг. / Р. Шуберт. – Рига: Зинатне, 1983. – Т. 1. – С. 89-98.

5. Биофайл. Научно-информационный журнал / <http://biofile.ru/bio/4933.html>.

6. Толстикова, Т.Н. Древесные растения Майкопа / Т.Н. Толстикова. – Майкоп: Типография «Знак» И.П. Буренкова, 2014. – 110 с.

7. Москаленко, Н.Н. Биогеохимическое картирование городов // Биогеохимические методы при изучении окружающей среды / Н.Н. Москаленко. – М.: ИМГРЭ, 1989. – С. 147-159.
8. Кондратюк, И.В. Промышленная ботаника: учебник / И.В. Кондратюк, Е.А. Тарабрин, Ю.И. Бакланов. – Киев: Наук. думка, 1980. – 184 с.
9. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Р. Шуберт. – М.: Мир, 1981. – 350 с.
10. Федорова, А.И. Практикум и охрана окружающей среды: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.И. Федорова, А.Н. Никольская. – М.: ВЛАДОС, 2001. – 288 с.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ДИНАМИКА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ И ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)

В.И. Сычев, П.А. Рублев

*Российский государственный гидрометеорологический университет
г. Санкт-Петербург, Россия*

E-mail: vsychev@rshu.ru

Дистанционное зондирование водных объектов и их водосборов позволяет получить современную картину их состояния и прогнозировать последующую трансформацию. В качестве примера приведены результаты исследования построенного в 1968-1973 гг. на р. Кубань Краснодарского водохранилища, являющегося крупнейшим русловым водохранилищем на Северном Кавказе. Водохранилище, расположено на реке Кубань, в 1-2 км выше г. Краснодара, и является крупнейшим в Северо-Кавказском регионе. Наполнение водохранилища началось 6 мая 1973 г. и было выведено на проектный режим эксплуатации в 1975 г. В водохранилище впадают реки Кубань, Белая, Пшиш и Псекупс [5].

Восточная часть Краснодарского водохранилища включила в себя существовавшее ранее на р.Белой Тщикское водохранилище, построенное в 1940-1941 гг., которое расположено в 45 км восточнее г.Краснодара, в левобережной пойме Кубани между её притоками Лаба и Белая на бывших Тщикских плавнях и до пуска Краснодарского водохранилища являлось самостоятельным водохозяйственным объектом.

Проектные характеристики Краснодарского водохранилища при его пуске в эксплуатацию характеризовались следующими показателями: нормальный подпорный уровень (НПУ) — 33,65 м, длина водохранилища — 46 км², средняя ширина – 9 км, средняя глубина – 5.85 м, площадь водного зеркала– 400 км², объём водохранилища – 2.398 км³.

С февраля 1993 года в проектные эксплуатационные характеристики Краснодарского водохранилища были внесены изменения. Его НПУ был

снижен с 33,65 м до 32,75 м, при этом площадь водного зеркала водохранилища оценивалась в 382 км², а объём в 1,928 млн.м³. [4]

Результаты предыдущих исследований [1, 3-5] показали, что Краснодарское водохранилище в створе аул Адамий (южный берег) – станица Васюринская (северный берег) разделено перемычкой из отложений наносов дельты реки Белой. Размеры перемычки, полностью перекрывшей водохранилище от одного до другого берега, к 2007-2008 гг. составляли примерно 7х8 км., а ее площадь при НПУ равном 32,75 м, составляла 56,75 км². Наблюдения показали, что уровень Тшицкого водоёма, систематически выше (от 0,46 до 5,25 м) уровня собственно Краснодарского водохранилища. Со временем размеры площади перемычки достигли 64 км².

Перемычка дешифрируется на спутниковых снимках и представляет пространство, с большим числом различного размера и формы водоёмов, в основном заболоченных отложениями илистых наносов и до 50-70 % акватории густо заросших водной растительностью. Между озерами присутствуют густые заросли ивняка, кустарников, деревьев с густым подлеском из самой разной гидроморфной растительности с обилием подтопленных участков болотного типа с вязким илистым дном. Вся поверхность дельты чрезвычайно густо поросла лесом, преобладающей породой которого являются ивовые нескольких видов. Представлены также тополь, акация, орешник, а вдоль дамбы бывшего Тшицкого водохранилища, узкой полосой, – одичавшие плодовые: яблоня, груша, тутовник и др. В зоне впадения реки Белой в западную часть Краснодарского водохранилища заросли ивняка на берегах практически исчезают. Вдоль бывшей дамбы Тшицкого водохранилища прослеживается полоса старых деревьев высотой 8-12 м. На открытых влажных местах в изобилии произрастают камыш и прочая болотная растительность вперемешку с молодой порослью ивняка [4].

Причиной возникновения перемычки, разделившей Краснодарское водохранилище на два независимых водоёма, явилось выдвигание в акваторию водохранилища надводной части дельты реки Белой. Формирование перемычки происходило за счет отложений наносов выносимых рекой Белой в акваторию водохранилища. Средняя скорость выдвигания дельты, от зарождения до образования перемычки, составила 112 м/год, в том числе в период выдвигания в Тшицкое водохранилище (1941-1972) скорость её выдвигания составляла 161 м/год, а в период выдвигания в Краснодарское водохранилище (1973-2003 г.) – 66,6 м/год [4].

В настоящей работе были использованы данные спутника Landsat 8 OLI в период с 1 мая 2013 г. по 20 марта 2015 г. Обработка данных произведена программными комплексами ЮНЕСКО БИЛКО и ScanMagic. Американский спутник Landsat 8 дистанционного зондирования Земли был выведен на орбиту 11 февраля 2013 г. Его данные являются относительно новыми для анализа состояния района Краснодарского водохранилища, распространяются бесплатно и могут содержать необходимую информацию для предварительного анализа при пространственном разрешении снимков 15 и 30 м. Рассмотрены результаты дистанционного зондирования прибрежной

зоны и заиления водоема, разделенного на две самостоятельные части обширной перемычкой из наносов реки Белая. Привлечение данных космической съемки спутников последнего поколения позволили получить важную информацию об изменении во времени характеристик перемычки в условиях отсутствия наземных наблюдений

Поскольку в экономике России Краснодарский край и Адыгея выделяются как важнейшие сельскохозяйственные и рекреационные регионы страны, мониторинг главного водохранилища края, в том числе спутниковый, может сказываться на экономическом состоянии региона.

Трудности в классификации области водохранилища заключаются в том, что при понижении его уровня на поверхности оказываются области, которые по своим яркостным характеристикам сходны с другими участками данного региона. Первая область на рис.1 отличается малой глубиной и большим содержанием минеральной взвеси, область (2) аналогична первой, но перемежается осушенными участками. Область (3) покрыта растительностью, а ее яркостные характеристики сходны с характеристиками прибрежных участков. Для анализа площади водной поверхности водохранилища была составлена таблица классов, отражающая наиболее важные объекты классификации и метода главных компонент, которые использовались при анализе.

Таблица 1. Основные характеристики съемочной аппаратуры Landsat 8.

Режим съемки	VNIR	SWIR	PAN	TIR
Спектральный диапазон, мкм	0,43–0,45 (фиолетовый) 0,45–0,52 (синий) 0,53–0,60 (зеленый) 0,63–0,68 (красный) 0,85–0,89 (ближний ИК)	1,36–1,39 1,56–1,66 (SWIR-1) 2,10–2,30 (SWIR-2)	0,50–0,68	10,40–12,50
Пространственное разрешение (в надире), м	30	30	15	100



Рис. 1. Пример композитного изображения и таблицы классов для снимка Landsat 8 OLI. 21.08.2013 г.

Анализ снимков в летний период показывает значительную площадь обнаженной части водохранилища, что требует более тщательного определения его морфометрических характеристик.

На рис. 2 представлены композитные изображения в естественных цветах при отсутствии облачности, а также результаты классификации по данным от 1 мая, 21 августа и 9 ноября 2013 г.

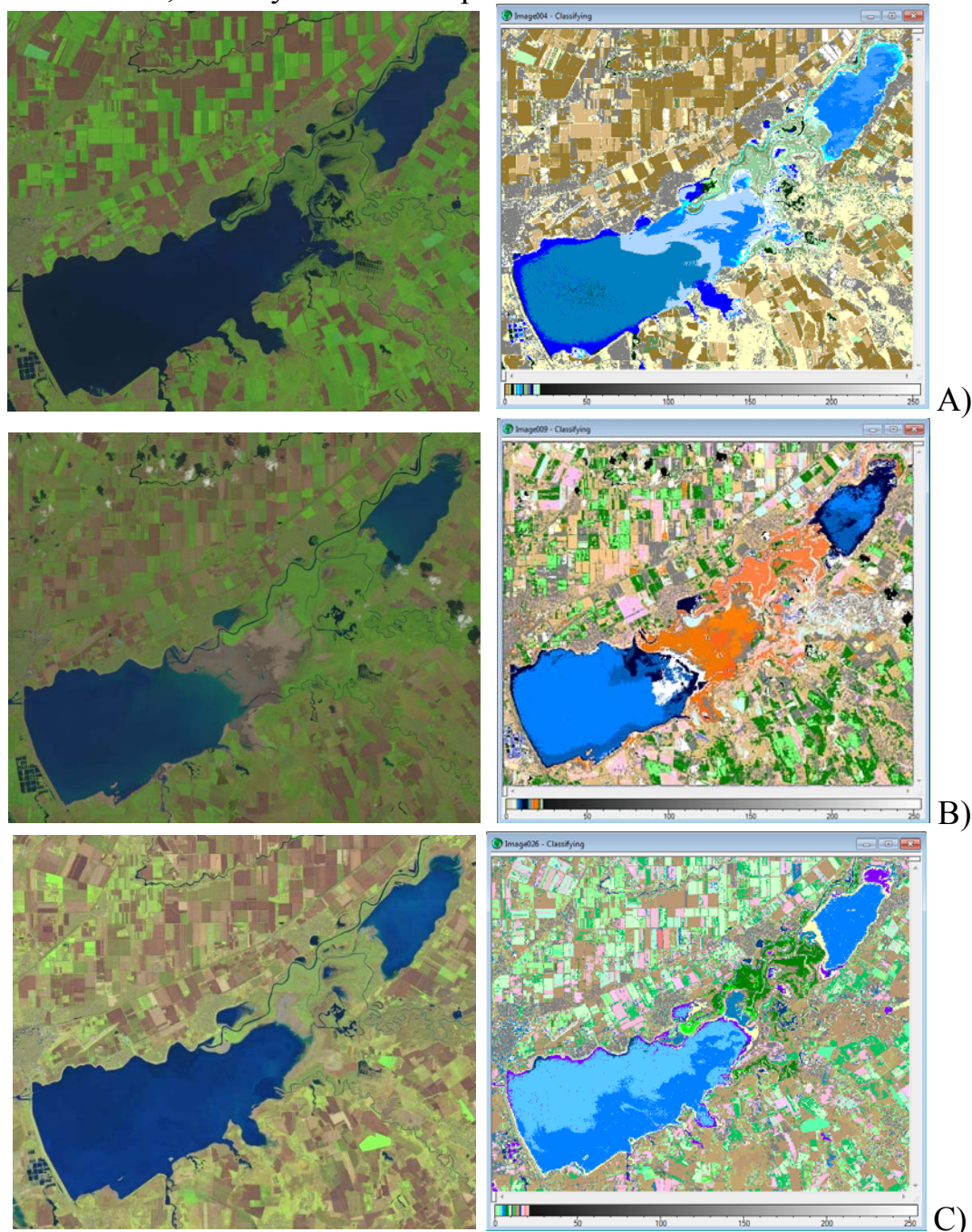


Рис.2. Композитные изображения и результаты классификации.

А) 1.05.2013 г., ВБ) 21.08.2013 г., С) 9.11.2013 г.

Следует отметить, что по результатам анализа данных дистанционного зондирования была составлена схема заиления Краснодарского водохранилища за время его существования с 1973 г. по настоящее время [3]. Было выделено пять периодов формирования перемычки с учетом с учетом сформировавшихся мелководий, обнажающихся при сработке

водохранилища. При этом из-за значительных изменений площади оценки имеют высокие значения дисперсии, поэтому требуют не только среднегодовых показателей, но более детальных определений. Например, полученные значения площади зеркала воды западной части Краснодарского водохранилища по данным от 21 августа и 9 ноября 2013 г. изменяются от 280 до 300 км².



Рис. 4. Композитные изображения спутника Landsat 8 OLI:
А)- 23.07.2013г., В) - 24.08.2013г., С) - 20.03.2015 г.

На рис. 5 приведены результаты обработки спутниковых снимков Landsat 8 OLI PAN, за даты, указанные на рис. 4. Псевдоцветные композитные изображения построены для сравнения данных при низком уровне летом 2014 г. и 20 марта 2015 г. В этот день отметка уровня ВБ водохранилища – 31,85 мБС (метры Балтийской системы) при отметке НПУ - нормального подпорного уровня – 32,75 мБС. Приток составил 105 м³/с, сбросной расход в НБ – 102 м³/с [6].

На перемычке между бассейнами на рис.5 отчетливо выражены соединительная протока между реками Кубань и Белая, протока реки Белая в Тшикское водохранилище, выносная дельта реки Белая, заиление эстуария реки Пшиш и элементы восстановления ее русла. Эти детали были проработаны при анализе, приведенном в работе Курбатовой И.Е. [4] по данным спутника высокого разрешения WorldView-2. Полученные в настоящей работе объекты также отличаются высокой детализацией и могут быть использованы при предварительном анализе морфометрических характеристик акватории, для определения затрат на заказ снимков более высокого разрешения. Сравнение снимков позволило показать области водохранилища, которые обмелели летом, они выделены розовым цветом на зеркале бассейна. Более детальная обработка позволит более точно вычислить их площади при наполнения и сработке водохранилищ, для различных гидрометеорологических условий и угрозе чрезвычайных ситуаций. Приведенные примеры могут быть также использованы при организации спутникового мониторинга в периоды возможных паводков, наполнения и сработки водохранилищ, а также позволят уточнить информацию о развитии процессов заиления, изменении морфометрических характеристик, что способствует повышению качества прогнозирования состояния водоема.

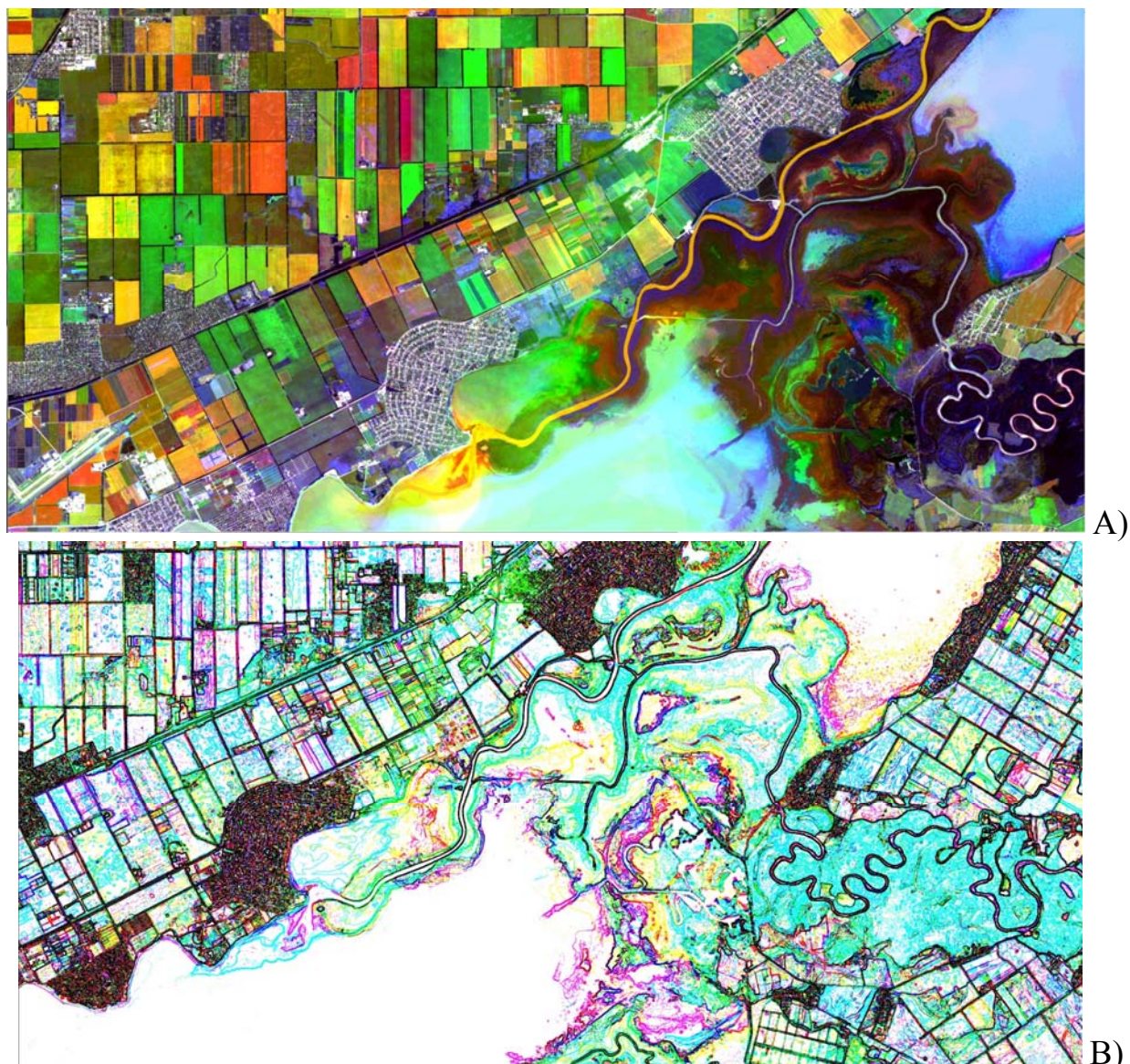


Рис. 5. Псевдоцветные композитные изображения по данным Landsat 8 OLI PAN от 23 июля, 24 августа 2013г. и 20 марта 2015 г.:
А) Отконтрастированные снимки, В) После применения операции градиентов

Литература

1. Курбатова И.Е. Геоэкологический мониторинг Краснодарского водохранилища: системный подход к организации и информационному обеспечению // Материалы II Международной научно-практической конференции «Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий». 2013. С.126-136.
2. Курбатова И.Е. Использование данных космического мониторинга для оценки экологического состояния крупных речных водосборов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т.7. №2. С.157-166.
3. Курбатова И.Е. Космический мониторинг негативных ситуаций в прибрежных зонах крупных водоемов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. №2. С.52-59.
4. Неупокоев В.А. Краснодарское водохранилище и нижележащие территории. Центр экологических и гидрометеорологических работ «Экология-Гидрометеорология». 2014. Электронный ресурс окружающая-среда.рф/?p=204.

5. Сычев В.И. Динамика прибрежной зоны, материкового и морского ледяного покрова по многозональным спутниковым данным в контексте климатических изменений // Материалы II Международной научно-практической конференции «Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий». 2013. С.205-208.

6. ФГУ "Краснодарское водохранилище". Водохозяйственная обстановка. 2015. Электронный ресурс <http://www.kbvu-fgu.ru/page1>.

АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ И УРЕАЗЫ В ПОЧВАХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕИ

И.П. Тах, А.Х. Агиров

*Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения
«Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Адыгея»
г. Майкоп, Россия*

E-mail: irina_tah@mail.ru

Из многочисленных показателей биологической активности почвы большое значение имеют почвенные ферменты. Изучением ферментативной активности почв занималось большое количество исследователей (Купревич, Щербакова, 1966; Галстян, 1974; Хазиев, 1976, 1982; Ross, 1970; Berns, 1977; Kiss and other, 1986; Kuperman, Carreiro, 1997; Vestberg and other, 2001). Их исследованиями установлены закономерности распределения организмов и их метаболитов в зависимости от свойств почв и почвенных процессов, что послужило теоретической базой для их применения в диагностике и биомониторинге почв [1, 4, 10, 13, 20-22].

Представляет интерес исследование ферментативной активности почв, сформированных в условиях Северо-Западного Кавказа, т.к. многообразие типов почв Адыгеи позволит значительно расширить представление о биохимической сущности процессов почвообразования и формирования почвенного плодородия.

Цель исследования: изучение активности каталазы и уреазы различных типов почв степной зоны кубанского варианта поясности Адыгеи (по типизации Соколова, Темботова, 1989) [15]. В комплексе с активностью уреазы и каталазы определялись содержание гумуса, гигроскопическая влажность и реакция почвенной среды.

Краткая характеристика района исследования. Исследуемые почвы относятся к южно-европейской фации, выделяются следующие 5 типов почв (чернозем, луговая, лугово-черноземная, аллювиальная луговая, лугово-лесная) и 7 подтипов (выщелоченный чернозем и их разновидности - слитые и уплотненные, влажно-луговая, луговая, лугово-черноземная, луговато-

черноземная, лугово-лесная, аллювиальная луговая насыщенная), распространенные в степной зоне кубанского варианта поясности Адыгеи.

Климат умеренно континентальный мягкий. Среднегодовая температура в степной зоне составляет +8,1 - +10,8⁰С. Количество атмосферных осадков в теплый период составляет до 378 мм (апрель-октябрь). Коэффициент увлажнения по Селянинову для третьего агроклиматического района (Теучежский, Тахтамукайский и Красногвардейский р-ны), характеризующий влагообеспеченность данной территории, составляет 0,3-0,4 (умеренно-влажный климат).

Почвенный покров тесно увязан с рельефом территории республики Адыгея. Равнинная часть занята черноземами выщелоченными сверхмощными, уплотненными и слитыми почвами. В долинах на повышенной части (надпойменных террасах) сформировались луговато – черноземные, более пониженные элементы рельефа заняты лугово – черноземными почвами, а в прирусловой части рек сформировались аллювиальные луговые почвы. Значительную площадь степной зоны кубанского варианта поясности, практически полностью распаханы и используются под зерновые и яровые культуры.

Почвообразующие породы Закубанской наклонной равнины представлены на степной равнине четвертичными и послечетвертичными делювиальными глинами, а в поймах рек - современными аллювиальными отложениями.

Фитоценозы несколько варьируют по видовому составу, встречаются луговые, дерновинно-злаковые и корневищно-злаковые. В составе травостоя господствуют плотно-дерновинные злаки (ковыль длинолистный, овсяница бороздчатая). На участках с более влажными почвами в травостой входят короткорневищные злаки (мятлик узколистый, мятлик луговой, костер безостый), а на залежах – пырей ползучий. Разнотравье представлено видами: лабазник шестилепестный, шалфей мутовчатый, подмаренник настоящий. Весьма характерны элементы лугового сообщества (клевер ползучий, клевер луговой, одуванчик лекарственный, мятлик однолетний, мятлик луговой, подорожник большой и подорожник ланцетнолистный), лугово-степного (вьюнок полевой, ячмень заячий), лугово-галофитного (скрытница колючая, свиной палец). На лугах с влажной почвой отмечаются низкорослые мезофиты – полевица побегообразующая, мятлик однолетний, подорожник большой, спорыш, лапчатка ползучая, лютик ползучий, одуванчик лекарственный, клевер ползучий.

Материал и методы исследования. Исследованию были подвергнуты различные подтипы почв, представленные 9 разновидностями, распространенные в степной зоне кубанского варианта поясности Адыгеи. Степные ландшафты на равнинной территории Теучежского, Тахтамукайского и Красногвардейского районов занимают северо-западную часть республики в пределах от 10 до 90 м над ур. м. Высотные пределы точек

отбора проб - 14 - 68 м. над у. м., координаты - N 43°18'23" - 45°28'31", E 39°01'08" - 43°14'48" (рис.1).

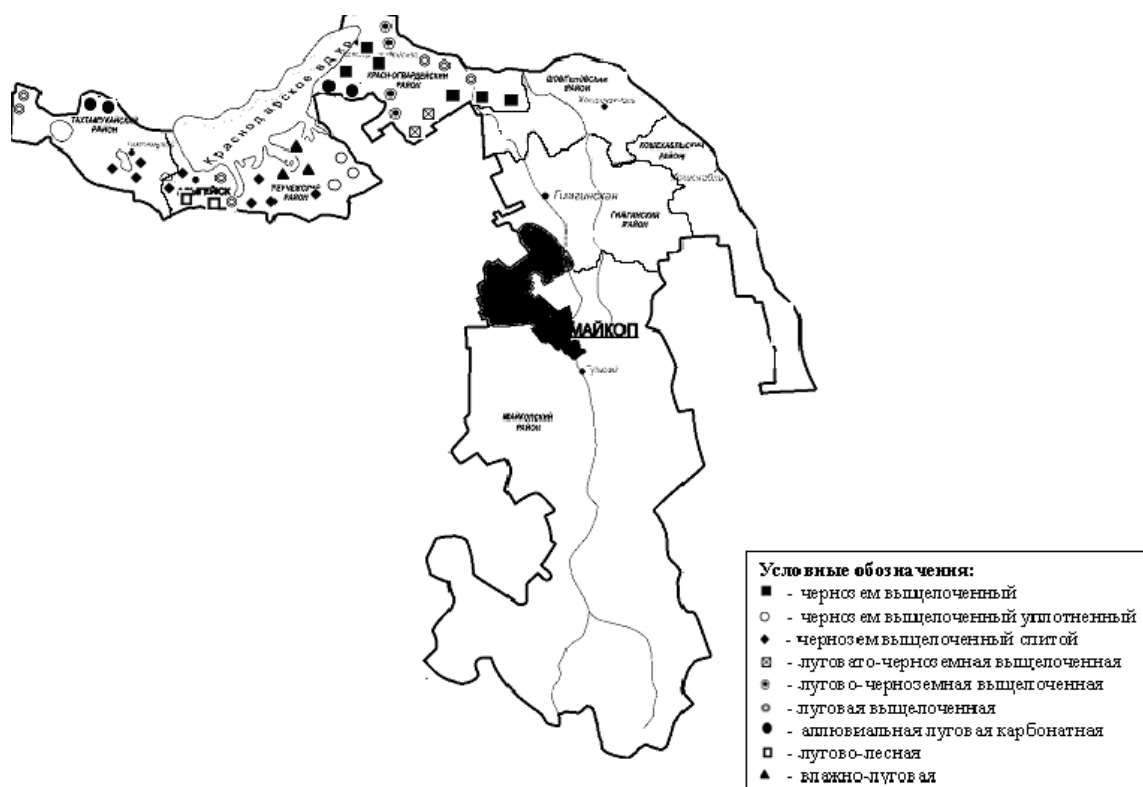


Рис. 1. Места отбора почвенных образцов

При выполнении работы сбор и анализ почвенных образцов на ферментативную активность осуществляли по общепринятым в почвоведении методам [5, 10, 21]. Пробы почв отбирались с поверхностного слоя (0-10 см) в естественных биоценозах в летний период 2010 г., методом конверта. При определении места закладки почвенных образцов использовалась почвенная карта [14].

В лабораторных условиях почвы подвергались тщательной очистке, сушке до воздушно-сухого состояния, измельчению. Контролем служили стерилизованные почвы ($t=180^{\circ}\text{C}$, 3 час.). Всего проанализировано 78 почвенных образцов. Повторность в опыте трехкратная.

О ферментативной активности почв судили по активности ферментов разных классов: гидролитических (уреаза) и окислительно-восстановительных (каталаза), которые оценивались по шкале Гапонюк Э. И., Малахова С.В. [5].

Активность уреазы определяли колориметрическим методом по А.Ш. Галстяну, каталаза – газометрическим методом. Содержание гумуса - по Тюрину в модификации Никитина [10], рН водной вытяжки – потенциометрическим [7], гигроскопическая влага – методом термостатирования [8]. Статистическая обработка полученных данных осуществлена с помощью программы «Excel» и «Statistica-7».

Результаты и их обсуждение. В таблице представлен исследуемый ряд кубанского варианта пояности, который разделен на три группы – почвы,

развивающиеся в автоморфных, полугидроморфных и гидроморфных условиях.

Содержание гумуса в рассматриваемых почвах среднее (в основном) и высокое, диапазон значения составляет 2,88-9,27%. Поверхностный слой гумусирован в большей степени у чернозема выщелоченного (пределы 5,89-9,25%), луговой выщелоченной (пределы 4,67-9,27%) и аллювиальной луговой насыщенной почв (пределы 5,21-7,11%). Гигроскопическая влажность колеблется от 2,73% до 11,41%. Коэффициенты вариации гигроскопической влажности и содержания гумуса составляют 1,91-40,63% и 2,40-31,54% соответственно. Изученные почвы характеризуются как нейтральной реакцией среды (рН 6,28-7,32), так и слабощелочными условиями (7,58-7,64). Вариабельность рН почвенного раствора не превышает 5%.

Таблица. Средние значения некоторых характеристик почв степной зоны кубанского варианта поясности (в пределах Адыгеи)

Почва	рН	Влажность, %	Гумус, %	Уреазы, мг NH ₃ /10г/24 час	Каталаза, мл O ₂ /1г/1мин	Суммарная относительная ФА, %
Автоморфные почвы						
Чернозем выщелоченный	6,28±0,19	5,94±0,63	7,07±0,31	44,66±5,97	6,21±0,42	55
Чернозем выщелоченный уплотненный	6,57±0,30	8,37±0,80	3,96±0,96	42,43±3,18	5,00±0,50	48
Чернозем выщелоченный слитой	6,67±0,25	6,24±0,71	5,89±0,80	39,12±4,17	5,68±0,46	49
Полугидроморфные почвы						
Луговато-черноземная выщелоченная	6,64±0,08	8,32±1,22	5,46±0,38	93,93±8,07	9,99±0,61	100
Лугово-черноземная выщелоченная	7,28±0,15	4,72±0,68	5,26±0,59	59,92±11,18	8,41±0,65	74
Гидроморфные почвы						
Луговая выщелоченная	7,32±0,26	6,32±0,35	6,09±0,45	57,04±5,04	8,39±0,73	72
Аллювиальная луговая насыщенная	7,64±0,19	5,78±0,50	6,27±0,36	34,59±4,74	5,98±0,56	48
Влажно-луговая выщелоченная	7,58±0,04	7,37±0,10	5,66±0,10	56,19±3,88	5,69±0,43	58
Лугово-лесная выщелоченная	7,09±0,30	6,86±0,25	5,47±0,44	71,26±4,58	9,79±0,84	87

Сравнительный анализ полученных данных с показателями шкалы Гапонюк, Малахова [5] выявил слабый, средний и высокий уровень

активности каталазы в поверхностном слое изученного ряда почв. Активность почвенного фермента каталазы варьирует от 2,6 мл O_2 до 13,5 мл O_2 . Максимальные средние значения отмечены у гидроморфных и полугидроморфных почв: лугово-черноземной выщелоченной и луговой выщелоченной (пределы 4,2-13,5 мл O_2), луговато-черноземной выщелоченной и лугово-лесной выщелоченной (пределы 7,2-12,8 мл O_2). Сравнительный анализ выявил различия активности каталазы луговато-черноземной выщелоченной почве достоверно ($t=2,17-2,87$) выше следующих почв: черноземов выщелоченных уплотненных и слитых, а также гидроморфных почв (влажно-луговой и аллювиальной луговой насыщенной) (за исключением чернозема выщелоченного $t=1,81$). Отмечено достоверно отличаются от аналогичных сравниваемых почв по отношению к чернозему выщелоченному уплотненному ($t=2,04$) и влажно-луговой ($t=2,08$).

Активность уреазы колеблется в широких пределах 6,65-120,08 мг NH_3 , характеризуется как слабая, средняя, высокая (в основном) и очень высокая. Почвы, проявляющие высокую активность уреазы, можно разделить на две группы. В одну группу объединены почвы с достаточно сходными средними величинами активности фермента (пределы 8,19-78,65 мг NH_3), которые недостоверно отличаются от таковых для почв со средней активностью фермента ($t \leq 0,56$): чернозем выщелоченный, уплотненного и слитого черноземов, а также аллювиальная луговая насыщенная почва. Другую группу составляют лугово-лесная, лугово-черноземная выщелоченная, луговая и влажно-луговая выщелоченная почвы (пределы 6,65-101,48 мг NH_3), средние показатели которых статистически достоверно ($t=2,0-2,12$) превосходят таковые для почв со средней активностью фермента.

Луговато-черноземная карбонатная почва характеризуется очень высоким уровнем уреазной активности (пределы 69,58-120,08 мг NH_3) и статистически достоверно ($t=2,00-2,84$) превосходит активность исследованных почв (за исключением чернозема выщелоченного $t=1,71$).

Вариабельность ферментативной активности исследованных типов и подтипов почв колеблется в интервале: уреазы от 9,77% (влажно-луговой) до 52,79% (лугово-черноземной выщелоченной) и каталаза 10,67-32,7% (от влажно-луговой до луговой выщелоченной почвы).

По показателям суммарной относительной ферментативной активности, полученным в результате суммирования данных, пересчитанных в относительных величинах (процентах) [11], наибольшими величинами активности из изученного ряда почв характеризуются луговато-черноземная выщелоченная (100%) и лугово-лесная почва (87%), обладающие средним содержанием органического вещества (табл.). Минимальную активность проявляют черноземы (48-55%) и аллювиальная луговая насыщенная (48%) почва.

Согласно данным корреляционного анализа выявлена зависимость между активностью ферментами исследуемых почв, содержания гумуса, гигроскопической влажности и рН почвенной среды. Выявлена средняя и сильная положительная корреляционная связи с содержанием гумуса

активности каталазы – $r=0,34-0,84$ и уреазы ($0,55-0,94$). Аналогичная сопряженная связь активности ферментов отмечена с влажностью (каталазы – $r=0,15-0,92$, уреазы $r=0,22-0,91$ и гумус $r=0,24-0,98$). Максимальные коэффициенты корреляции между изученными показателями отмечены для лугово-лесной почвы ($0,78-0,94$). Сильная отрицательная корреляция между ферментами и влажностью четко прослеживается в луговато-черноземной выщелоченной (для уреазы $r=-0,92$ и каталазы $r=-0,65$).

Проведенный корреляционный анализ между влажностью и гумусом характеризуется положительной коррелированностью ($r=0,24-0,98$) с максимальной связью для чернозема выщелоченного, луговой выщелоченной, аллювиальной луговой насыщенной и лугово-лесной почвы (за исключением луговато-черноземной выщелоченной – $r=-0,97$). Между активностью ферментов и рН наблюдается как положительная, так и отрицательная корреляционные связи.

Отмечается слабая, средняя и сильная корреляционные связи активности уреазы и каталазы между собой. Анализ показал, что черноземы характеризуются как слабо положительной, так и слабо отрицательной зависимостью. В остальных типах почв отмечается тесная зависимость и колеблется от $0,35$ до $0,76$.

Таким образом, исследованные нами почвы степной зоны в пределах кубанского варианта поясности Адыгеи со средней сходимости по видовому составу соответствующих фитоценозов характеризуются неоднородностью по активности важнейших ферментов – уреазы и каталазы, несмотря на оптимальных условиях среды (рН, содержание гумуса, гигроскопической влажности).

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что по совокупности изученных свойств наибольшей ферментативной активностью характеризуется луговато-черноземная выщелоченная, за которой следует лугово-лесная почва. Уреазная активность исследованных почв в среднем характеризуется как высокая, тогда как активность каталазы средняя, что свидетельствует о преобладании гидролитических процессов над окислительно-восстановительными.

Сравнительный анализ выявил достоверные различия в активности ферментов лугово-лесной и луговато-черноземной выщелоченной, которые превосходят следующие почвы: аллювиальные луговые насыщенные, влажно-луговые, уплотненные и слитые черноземы.

Установленные тесные корреляционные связи уровней активности изученных ферментов с генетически устойчивыми характеристиками почв делают возможным использованием ферментативной активности в диагностических и почвенно-экологических целях.

Литература

1. Бабаева М.А., Зенова Н.К. Биология почв. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 336 с.
2. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Методология исследования биологической активности почв на примере Северного Кавказа // Научная мысль Кавказа. Изд-во СКНЦВШ. 1999. №1. С.32-37.

3. Вальков В.Ф., Колесников С.И., Казеев К.Ш. Почвы юга России: классификация и диагностика. Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ. 2002. 168 с.
4. Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван: Айастан. 1974. - 275 с.
5. Гапонюк Э.И., Малахов С.В. Комплексная система показателей экологического мониторинга почв // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах: Труды 4 Всесоюзного совещания. Обнинск, июнь 1983. Л.: Гидрометеиздат, 1985. С. 3-10.
6. ГОСТ 17.4.4.02-84. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Госком СССР по стандартам, 1985.
7. ГОСТ 26483-85. Приготовление солевой вытяжки и определение её рН по методу ЦИНАО. М.: Госком СССР по стандартам, 1985.
8. Добровольский В.В. Практикум по географии почв. М.: Владос, 2001. - 143с.
9. Иванова Е.Н. Классификация почв СССР. – М.: Наука, 1976. – 225 с.
10. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследования. – Ростов-на/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 2003. - 204 с.
11. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биология почв Юга России. – Ростов н/Д: Изд-во ЦВВР. – 2004. – 350 с.
12. Климат Ростовской области и Краснодарского края. – Ростов-н/Д: Ростоблиздат. 1938. - 139с.
13. Купревич В.Ф., Щербакова Т.А. Почвенная энзимология. Минск: Наука и техника. 1966. - 275 с.
14. Почвенно-экологический атлас Республики Адыгея. /Южно-российский региональный кадастровый центр «Земля. – Майкоп.: ГУРИПП «Адыгея» 1999. - 35 с.
15. Соколов В.Е., Темботов А.К. Позвоночные Кавказа. Млекопитающие. Насекомоядные. – М. 1989. – 547 с.
16. Тах И.П. Оценка ферментативной активности почв естественных биоценозов кубанской лесостепной зоны. //Материалы международной конференции «Горные экосистемы и их компоненты». - Москва.: Т-во научных изданий КМК, 2009. С. 61-65.
17. Тах И.П., Агиров А.Х. Ферментативная активность различных типов почв лесостепного пояса в условиях Западного Кавказа. // Новые технологии. 2009. Вып. 4. – С. 63-67.
18. Тульская Е.М., Звягнецев Д.Г. Сравнительное изучение каталазной и каталитической активности верхних горизонтов почв //Почвоведение. 1979. № 10. – С. 92-97.
19. Улигова Т.С., Хежева Ф.В., Тах И.П. Ферментативная активность выщелоченных черноземов в условиях Северо-Западного и Центрального Кавказа //Вестник Майкопского государственного технологического университета. 2010. Вып. 3. – С. 31-37.
20. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. – М.: Наука, 1982. – 203 с.
21. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. – М. 1976. - 180 с.
22. Щербакова Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества. – Минск. 1983. - 222 с.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОГО УРОВНЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В РЕСПУБЛИКЕ АДЫГЕЯ

Р.А. Тороян

*Майкопский государственный технологический университет
г. Майкоп, Россия*

E-mail: rubenet@mail.ru

Проблема физической безопасности населения по отношению к воздействию источников физических факторов неионизирующей природы возрастает с каждым годом в связи ростом числа объектов – источников физических факторов: новых видов связи, компьютеров и т.д. Вычислительная техника становится все более значимым источником воздействия ЭМП на население, и в том числе на детей и подростков. Санитарно-эпидемиологический надзор за источниками потенциально опасных физических факторов неионизирующей природы осуществляется на предприятиях, на территории вокруг промышленных объектов, на территории населенных мест, в жилых и общественных зданиях, в учебных заведениях, детских и лечебно-профилактических учреждениях.

Обстановка по их воздействию продолжала оставаться неблагоприятной, что наиболее выражено в условиях производства.

Из общего числа обследованных объектов в ходе осуществления надзорных мероприятий, совместных проверок с прокуратурой Республики Адыгея и производственного контроля не отвечало санитарно-гигиеническим требованиям по уровню шума- 37,2%, вибрации – 2,6 %, микроклимату – 3,8%, освещенности - 2,8 %.

Таблица 1.

Количество замеров физических факторов за 2012-2014 гг

год	шум	вибрация	микроклимат	освещенность	ЭМИ	прочее
2012	664	491	7592	4920	5180	8749
2013	749	467	5795	3893	2604	8921
2014	917	551	7238	5016	4284	9008

Наиболее выраженное неблагоприятное воздействие физических факторов, прежде всего шума, на организм работающих остается в деревообрабатывающей, строительной, полиграфической, пищевой промышленности и сельском хозяйстве (ЗАО «Кужорский кирпичный завод», ОАО «Майкопский машиностроительный завод», ООО «Качество», ООО «Агрокомплекс Шовгеновский», СПХ КФХ «Животновод», ООО «Сергеевское КФК», ЗАО КСМ «Энемский», ЗАО «Агротранс», ООО «ЭКОПАК», ООО «Майкоппромэнерго») не отвечают санитарно-гигиеническим требованиям.

Главными причинами превышения допустимого уровня физических факторов на рабочих местах по-прежнему являются: износ машин,

несовершенство технологических процессов и оборудования, а также недостаточная ответственность работодателей и руководителей производств за состоянием условий и охраны труда.

Определенный вклад в ухудшение санитарно-эпидемиологической обстановки на промышленных предприятиях внесли ликвидация службы контроля и ведомственных санитарно-промышленных лабораторий, невыполнение планово-предупредительных работ, отсутствие программ производственного контроля карт аттестации на предприятиях.

Таблица 2.

Исследования физических факторов

Показатель	2012 г.	2013 г.	2014 г.
Доля рабочих мест, не соответствующих санитарным нормам на промышленных предприятиях по шуму, %	48,13	62,0	20,7
Доля рабочих мест, не соответствующих санитарным нормам на промышленных предприятиях по вибрации, %	0	2,5	1,8
Доля рабочих мест, не соответствующих санитарным нормам на промышленных предприятиях по микроклимату, %	15,6	12,2	2,3
Доля рабочих мест, не соответствующих санитарным нормам на промышленных предприятиях по электромагнитным полям, %	0	0	0
Доля рабочих мест, не соответствующих санитарным нормам на промышленных предприятиях по освещенности, %	4,99	3,2	2,76
Доля рабочих мест, не соответствующих санитарным нормам на коммунальных объектах по шуму, %	6,0	10,0	0,76
Доля рабочих мест, не соответствующих санитарным нормам на коммунальных объектах по вибрации, %	0	0	0
Доля рабочих мест, не соответствующих санитарным нормам на коммунальных объектах по микроклимату, %	3,37	2,0	1,12
Доля рабочих мест, не соответствующих санитарным нормам на коммунальных объектах по электромагнитным полям, %	0	0	0
Доля рабочих мест, не соответствующих санитарным нормам на коммунальных объектах по освещенности, %	1,64	2,8	0,49

Относительное число рабочих мест, не отвечающих гигиеническим нормативам, по отдельным физическим факторам за отчетный год уменьшилось (шум, вибрация и т.д.) по республике. Это уменьшение было не только относительным, но и выраженным в абсолютных значениях, т.к. общее число рабочих мест также уменьшилось.

Таблица 3.

**Доля рабочих мест, не соответствующих гигиеническим нормативам по физическим факторам в 2012-2014гг., %
(от общего числа обследованных рабочих мест)**

год	шум	вибрация	микроклимат	освещенность	ЭМИ
2012	38,7	2,4	4,4	2,1	-
2013	39,0	1,7	2,26	1,4	-
2014	21,4	1,8	1,4	1,1	-

Санитарно-гигиеническая характеристика объектов используемых субъектами надзора при осуществлении деятельности

Показатель	2012г.	2013г.	2014г.
Доля объектов III группы, из общего числа объектов (всего), %	0,008	0,0	0,0
Доля объектов III группы, из общего числа объектов, коммунальные объекты, %	0,02	0,0	0,0
Доля объектов III группы, из общего числа объектов, промышленные объекты, %	0,0	0,0	0,0
Доля объектов III группы, из общего числа объектов, детские и подростковые учреждения, %	0,0	0,0	0,0
Доля объектов III группы, из общего числа объектов, производство пищевых продуктов, общественного питания и торговли пищевыми продуктами, %	0,0	0,0	0,0

Вычислительная техника становится все более значимым источником воздействия ЭМП на население и, в том числе на детей и подростков. Увеличение числа пользователей персональными компьютерами, интенсивное оснащение компьютерных классов учебных заведений ведет к необходимости санитарно-эпидемиологического контроля над ними.

В детских дошкольных и образовательных учреждениях из физических факторов контролируются главным образом: освещенность, микроклимат и электромагнитные поля. В течение 3 лет наблюдается снижение процента обследованных детских и подростковых учреждений, не отвечающих гигиеническим нормативам.

Наибольший удельный вес в структуре неблагоприятных в санитарно-гигиеническом отношении факторов в населенных пунктах занимает шум. Главным источником шумового загрязнения в Республике Адыгея являются транспортные средства – автомобили и железнодорожные поезда.

Так эквивалентный уровень шума от автотранспорта составляет в среднем 65 дБА (при норме 55 дБА), максимальный 68 дБА, что на 1 дБА больше по сравнению с 2013 годом и на 3 дБА по сравнению с 2012. Это связано с увеличением количества автотранспорта.

В последнее время так же актуальна проблема защиты населения от шума, создаваемого объектами, расположенными на первых этажах жилых зданий. К сожалению, при размещении таких объектов не рассматриваются вопросы шумозащиты (звукоизоляции). Одним из основных источников шума – технологическое оборудование пищевых объектов (сеть магазинов «Океан», «Магнит», «Централь», ООО «СтолСПЛИТ», ИП Женетль Р.А, ООО «Пластиктрейд») и наружные блоки сплит систем магазинов, аптек и административных офисов.

Не менее значимым источником акустического шума и вибрации воздействующего на население, являются различные внутридомовые источники, встроенные в эксплуатируемые жилые здания предприятий и

инженерно-технологическое оборудование (вентиляционное, холодильное оборудование, наружные блоки систем кондиционирования, лифты и т.д.). За 2014 год было рассмотрено 29 жалоб, превышение шума установлено на 2-7 дБА. Необходимо отметить, что основная масса измерений шума приходится на ночное время суток с 23-00 до 07-00 час. Это связано с тем, что в ночное время фоновые уровни шума значительно ниже дневных, поэтому в ночное время суток можно проводить достоверную гигиеническую оценку источника шума.

Таблица 5.

Структура заявлений граждан по физическим факторам за 2012-2014г. г.

Фактор	Шум		Вибрация		Микроклимат		Освещенность		ЭМП		Всего
	заявлений	уд.вес, %	заявлений	уд.вес, %	заявлений	уд.вес, %	заявлений	уд.вес, %	заявлений	уд.вес, %	
2012	21	2,9	4	0,6	20	2,8	12	1,7	17	2,4	723
2013	25	3,2	3	0,4	26	3,3	14	1,8	11	1,4	779
2014	29	7,6	2	0,5	12	3,2	9	2,3	18	4,7	380

Все более актуальной становится проблема электромагнитной безопасности населения, так как с каждым годом увеличивается в республике количество передающих радиотехнических объектов (далее - ПРТО). В 2014 году ФБУЗ « Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Адыгея » выдано 206 экспертных заключений на эксплуатацию таких объектов. Основная часть ПРТО – базовая станция (далее – БС) сотовой связи. Для обеспечения радиопокрытия территории республики БС сотовой связи должны устанавливаться в возвышенных точках и на небольшом расстоянии (около 1-2 км) друг от друга. Высотных зданий в г. Майкопе не так много, поэтому используются все относительно высокие здания, в том числе жилые, общественные, включая лечебно-профилактические учреждения и др. Это допускается действующими санитарными правилами и нормами, но вызывает необходимость чрезвычайно жесткого контроля за ПРТО как на стадии проектирования, так и при вводе в эксплуатацию и эксплуатации данных объектов. Следует иметь в виду, что, с точки зрения излучения, здание на котором установлены антенны базовых станций, является самым безопасным местом, поскольку излучение принципиально не распространяется вниз.

Как правило, базовые станции не создают уровней ЭМП, превышающих гигиенические нормативы. Поэтому наиболее значимыми в гигиеническом отношении продолжают оставаться радио- и телепередающие центры, а так же рабочие места, оснащенные ПЭВМ и оргтехникой.

На территории республики имеется 463 передающих радиотехнических объекта (телевизионных станций – 22, радиовещательных станций – 21, базовых станций сотовой и транкинговой связи – 420).

С учетом постоянного увеличения количества источников неионизирующих излучений в республике, их потенциального влияния на

работающих и население, основными задачами эффективного контроля следует считать:

1. Усиление контроля за соблюдением требований к параметрам физических факторов на промышленных предприятиях, пищевых, коммунальных объектах, детских и подростковых учреждениях, в том числе при использовании вычислительной техники.

2. Выявление и замена устаревшего оборудования промышленных и сельскохозяйственных предприятий с целью уменьшения риска возникновения профессиональных заболеваний, связанных с воздействием акустического шума и вибрации.

3. Упорядочение градостроительной ситуации в населенных пунктах, где расположены промышленные объекты и производства, требующие организации санитарно-защитных зон.

ПЕКТИНОСОДЕРЖАЩИЕ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ СТРУКТУРЫ

З.Н. Хатко

*Майкопский государственный технологический университет
г. Майкоп, Россия*

E-mail: znkhatko@mail.ru

В настоящее время изучению формирования высокотехнологичных структур функционального назначения уделяется пристальное внимание. Тем не менее, открытыми остаются вопросы, связанные с механизмами, ответственными за процессы образования структур, не достаточно исследованы способы контроля над движением таких структур, а также их способностью к изменениям в зависимости от различных факторов. Изучение данных вопросов в решении многих фундаментальных проблем является важным шагом в направлении практического использования структур в агропищевых и биомедицинских отраслях.

Цель работы - разработка высокотехнологичных структур на основе пленкообразования пектиновых веществ с биологически активными и лекарственными веществами.

В качестве объектов исследования использовались яблочный и свекловичный пектины, плодовые и ягодные порошки, коллаген, фурацилин, хлоргексидин, полиферментный препарат, тамерит.

Установлено, что перечисленные вещества с пектином образуют пленку, отличающуюся по цвету (от светло-серого до темно-коричневого), текстуре (однородные, пористые или слоистые), поверхности (матовые, глянцевые). Показано, что на эффективность пленкообразования влияют: форма, концентрация, гранулометрический состав, водопоглотительная способность, твердость частиц,

количество и состав балластных веществ; соотношение и формы связывания веществ.

Установлено, что при температуре сушки 40 и 60 °С пектиносодержащие пленки из свекловичного пектина получились хрупкими, легко разламываемыми, тонкими, а при температуре 50 °С пленки из свекловичного и яблочного пектина высыхают быстрее, чем при 40 и 60 °С, оставаясь при этом целыми и плотными, что позволяет считать ее оптимальной. Время высыхания более очищенных пектиновых растворов ниже по сравнению с менее очищенными.

Показано, что пектиновая пленка в герметичной упаковке, обработанная в УФ-поле в течение 15 мин. достигает стерильности и сохраняет ее в течение не менее 15 месяцев независимо от вида пектина и степени чистоты.

Сравнительный анализ микроструктуры пектиновых пленок, полученной на сканирующем (растровом) электронном микроскопе XL-30, показывает, что имеются сходные и отличительные морфологические признаки строения структур исследуемых объектов.

Изображения характеризуют топологию поверхности пленок: пектиновые пленки, полученные с дистиллированной водой, фурацилином и хлоргексидином - практически гладкие, а с тамеритом и полиферментным препаратом – имеют гладкие и зернистые участки.

Микроструктура срезов пленок показывает, что каждый вид пленки имеет свой отличительный «рисунок», обусловленный механизмом взаимодействия комбинируемого с пектином вещества. Кроме того, на изображениях срезов пектиновых пленок с антисептиками отмечены микротрещины.

Таким образом, особенности пленкообразования обусловлены физико-химическими свойствами пектиновых и комбинируемых с ним веществ, механизмом взаимодействия, количественным соотношением и другими рельефообразующими факторами.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ДВУХЭЛЕКТРОННЫХ К-ВАКАНСИЙ В АТОМАХ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ. ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ

А.Х. Хоконов^{1,2}, В.В. Кузминов², В.Л. Пантелеев¹, Л.А. Хамукова¹

¹ *Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М.Бербекова*

² *Баксанская нейтринная обсерватория ИЯИ РАН*

г. Нальчик, Россия

E-mail: azkh@mail.ru

Методом Хартри-Фока рассчитаны энергии одно- и двухэлектронных вакансий в атомах инертных газов. Проведено сравнение результатов с экспериментом по измерению энергий пиков вылета в ксеноновом

пропорциональном счетчике при его облучении характеристическим рентгеновским излучением йода.

Введение. Взаимодействие фотонов с атомами при энергиях превышающих двойную энергию фотоионизации, наряду с одноэлектронным наблюдается многоэлектронный фотоэффект [1], который для тяжелых атомов идет с заметными вероятностями с внешних оболочек [2]. Нами проведен эксперимент по облучению газонаполненного пропорционального счетчика характеристическим рентгеновским излучением K_{α} -линии йода для выяснения возможности определения энергии двухэлектронных вакансий по пику вылета фотонов, образуемых при переходе электронов атомов рабочего газа с $2p$ - на $1s$ -орбиталь. Вычисление энергий одно- и двухэлектронных вакансий основывается на решении системы связанных интегро-дифференциальных уравнений для одночастичных функций $\varphi_i(\vec{x})$. В атомных единицах имеем [1]

$$\left(-\frac{\Delta}{2} - \frac{Z}{r}\right)\varphi_i(x) + \sum_{k=1}^N \int \frac{dx'}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \varphi_k^*(x') [\varphi_k(x')\varphi_i(x) - \varphi_k(x)\varphi_i(x')] = \varepsilon_i \varphi_i(x), \quad (1)$$

где Z - заряд ядра, $\mathbf{x} = (\vec{r}, s)$ – пространственная и спиновая координаты, ε_i – соответствующие собственные энергии. Для упрощения применения теории возмущений удобно ввести в качестве «вакуума» основное состояние. В этом подходе переход электрона в возбужденное состояние рассматривается как образование электрон-дырочной пары, при этом волновая функция вакансии $\tilde{\varphi}_{\varepsilon}(\vec{r})$, соответствующей отсутствию электрона на i -м уровне, подчиняется уравнению [2]

$$\left(-\frac{\Delta}{2} - \frac{Z}{r}\right)\tilde{\varphi}_{\varepsilon}(x) + \sum_{\substack{k \leq F \\ k \neq i}}^N \int \frac{dx'}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \varphi_k^*(x') [\varphi_k(x')\tilde{\varphi}_{\varepsilon}(x) - \varphi_k(x)\tilde{\varphi}_{\varepsilon}(x')] = \varepsilon \tilde{\varphi}_{\varepsilon}(x) \quad (2)$$

В качестве пробных функций мы берем параметризуемые эффективным зарядом водородоподобные функции, получаемые в результате минимизации Хартри-Фоковской энергии системы. Поправки к энергии одноэлектронной вакансии находятся путем суммирования диаграмм, показанных на рис. 1.

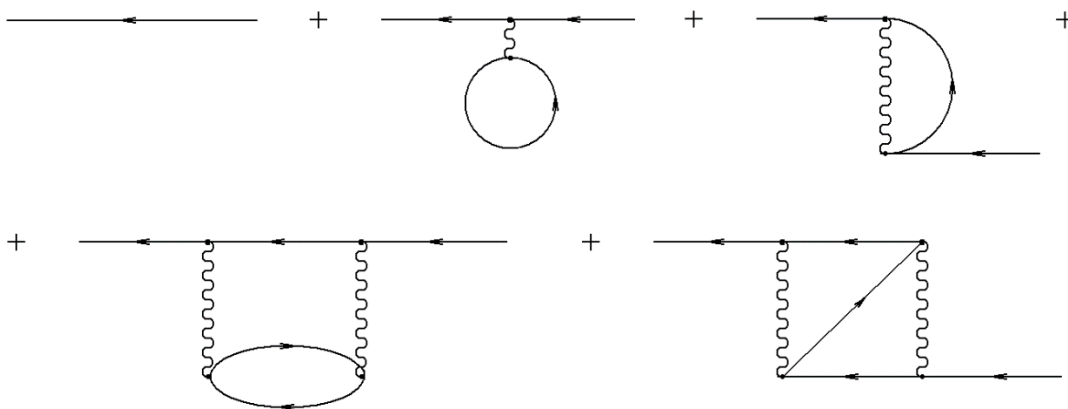


Рис. 1. Диаграммы, дающие вклад в функцию Грина дырки с учетом первых двух порядков по кулоновскому взаимодействию.

Первая диаграмма соответствует решению уравнения (2) для дырки, соответствующей вакансии в i -ой оболочке, вторая и третья соответствуют первому порядку теории возмущений по кулоновскому взаимодействию дырки с электрон-дырочной системой, четвертая и пятая учитывают поляризацию «вакуума» во втором порядке.

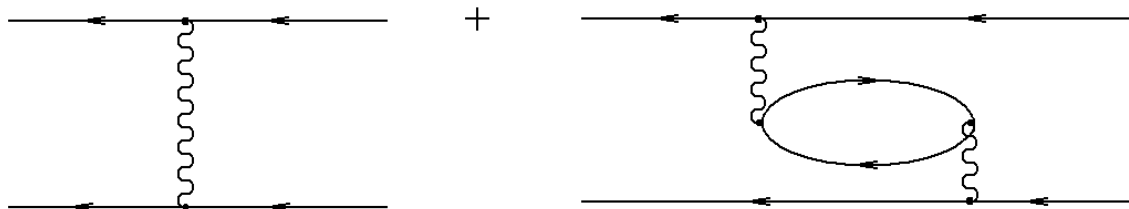


Рис. 2. Диаграммы, дающие вклад в двухчастичную дырочную функцию Грина.

Для вычисления энергии двухэлектронной вакансии находилась двухчастичная функция Грина путем суммирования диаграмм, включающих помимо поправок к одночастичным функциям Грина так же и связанные диаграммы, показанные на рис. 2. Они соответствуют кулоновскому взаимодействию между дырками в первом и втором порядке теории возмущений, причем вторая диаграмма описывает поляризацию электрон-дырочного «вакуума». Диаграмма двухэлектронной фотоионизации показана на рис. 3.

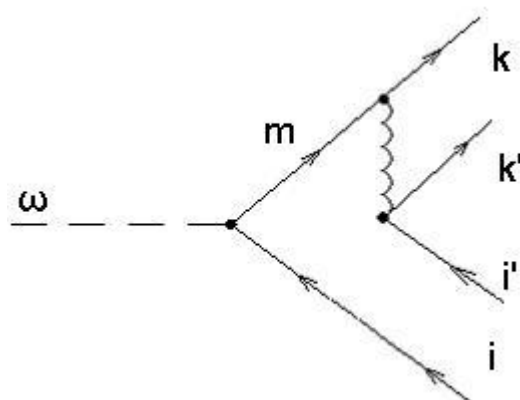


Рис. 3. Диаграмма процесса двухэлектронной фотоионизации атома в первом приближении по кулоновскому взаимодействию между электронами и вакансиями. Состояния i, k соответствуют дискретному и непрерывному спектру, m – промежуточное состояние электрона, волнистая линия соответствует кулоновскому взаимодействию.

При вычислении диаграмм вершинам, связанным кулоновским взаимодействием, сопоставляется матричный элемент

$$v_1 v_3 \langle V | v_2 v_4 \rangle = \sum_{k=0}^{\infty} c^k(m_1 l_1, m_2 l_2) c^k(m_3 l_3, m_4 l_4) \int R_{n_1 l_1} R_{n_3 l_3} R_{n_2 l_2} R_{n_4 l_4} \frac{r_{<}^k}{r_{<}^{k+1}} dr dr', \quad (3)$$

где $v_i = (n_i, l_i, m_i, s_i)$, R_{nl} – радиальные волновые функции, получаемые при решении уравнений Хартри-Фока в сферически-симметричном приближении, а коэффициенты c^k можно найти с помощью б $_{j}$ -символов из формулы Рака.

Результаты расчетов энергий атомов инертных газов с заполненными оболочками, а также одно- и двухэлектронными вакансиями .

В таблице приводятся результаты вычислений полной Хартри-Фоковской энергии электронных оболочек атомов инертных газов. В первых четырех столбцах приведены значения энергий для указанных конфигураций на K и L оболочках. В пятом столбце указана энергия, соответствующая характеристической линии $K_{\alpha 2}$. В шестом дается энергия края K -поглощения. В скобках находятся экспериментальные значения, взятые из [4]. В седьмом столбце приводится энергия, выделяющаяся при одновременном переходе двух электронов с $2s$ на незаполненную $1s$ -оболочку. В последнем столбце приводится пороговая энергия для двухэлектронной фотоионизации.

Из таблицы видно, что отклонение от эксперимента полученных нами значений не превышает 2% для аргона и криптона и составляет 9.8% для ксенона. Увеличение расхождения с экспериментальными данными с ростом Z связано с релятивистскими поправками, которые нами не учитываются. Величина этих поправок пропорциональна $(\alpha Z)^2$, где $\alpha=1/137$ – постоянная тонкой структуры.

Таблица. Результаты расчетов энергий K - и $2K$ -вакансий для атомов инертных газов.

	E				E(K_{α})	I $_K$	E($2K_{\alpha}$)	I $_{2K}$
	$1s^2 2s^2$	$1s^1 2s^2$	$1s^2 2s^1$	$1s^0 2s^2$				
Ar	14.32	11.05	13.98	7.70	2.93 (2.96)	3.26 (3.2)	5.93	6.62
Kr	76.48	62.41	74.88	47.65	12.47 (12.6)	14.07 (14.32)	25.6	28.84
Xe	202.89	164.52	198.53	130.87	34.02 (29.46)	38.38 (34.59)	57.3	72.02

Примечание: все энергии приводятся в кэВ, в скобках указаны табличные значения.

Криптоновый пропорциональный счетчик для измерения энергий пиков вылета при регистрации характеристического рентгеновского излучения.

Эксперимент проводился на низкофоновом пропорциональном счетчике СРПО. Рабочий газ был очищен от β – активного изотопа ^{85}Kr техногенного происхождения. Использовалась свинцовая защита толщиной 5 см, позволяющая добиться высокого энергетического разрешения при низкой активности $\sim 10^4 - 10^5$ Бк возбуждающего флуоресценцию источника ^{106}Cd ($E_{\gamma} = 88 \text{ КэВ}$). В качестве мишени для генерации характеристического рентгеновского излучения использовался йод, помещенный в защитный свинцовый кожух с коллиматором, направленным на входное окно счетчика. Схема установки показана на рис. 4

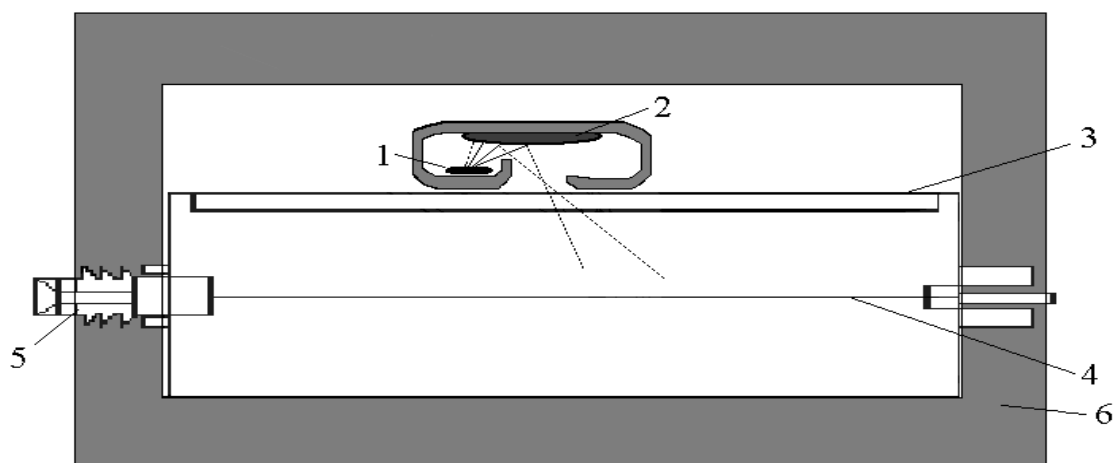


Рис. 4. Схема низкофоновой установки для снятия спектров характеристического излучения йода с помощью криптонового пропорционального счетчика СРПО: 1–радионуклид ^{109}Cd , 2– йодовая мишень, служащая источником характеристического рентгеновского излучения, 3 – бериллиевое окно, 4 – анодная нить из нихрома, 5 – вентиль с сильфоном для заполнения счетчика газом, 6 – свинцовая защита.

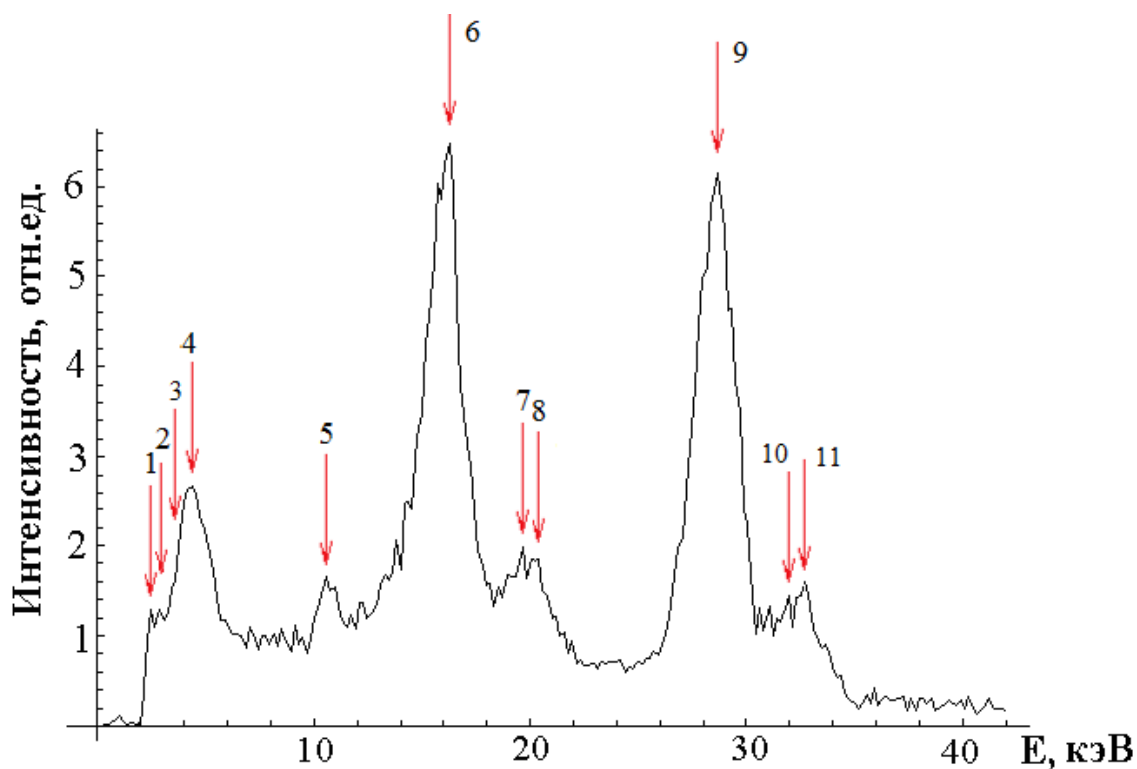


Рис. 5. Спектр характеристического излучения йода. Стрелкам соответствуют энергии квантов: 1) $E(\text{Cd}, \text{L3-M4,5}) = 2.67 \text{ КэВ}$; 2) $E(\text{Cd}, \text{L2-M1}) = 2,96 \text{ КэВ}$; $E_{2\text{K}\alpha} = 3.01 \text{ КэВ}$; 3) $E(\text{Cd}, \text{L1-M3}) = 3,4 \text{ КэВ}$; 4) $E(\text{I}, \text{L1-M3}) = 4.32 \text{ КэВ}$; 5) $E(\text{Pb}, \text{L3-M4,5}) = 10.5 \text{ КэВ}$; 6) $E_{\text{K}\alpha}(\text{I}) - E_{\text{K}\alpha}(\text{Kr}) = 16.01 \text{ КэВ}$, 7) $E_{\text{K}\beta 1}(\text{I}) - E_{\text{K}\alpha}(\text{Kr}) = 19.69 \text{ КэВ}$; 8) $E_{\text{K}\beta 2}(\text{I}) - E_{\text{K}\alpha}(\text{Kr}) = 20.44 \text{ КэВ}$; 9) $E_{\text{K}\alpha}(\text{I}) = 28.61 \text{ КэВ}$; 10) $E_{\text{K}\beta 1}(\text{I}) = 32.29 \text{ КэВ}$; 11) $E_{\text{K}\beta 2}(\text{I}) = 33.04 \text{ КэВ}$

Высокое напряжение $U = 1600 \text{ В}$ подавалось на анодную нить счетчика с блока БНВ 30.01. Металлический корпус счетчика служил катодом. Полезный сигнал снимался через высоковольтный разъем. Для заполнения счетчика газом, в один из торцов СРПО-309 герметично впаян специальный вентиль. Сигнал с СРПО, через предусилитель, поступал на вход спектрометрического усилителя БУС 2-97. С выхода БУС сигнал одновременно подавался на вход АЦП и на вход осциллографа для визуального контроля формы и амплитуды импульса. Аналого-цифровой преобразователь (АМАЦП типа Вилкинсон) представляет собой модуль расширения, подключенный через РСІ-порт к компьютеру, осуществляющему сбор и обработку информации в режиме многоканального амплитудного анализатора с числом каналов, равным 1024.

Результаты эксперимента и выводы

Полученный в результате эксперимента спектр приведен на рис. 5.

Наряду с пиками полного поглощения $E_{K_\alpha}(I) = 28.61 \text{ КэВ}$, $E_{K_{\beta 1}}(I) = 32.29 \text{ КэВ}$, $E_{K_{\beta 2}}(I) = 33.04 \text{ КэВ}$ спектр содержит пики вылета, смещенные на величину энергии K_α -линии рабочего газа $E_{K_\alpha}(Kr) = 12.6 \text{ КэВ}$. В мягкой части спектра обнаруживаются L-линии кадмиевого источника, а также L-линия свинца, из которого изготовлен коллиматор. Двойной пик вылета должен был наблюдаться при энергии

$$E_{2K_\alpha} = E_{K_\alpha}(I) - E(Kr, 1s^0 2s^2 sp^6 \dots) + E(Kr, 1s^2 2s^2 sp^4 \dots) \quad (4)$$

Согласно расчетам $E(Kr, 1s^0 2s^2 sp^6 \dots) = 47.67 \text{ КэВ}$, а $E(Kr, 1s^2 2s^2 sp^4 \dots) = 73.25 \text{ КэВ}$, что дает для $E_{2K_\alpha} = 3.01 \text{ КэВ}$.

На экспериментальном спектре в соответствующем месте находится пик №2.

Оценить положение пика двойного вылета можно из соотношения

$$\tilde{E}_{2K_\alpha} = E_{K_\alpha}(I) - 2 E_{K_\alpha}(Kr) = 3.67 \text{ КэВ} \quad (5)$$

Разность $\Delta E = \tilde{E}_{2K_\alpha} - E_{2K_\alpha} = 670 \text{ эВ}$ можно интерпретировать как энергию взаимодействия двойной К-вакансии с электронной подсистемой. Энергетический сдвиг ΔE по порядку величины соответствует разрешению использованного нами пропорционального счетчика.

Литература

1. Kanter E. P., Dunford R. W., Krassig B. and Southworth S. H. Phys. Rev. Lett. V. 83, 1999, P.508
2. Амусья М.Я. Атомный фотоэффект. М.: Наука, 1987. 272 с.
3. Пантелеев В.Л., Хоконов А.Х. Известия РАН. 2012, том 76, № 13, С. 55.
4. Щорнак Г. ФЭЧАЯ, 1983, том 14, № 4, С. 335.

ОСОБЕННОСТИ САМООРГАНИЗОВАННОГО КРИТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ В МОДЕЛИ УПРУГОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЛОКОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

А.С. Черепанцев

Южный федеральный университет
г. Таганрог, Россия

E-mail: s6319a@mail.ru

Несмотря на то, что сейсмический режим представляет собой очень сложное явление, есть ряд базовых представлений, которые должны присутствовать в модели данного геофизического процесса:

1) землетрясение определяется очень медленным непрерывным процессом движения плит;

2) землетрясения представляет собой быстрый сдвиг границ плит по разлому, когда плита не может дальше выдержать напряжение;

3) можно выделить два временных масштаба, характерных для данного явления- первый накопление напряжений и второй, на много порядков меньший, определяющий длительность сброса напряжений.

Существует несколько подходов к моделированию сейсмического режима. Первый заключается в моделировании полностью геологической системы и затем путем ее однородного развития получения пространственно временной структуры.

Более современный и успешный подход заключается в рассмотрении динамики отдельных плит. Простейшая такая модель была предложена R.Burridge, L.Knopoff [1].

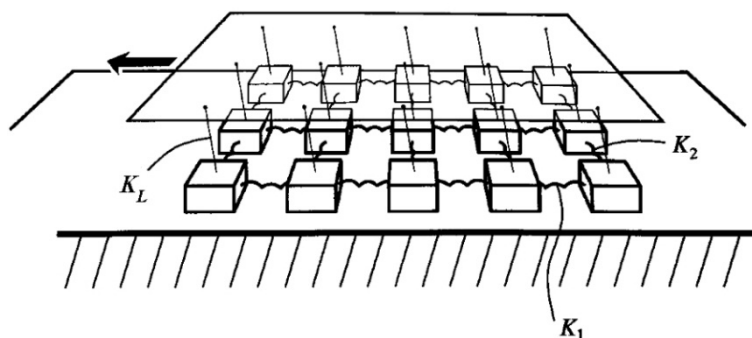


Рис.1. Двумерная система блоков с упругими связями

Данная модель представляет плиту двумерной решеткой в узлах которой расположены отдельные блоки, связанные с четырьмя соседними блоками упругой связью. Дополнительно каждый блок имеет упругую связь сдвигающейся с постоянной скоростью верхней плитой и неподвижной нижней плитой путем конечной величины трения покоя.

Динамика движения блока определяется медленно линейно растущей силой упругой связи с движущейся верхней плитой и силой трения покоя связи с нижней плитой. При достижении первой силы значения, превышающего пороговое значение силы трения покоя, блок проскальзывает в новое положение равновесия с нулевым значением действующей силы. Изменение положения такого блока изменяет силы, действующие на соседние с ним блоки за счет изменения упругих связей. Это может привести к нарушению положения равновесия и соскальзыванию, что в свою очередь изменяет равновесие и следующих соседей и т.д. Общее количество соскользнувших блоков, инициированных отдельным соскальзыванием, может в данной модели служить мерой величины землетрясения.

Олами, Федер, Кристиансен (OFC) [2] показали, что данная модель сводится к простейшей клеточной модели.

Пусть дана двумерная решетка блоковых элементов размером $N = L^2$. Поставим в соответствие каждой i -й ячейке некоторый динамический параметр E_i . В простейшем случае - внутренняя энергия, запасенная в i -й ячейке. Предположим, что в единицу времени все ячейки получают одну и ту же добавочную величину приращения энергии:

$$E_i \rightarrow E_i + \Delta E, \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

Такое изменение во времени энергии любой отдельной ячейки, в случае отсутствия влияния соседних ячеек, происходит до тех пор пока $E_i < E_{\max}$, где E_{\max} - некоторое пороговое максимальное значение упругой энергии, при превышении которого ячейка сбрасывает накопленную энергию, часть из которой передается соседним ячейкам:

$$E_i \geq E_{\max} \rightarrow \begin{cases} E_i \rightarrow 0 \\ E_{kk} \rightarrow E_{kk} + \alpha E_i \end{cases} \quad (2)$$

где индекс kk – определяет соседние ячейки.

После возникновения сброса энергии (2) часть внутренней энергии системы теряется. Если n_i - число соседних ячеек, то данная система будет являться диссипативной при выполнении условия

$$E_{dis} = (1 - n_i \alpha) E_i > 0 \quad (3)$$

Дальнейшая эволюция ячейки определяется (1), до тех пор, пока она снова не достигнет состояния (2).

В зависимости от состояния системы, достижение одной из ячеек критического значения может слабо отразиться на состоянии системы в целом, а может вызвать лавинный процесс сбросов энергии и переход всей системы в новое энергетическое состояние.

В модели рассмотрены открытые условия на границе. Вне зависимости от количества соседних элементов, при сбросе элемента (i, j) соседние элементы получают добавку величиной αE_{\max} . В данном случае общая потеря энергии системы (ее диссипативность) определяется не только потерей энергии при сбросе ($\alpha < 1/4$), но и оттоком энергии через границы.

В случае задания произвольного распределения начальных значений E_i , модель демонстрирует сходимость во времени к некоторому устойчивому состоянию, определяемому как состояние самоорганизованной критичности.

Переход в устойчивое состояние при этом осуществляется без всякого внешнего управляющего воздействия. Более того состояние к которому система приходит, имеет свойства аналогичные свойствам равновесной системы в критической точке фазового перехода.

На рис.2 представлены этапы эволюции OFC модели на двумерной квадратной решетке $L \times L$, $L=100$ и открытых граничных условий.

Возникновение самоорганизованного критического состояния в диссипативной модели OFC принято характеризовать степенным видом распределения сбросов по размерам. Размер определяет количество связанных (имеющих общую границу) ячеек, испытывающих сброс на отдельном временном шаге приращения энергии. Для значения $\alpha \approx 0.2$ функция распределения, имеет вид:

$$F(S) \sim S^{-b}, \quad (4)$$

с показателем $b \approx 1$ [3]. Также известно, что и в пространственной области распределение эпицентров (координат начального сброса, являющегося источником последующих соседних сбросов, формирующих масштабный сброс) на сетке имеют фрактальную организацию.

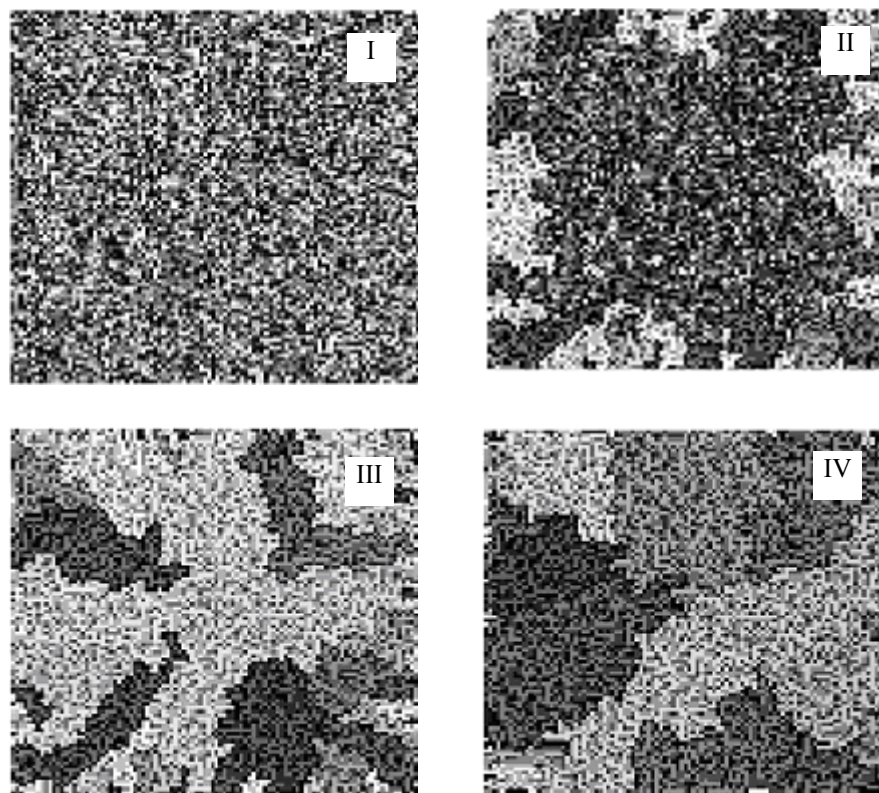


Рис.2. Эволюция OFC модели.

I- исходное распределение E_i . II- распределение E_i после $N=1000$ итераций III - распределение E_i после $N=6000$ итераций, IV- распределение E_i после $N=100000$ итераций

Исходя из того, что энергия сброса имеет геометрический смысл и определяется площадью сброшенной области, можно предположить существование связи между пространственным распределением сбросов и их размером. Предполагая, что в течении характерного времени, определяемого периодом повторения $T=1-4\alpha$ достижения критического значения энергии каждой отдельной ячейкой, ячейки и целые области ячеек, не содержащих эпицентры, были сброшены при возникновении сброса, захватившего их и частью которого они являются. Т.е. сбросы с большой величиной энергии формируют большие области отсутствия эпицентров. При этом степенной характер площадей сбросов отражается и на виде распределения эпицентров.

Пусть $N(S \geq S_0) = C_1 \cdot S_0^{-b}$ - наблюдаемая зависимость числа сбросов больше S_0 при однократном цикле сбросов в каждой ячейке. Размер сброса S определяется как число ячеек сброшенных на отдельной итерации и имеющих общую границу друг с другом. В двумерной модели он численно равен площади области сброса, состоящих из ячеек единичного размера. В общем случае зависимость площади сброса от линейного размера $S(R)$ можно определить как $S \sim R^\delta$. В качестве линейного размера (размера очага) рассмотрено максимальное линейное расстояние между ячейками, принадлежащими данному сбросу. Тогда для распределения числа сбросов справедливо:

$$N(S \geq S_0) = C_2 \cdot R^{-b\delta}. \quad (5)$$

При рассмотрении пространственного распределения эпицентров сброса на заданной сетке эпицентром сброса размера S будем считать среднее значение координат сброшенных ячеек. Учтем, что наличие в одной ячейке размером $l \times l$ (в двумерном случае) двух и более эпицентров означает, что величины соответствующих сбросов не превышают $S_i < l^2$. Тогда число эпицентров ≥ 2 в ячейках размером l определяет число сбросов, не превышающих $S_0 < l^2$: $\tilde{N}(S < S_0) = \tilde{N}(S_i : |r_i - r_j| \leq l)$. В случае фрактального распределения эпицентров:

$$\tilde{N}(S_i : |r_i - r_j| \leq l) \sim l^d, \quad (d \leq 2). \quad (6)$$

Вид полученных функций распределения (5), (6) определяют связь степенных показателей:

$$d = b \cdot \delta. \quad (7)$$

Результаты оценки распределений для различных α , позволяющих оценить степенные показатели b, d, δ показаны на рис.3. Оценка фрактальной размерности эпицентров d проведена по расчету корреляционного интеграла $C_2 \sim r^d$, где:

$$C_2(r) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j} \theta\left(\max(|x_i - x_j|, |y_i - y_j|) \leq r\right),$$

x, y - координата эпицентра, N - число эпицентров, $\theta()$ - единичная функция Хевисайда.

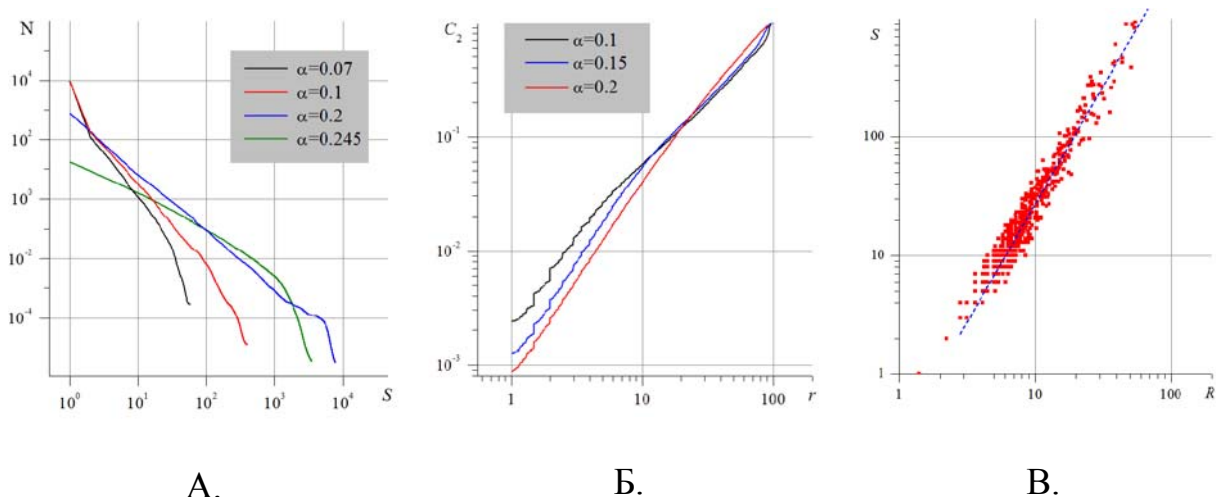


Рис.3. Распределение сбросов в модели OFC.

- А.-** гистограмма усредненного распределения размера сбросов в течении временного интервала $T = 1 - 4\alpha$ при различных параметрах связи α ;
Б.- функция распределения расстояний между всевозможными парами эпицентров сбросов (корреляционный интеграл) при различных параметрах связи α ;
В.- связь между размером сброса S и его максимальным линейным размером R для $\alpha = 0.2$ по данным $N = 3 \cdot 10^4$ сбросов.

Полученные зависимости позволяют сделать ряд выводов.

1. Проведенные оценки распределений сбросов по размерам (рис. 3А) демонстрируют степенной характер зависимости при $S > 1$ для всего диапазона рассматриваемых модельных параметрах связи α . При этом число сбросов одиночных ячеек ($S=1$) для рассматриваемой модели с отсутствием "сливающихся" сбросов имеет аномально высокое значение для степенного распределения сбросов $S > 1$ при малых $\alpha < 0.175$. С ростом параметрах связи α данная аномалия уменьшается.

2. Степенной показатель оценок функции плотности распределения размеров сбросов при различных α для $S > 1$ (рис.3А) демонстрирует уменьшение величины с $B = 3.0 \pm 0.1$ при $\alpha = 0.07$ до $B = 1.12 \pm 0.05$ при $\alpha = 0.245$. С ростом связи между соседними ячейками увеличивается синхронизация процессов эволюции соседних ячеек и происходит изменение наклона степенного распределения в сторону роста числа сбросов большой амплитуды.

3. Приведенная на рис. 3А оценка гистограммы распределения в течении одного периода $T = 1 - 4\alpha$ повторяемости процесса получена усреднением гистограмм по не менее 10 гистограммам на последовательных временных участках длительностью T . Вид кривой распределения при этом идентичен распределению, полученному по полной выборке. Характерный размер сброса $S = S^*$ при котором происходит "насыщение" степенного распределения и резкое уменьшение числа сбросов $S > S^*$ определяется значением параметра α и не зависит от длины выборки. Он также не изменяется с ростом размера сетки $L \times L$, начиная с некоторого значения: $L \geq L^*$. Возможная причина данной закономерности заключается в справедливости концепции ограниченной критичности рассматриваемой диссипативной системы [4]. Отсутствие

зависимости L^* от размера сетки L для малых $\alpha \leq 0.15$ указывает на нарушение соотношения конечномерного скейлинга $p(S, L) = L^{-\beta} \cdot f(S \cdot L^{-\nu})$ при рассмотрении модели на решетке $L > L^*$.

4. На рис. 3Б представлены оценки фрактальной размерности распределения эпицентров сбросов с величиной $S > 1$ при различных значениях α . Координаты эпицентров соответствуют в данном случае не координате первичного сброса, явившегося источником сбросов соседних элементов [5], а средней величине координат ячеек, формирующих сброс. Для оценки фрактальной размерности использована методика оценки наклона корреляционного интеграла при единичном уровне вложений m двумерного вектора координат эпицентра. При малых значениях $\alpha = 0.1$ и $\alpha = 0.15$ выделяются две области линейных размеров r с различной величиной наклона C_2 в двойном логарифмическом масштабе. Наклон $d_2 \approx 1.6$ для младших масштабов с ростом r переходит в $d_2 \approx 1.0$, свойственный линейному расположению рассматриваемых объектов. Полученный рост диапазона младших масштабов ($d_2 \approx 1.6$) с ростом α отражает расширение области расположения сбросов с $S > 1$ и достижению постоянного наклона при $\alpha > 0.175$. Следует заметить, что величина фрактальной размерности оказывается близкой к $d_2 \approx 1.6$ в области формирования сбросов $S > 1$ и слабо зависит от α . Наличие участка $C_2(r)$ с единичным наклоном при малых $\alpha \leq 0.15$ является следствием расположения сбросов $S > 1$ в узкой граничной линейной области.

5. Предполагая существование зависимости пространственной структуры эпицентров сброса от формы очаговой области, проведен расчет связи величины сброса (в случае отсутствия повторных сбросов на отдельном шаге временной итерации равен площади поверхности сброса) с линейным размером очаговой области. В качестве параметра размера очага взято расстояние между максимально удаленными элементами, формирующими очаг. Представленная на рис.3В диаграмма рассеяния точек (L_{\max}, S) в двойном логарифмическом масштабе позволяет оценить степенной показатель δ зависимости $S = (L_{\max})^\delta$. Оценка δ проводилась по точкам сбросов $S \geq 5$, что связано с ограничением разрешения формы очага при малых S . Повышенное значение погрешности оценки δ при малых $\alpha < 0.175$ определялось ограниченностью области оценивания при отсутствии сбросов большой величины.

6. Зависимость рассчитанных параметров B, d_2, δ от степени связности соседних ячеек представлена на рис.4А. Наибольшую чувствительность к изменению связи между соседними элементами модели демонстрирует показатель плотности распределения сбросов по величине. При этом его величина уменьшается от значения $B = 2.8 \pm 0.1$ при $\alpha = 0.07$ до значения $B = 1.2 \pm 0.1$ при $\alpha = 0.245$. Для часто рассматриваемого значения $\alpha = 0.18 - 0.2$ величина наклона составляет известное значение $B = 1.80 - 2.05$. Изменение показателей пространственного распределения d_2 и формы очага δ

демонстрируют более слабую изменчивость с ростом α , оставаясь незначимыми в пределах 2σ доверительного интервала.

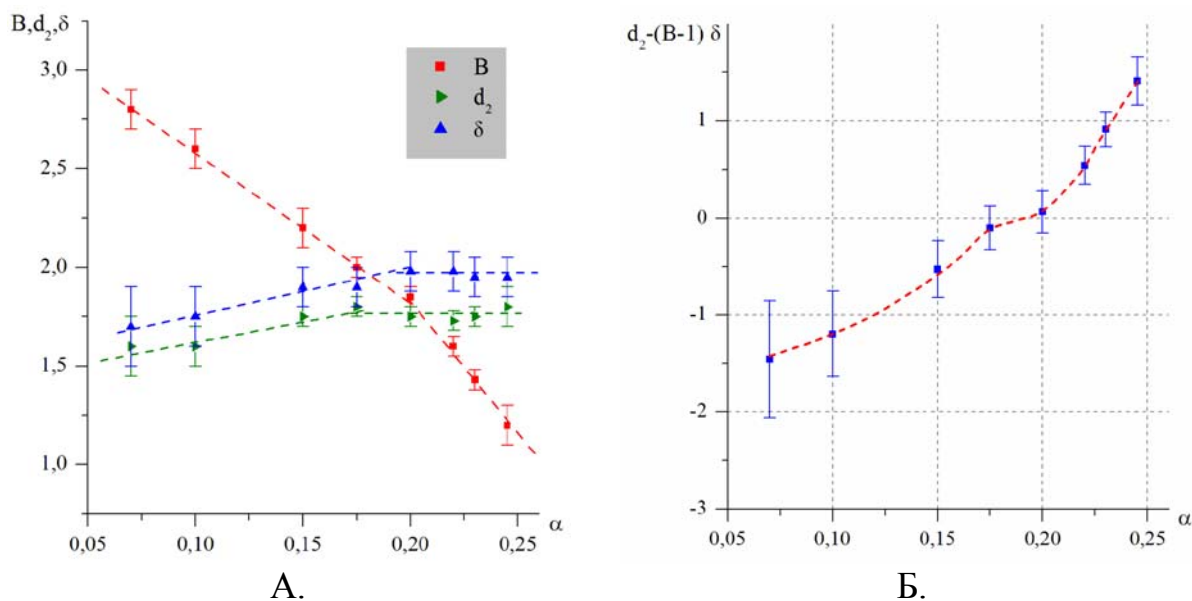


Рис.4. Зависимость степенных показателей распределения сбросов в энергетической и пространственной областях от параметра связи α для OFC модели на решетке размером $L \times L = 100 \times 100$.

7. Предположение о существовании соотношения между размерами площадей сброса (величиной сброса S) их формой и расположением на сетке в течение периода полного накопления поступающей энергии всеми ячейками сетки (7) проверено для модели OFC с различным значением параметра связи - рис. 4Б. Для диапазона значений $\alpha = 0.175 - 0.2$ соотношение (7) в пределах погрешности оказывается справедливым. Параметром, значимо определяющим отклонение $d_2 - (B-1)\delta$ от нулевого значения, является наклон графика повторяемости. Именно для указанного диапазона α , наклон графика повторяемости соответствует известным значениям при экспериментальных наблюдениях $b = 0.8 - 1.05$. Разбиение возможных значений α на три диапазона, полученное выше при анализе динамических параметров временных рядов находит свое подтверждение и при анализе распределений сбросов в пространственной и энергетической областях. Диапазон $\alpha < 0.175$, соответствует отрицательной величине параметра $d_2 - (B-1)\delta$, диапазон $0.175 \leq \alpha < 0.22$ соответствует близкому к нулевому значению данного параметра и диапазон $\alpha \geq 0.22$ соответствует его положительному значению. Как отмечено в работе [6] величина $\alpha \approx 0.2$ соответствует в модели упругого взаимодействия блоков R.Burridge, L.Knopoff [1] выполнению условия равенства упругих параметров связи $K_L = K_1 = K_2$ (рис.1), что позволяет обосновать применимость соотношения (7) к реальному сейсмическому режиму.

Литература

1. *Burridge R., Knopoff L.*, Model and Theoretical Seismicity, *Bull. Seism Soc. Am.* 57, 341-371, 1967.
2. *Z.Olami, H.J.S.Feder, K.Christensen*, Self-organized criticality in a continuous, nonconservative cellular automaton modeling earthquakes, *Phys.Rev. Lett.* 68, 1244-1247. 1992.
3. *S.Lise, M.Paczuski*, Self-organized criticality in a nonconservative earthquake model, *Phys.Rev. E* 63,36111. 2001.
4. *J. X. de Carvalho and C. P. C. Prado*, Self-Organized Criticality in the Olami-Feder-Christensen Model, *Phys. Rev. Lett.* 84, 4006. 2000.
5. *G. Miller and C. J. Boulter*. "Measurements of criticality in the Olami-Feder-Christensen model". *Phys. Rev. E* 66 (2002), 016123.
6. *Christensen K., Olami Z.* Scaling, phase transitions, and nonuniversality in a self-organized critical cellular-automaton model. *Phys. Rev. A* 46, 1992.

ОСОБЕННОСТИ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЭНЕРГОПОТЕНЦИАЛА ОТХОДОВ АГРОКУЛЬТУР ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ НА НАЦИОНАЛЬНОМ И РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

В.П. Шакун, Ю.Ю. Рафикова

*МГУ им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия*

E-mail: a-wee@yandex.ru

Резюме

В статье рассматриваются проблемы картографирования биоэнергетических ресурсов на территории Российской Федерации и некоторые пути решения этих проблем. Также в качестве примера приводится карта, реализующая одно из этих решений и приводятся примеры факторов влияющих на оценку потенциала биоресурсов, рассматриваются дальнейшие перспективы.

Abstract

This article discusses the mapping of bioenergy resources in the territory of the Russian Federation, and some solutions to these problems. Also, as an example, a map which supports one of these solutions and examples of factors affecting the assessment of the potential of bio-resources, discusses the future prospects.

Методы оценки ресурсов биоэнергетики

Производство и использование энергии, полученной из возобновляемых источников, становится всё более масштабным сегментом мировой энергетики. Стремительное развитие биотехнологий в этой области привели к тому, что в настоящее время возможно использовать в качестве источника энергии не только древесину, отходы животноводства и растениеводства, но и органическую составляющую отходов различных производств, городские отходы и стоки. Следует подчеркнуть, что утилизация различных видов органических отходов в биоэнергетических установках и системах решает в

условиях России прежде всего серьезнейшую экологическую проблему – сокращение загрязнения окружающей среды.

Для оценки потенциала отдельных территорий и регионов страны с точки зрения развития биоэнергетики важным является проведение расчетов образующихся объемов отходов и их энергетического содержания, а также картографическое представление их распределения. Картографирование ресурсов биоэнергетики стало актуальным направлением в России в последние годы. Несмотря на большой зарубежный опыт в этой области, обширная территория РФ, природная зональность, региональная разнородность на социальном и экономическом уровнях ставит новые вопросы при картографировании энергопотенциала и оценке возможностей его использования.

В ранних работах [4, 5, 7], выполненных авторами, была представлена методическая основа для расчета энергетических показателей по каждому из упомянутых видов органических отходов, а также некоторые результаты картографирования ресурсного потенциала осадков сточных вод, твёрдых бытовых отходов и отходов растениеводства для всей территории России в целом. В основу расчета энергопотенциала отходов растениеводства были положены методические подходы, изложенные в работах [1-3, 6], согласно которым энергетический потенциал определяется по валовому сбору урожая конкретной культуры, а также по ее агротехническим и теплофизическим свойствам. В результате количество отходов i -ой культуры определяется как произведение $P_{iвал} = P_i * K_{iотм}$, где $P_{iвал}$ – вес отходов i -ой культуры, рассчитанный как произведение величины урожайности культуры P_i и коэффициента $K_{iотм}$, равного отношению массы отходов и полезной части растения. Валовой энергетический потенциал отходов сельскохозяйственной культуры рассчитывается как произведение массы отходов производства данной культуры, выращенной в хозяйствах всех категорий за год, на теплотворную способность этих отходов $Q_{iотм}$: $П_{iвал} = P_{iвал} * Q_{iотм} = P_i * K_{iотм} * Q_{iотм}$. Коэффициенты $K_{iотм}$ и $Q_{iотм}$ определялись по литературным данным [1-3, 6]. Фактологической основой для расчета потенциала отходов животноводства является поголовье скота и птицы в регионах. Валовой и технические потенциалы отходов сельскохозяйственного производства проведен нами на основе статистических данных последних лет (до 2013 г.) с дифференциацией по различным сельскохозяйственным культурам и видам скота. Энергетический потенциал ТБО и ОСВ определяется на основе нормативных показателей образования отходов и их энергосодержания.

Полученные оценки энергетического потенциала отходов сельскохозяйственного производства и жилищно-коммунальной сферы России свидетельствуют о значительном запасе энергии [5]. Однако данное направление исследований требует проведения более детальных оценок и укрупнения территориальных масштабов. Картографирование указанных энергоресурсов дает общую характеристику перспективных регионов РФ с большой степенью генерализации. Карты масштаба федеральных округов также генерализованы, но имеют больше возможностей для дифференциации

ресурса без увеличения общего число градаций отображения, что положительно сказывается на восприятии.

Карты, визуализирующие энергопотенциал биомассы отходов (валовый, технический и т.д.) регионального масштаба, могут быть уже использованы для определения конкретных территорий и источников для реализации проектов с точки зрения доступности, рентабельности, логистики. Поэтому такого рода картографический материал можно рассматривать как основу для стратегического планирования и анализа перспективности проектов биоэнергетики.

Основные проблемы картографирования биоэнергетического потенциала.

1. *Распределение ресурса по площади и его локализация.* На основании расчетов энергетического потенциала органических отходов, образующихся на территории регионов РФ, проведенных по данным Росстата, в работах [4, 5, 7] были построены карты биоэнергетических ресурсов, обобщенные до уровня субъекта. На этих картах каждому субъекту РФ придавался конкретный ресурсный показатель. В данном формате величина потенциала для некоторых регионов оказывалась весьма большой в связи со значительностью территории. При этом не учитывалась локализация ресурса, что для протяженных регионов, таких как, например, Красноярский край, представляется не результативным: концентрация ресурса не однородна, и такая форма картографического представления биоэнергетического потенциала может ввести в заблуждение при оценке ресурса. В качестве решения этой проблемы может быть представлена карта биоэнергетического потенциала, отображающая распределение удельной величины ресурса с поточечной локализацией, однако адекватных данных (в пределах районов субъектов федерации) для создания таких карт в открытых статистических источниках нет.

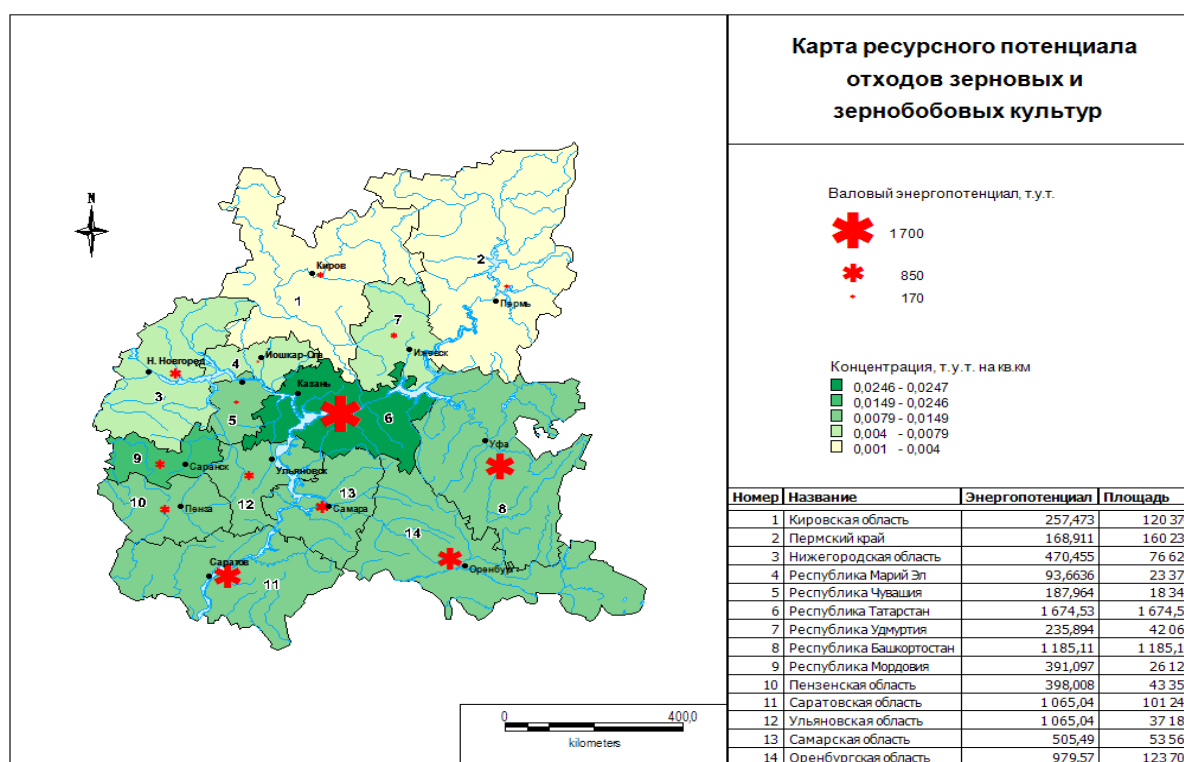
2. *Проблема отображения ресурсов.* Расчеты показали значительную неоднородность энергопотенциала биоресурсов по регионам РФ. В связи с этим возникает ряд трудностей при построении тематических карт регионов, связанных с подбором градаций для отображения адекватной картины. Широкий разброс величин подчас сильно генерализует информацию о параметре в каждой градации и не дает возможности различать, существенные объекты на карте.

3. *Проблема влияния комплекса факторов.* Для построения адекватной картины распределения биоэнергетических ресурсов по территории РФ, следует на тематических картах – помимо собственно ресурса – учитывать ряд факторов, влияющих на него, и отображать эти факторы. К таковым относятся, в частности:

- ✓ расположение в пределах региона сельскохозяйственных организаций, как источников отходов растениеводства и животноводства;
- ✓ расположение особо охраняемых территорий и иных объектов, ограничивающих сооружение объектов биоэнергетики;

- ✓ действие на территории различных проектов, законов, инициатив, влияющих на размещение объектов биоэнергетики и т.д.
- ✓ расположение логистической сети распределения сырья для потребителей биоэнергетических ресурсов;
- ✓ расположение центров производства/продажи оборудования для биоэнергетических проектов, сервисных центров.

Для решения указанных выше проблем авторами в настоящее время проводится разработка методики комплексной оценки биоэнергетических потенциалов территорий различного охвата и картографирование этих потенциалов. На рисунке в качестве примера применения некоторых подходов приведена карта распределения энергопотенциала отходов зерновых и зернобобовых культур Приволжского федерального округа. Карта позволяет провести дифференциацию регионов как источников биоэнергетического ресурса данного вида.



Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ №13-08-01186.

Литература:

1. Биомасса как источник энергии. Пер. с англ./Под редакцией Соуфера С., Заборски О. М.: Мир, 1985. 368 с.
2. Гелелуха Г.Г., Железная Т.А., Жовмир Н.М., Матвеев Ю.Б., Дроздова О.И. Оценка энергетического потенциала в Украине. Часть 1. Отходы сельского хозяйства и древесная биомасса // Промышленная теплотехника. 2010. Т.32. №6. С.58-65.
3. Ключ С.В., Забарный Г.Н. Оценка и прогноз потенциала твёрдого биотоплива Украины // Коллекторное и энергетическое машиностроение. 2011. №2(24). С.8-13.

4. К оценке энергетического потенциала органических отходов регионов России / Т.И. Андреевко, С.В. Киселева, Ю.Ю. Рафикова, В.П. Шакун // Альтернативная энергетика и экология. 2012. № 10. С. 104–111.

5. К оценке энергетического потенциала отходов растениеводства: зерновое хозяйство. Андреевко Т.И., Киселёва С.В., Шакун В.П. // "Альтернативная энергетика и экология". 2014. № 12. С. 84-95.

6. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям). Под редакцией Безруких П.П. М.: ИАЦ Энергия, 2007. 270 с.

7. <http://gis-vie.ru/> Дата обращения 29.08.2014

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ СОЛЕЙ ТЕТРАБУТИЛАММОНИЯ

М.М. Шогенова, С.Б. Балкарова

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М.Бербекова
г. Нальчик, Россия*

E-mail: shogenova_mar@mail.ru, balkarova-07@mail.ru

Кроме широко применяемых в настоящее время для активных воздействий пиростатов (зарядов серебра), существует класс химических соединений-гидратов, так называемые нестехиометрические соединения, к которым относятся клатраты. Они при взаимодействии с водой или водяным паром имеют способность образовывать кристаллическую решетку при температуре близкой к нулю градусов.

Для проведения экспериментов по исследованию льдообразующей активности реагентов как тетрабутиламмония бромид и йодид необходимо было определить спектр частиц данных солей.

Предлагаемые реагенты относятся к группе полуклатратных гидратов. Механизм образования подобных соединений сводится к тому, что вокруг небольших по размерам молекул строится каркас из молекул воды, подобные структуры устойчивы и могут существовать при определенных давлениях газа гидратообразователя в температурном интервале выше нуля градусов [3, с. 250].

Решетки некоторых гидратов аминов очень похожи на решетки упомянутых выше соединений. Однако они отличаются от типичных клатратных гидратов присутствием водородных связей или сильного взаимодействия между молекулами-гостями и молекулами-хозяевами и называется полуклатратными гидратами (рис. 1).

Центральный атом катиона соли окружен 4-мя радикалами, которые, в зависимости от размера радикала, могут являться центральными стабилизации 30–40 молей воды на 1 моль соли. В зависимости от состава радикала и аниона могут быть образованы льдообразующие структуры, с температурами

плавления до 0°C . Следует отметить, что хотя температура плавления гидрата стехиометрического состава столь высока, добавление любого из компонентов, как воды, так и соли тетрабутиламмония бромиды, приводят к ее понижению. Проведенные нами эксперименты показали, что внесение в переохлажденную каплю даже ничтожного зерна соли приводит к кристаллизации ее при температурном переохлаждении в $1-2^{\circ}\text{C}$. По экспериментальным данным кристаллизация идет при минимальной концентрации $0,01\%$, возможно и меньше [1, с. 42].

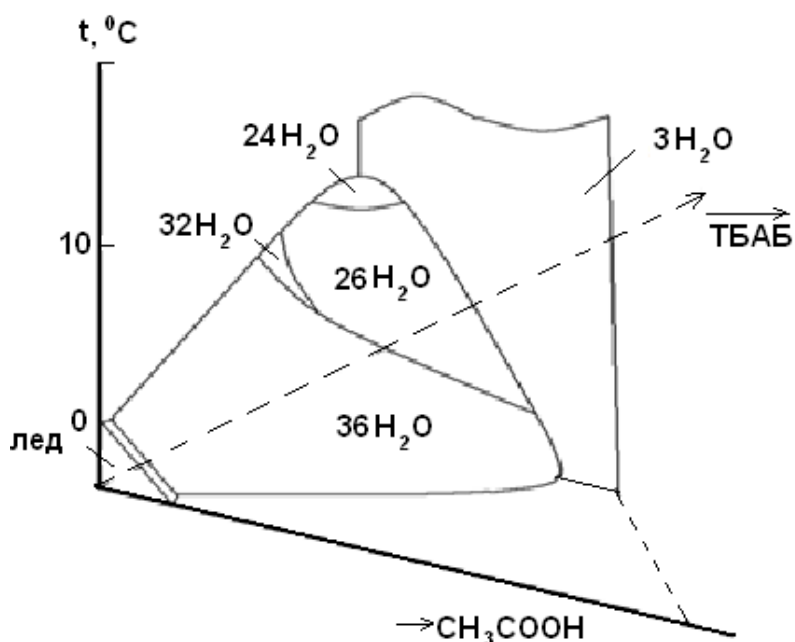


Рис. 1. Диаграмма кристаллизации системы вода – ТБАБ – уксусная кислота

Преждевременно говорить о возможности механизма кристаллизации, однако в качестве начальной модели можно предположить следующее. Рассмотрим случай тетрабутиламмония бромиды (R_1). Молекулы R_1 , попадая в пар, диссоциируются. Анион (Br^-) встраивается в кристаллическую структуру воды, а катион (алкидный радикал) размещается в полости уже водно-анионной, а не водной решетки, тем самым стабилизируя кристаллическую структуру и понижая давление над ней. Соли тетрабутиламмония с экологической точки зрения безвредны, и в естественных природных условиях подвергаются быстрой деградации.

Для определения концентрации раствора и спектра частиц соли тетрабутиламмония растворяли во фреоне 134а с заданной концентрацией и распыляли в предварительно очищенной облачной камере объемом 1 м^3 . После испарения фреона оставшиеся в камере частицы соли тетрабутиламмония тщательно перемешивались, после чего брались пробы на двухкаскадный импактор, а затем обрабатывались под оптическим и электронным микроскопами.

Во всех опытах спектр размеров частиц соли менялся от 0,01 до 3,5 мкм (рис. 2), максимум распределения которого находится в области 0,01–3 мкм, количество самых мелких частиц размерами $d \sim 0,1$ мкм составил 25–30%. Проведенные эксперименты и оценочные расчеты показали, что при распылении растворов солей тетрабутиламмония бромид и иодида можно получить до 10^{14} – 10^{15} частиц на грамм реагента. Причем, совершенствуя генератор для распыления, можно еще больше увеличить удельный выход аэрозольных частиц.

Из проведенных исследований следует, что можно получить высокий удельный выход частиц новых солей, в то же время сравнение спектра этих частиц со спектром традиционных пиросоставов на основе AgI показывает, что у иодида серебра основное количество частиц имеет размеры меньше 0,01 мкм.

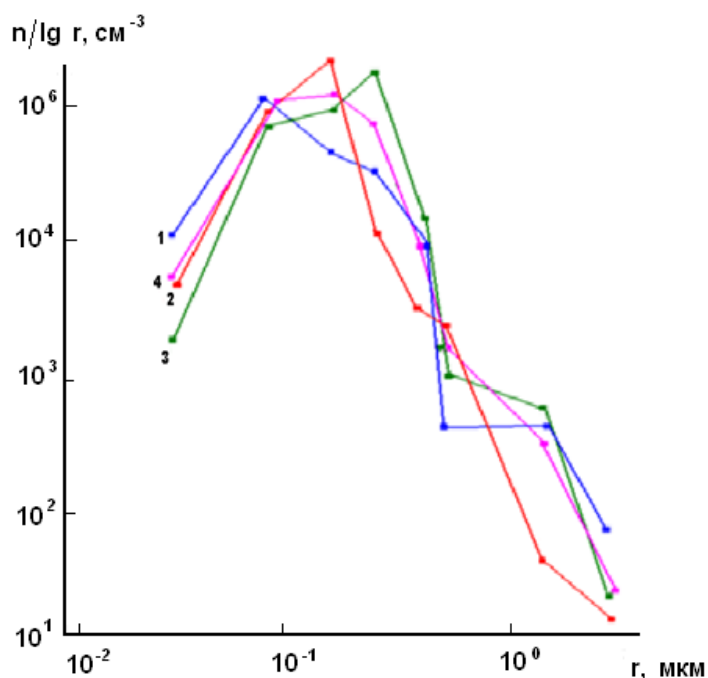


Рис. 2. Кривые распределения по размерам аэрозолей соли тетрабутиламмония бромид (1 – 17.03.2014 г.; 2 – 18.03.2014 г.; 3 – 28.03.2011 г.; 4 – осредненная кривая)

Частицы таких размеров вносят основной вклад в удельный выход кристаллизующих ядер. В то же время при активных взаимодействиях на облачные процессы из-за большой подвижности мелких частиц размерами $d < 0,01$ мкм происходит быстрое уменьшение льдообразующей активности пиросоставов (AgI) в результате интенсивной коагуляции на облачных каплях, кристаллах, друг с другом и с частицами естественного аэрозоля, многие из которых теряют свою льдообразующую активность. Это подтверждено самолетными и лабораторными исследованиями [2, с. 78].

Спектр частиц исследуемых солей таков, что подвижность частиц и скорость коагуляции с облачными элементами, друг с другом намного меньше. При правильном распылении частиц в облачной среде можно

добиться, чтобы удельный выход кристаллов был близок к удельному выводу частиц исследуемых солей, т.е. практически каждая частица соли превращалась в кристалл или вызывала замерзание. Быстрое изменение спектра размеров, концентрации и льдообразующих свойств пиросоставов *Ag I* и свойств исследуемых солей дает основание предполагать, что новый реагент имеет значительные перспективы.

Таким образом, спектр частиц исследованных солей меняется от 0,01 до 3,5 мкм. При таком размере частиц их подвижность и скорость коагуляции с облачными частицами и друг с другом высокая.

Литература

1. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. Л.: Гидрометеиздат, 1990 – 463 с.
2. Комалов А.С., Степанов С.И., Шогенова М.М.. Исследование льдообразующей эффективности растворов тетраалкиламмония в экологически чистом фреоне // Материалы Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Нальчик: 2001 – С.78–79.
3. Пауэль Г.М. Нестехиометрические соединения. Пер. с англ. М., 1971–450 с.

ЧЕЛОВЕК И АТМОСФЕРА

И.Н. Шутькова

МБОУ СОШ № 1

Майкопский район, Россия

E-mail: kotova-lena-kotova1994@ya.ru

Атмосфера – это та среда, в которой находится человек постоянно с самого рождения и до последнего своего часа пребывания на свете.

Главная задача человечества сохранить её в таком виде, чтобы человеку не пришлось создавать какие-либо искусственные среды для поддержания существования людей на Земле.

В эпоху промышленного бума это стало довольно трудной задачей.

В атмосферный воздух современного города поступает огромное количество пыли, золы, оксидов серы, азота, фенола от промышленных предприятий, тяжелых металлов с выхлопными газами автомобильного и авиационного транспорта «...так за год сгорания топлива в районе крупного аэропорта таких как Шереметьево-1 или Шереметьево-2 в Москве или Хитроу в Лондоне при взлете и заходе на посадку выбросы в атмосферу составляют: оксида углерода – 520 т., углеводов – 135 т., оксидов азота – 150., оксидов тяжелых металлов до 17 т....» [3,102], оксиды углерода при сгорании твердого и жидкого топлива на тепловых электростанциях.

Часть соединений серы и азота выпадает из атмосферы в виде аэрозолей и пыли. Другая часть растворяется в водяных каплях и в виде кислотных дождей выпадает на поверхность Земли, загрязняя при этом почву, реки, озёра, растительный покров, здания городов и сельские строения, памятники архитектуры, улицы и другие поверхности. Задымление ведёт к ухудшению микроклимата города: увеличению числа туманных дней, уменьшению прозрачности атмосферы и снижению естественного освещения Солнцем, увеличению ультрафиолетовой радиации. Сам туман не опасен для человеческого организма, он становится вредным, когда сильно загрязнен токсическими примесями.

Загрязнители, которые попали в атмосферу по причине хозяйственной деятельности людей, разносятся потоками воздуха на дальние расстояния и многие из них реагируют с другими загрязнителями, что приводит к образованию смесей загрязнителей. Иногда их воздействия на окружающую среду или здоровье человека оказывается намного сильнее. Чем в отдельности.

Загрязнение атмосферы оказывает неблагоприятное воздействие на здоровье человека.

В последнее время в атмосфере значительно увеличилось содержание тяжелых металлов, оказывающих особое влияние на организм человека. К тяжелым металлам относятся свинец, ртуть, хром, марганец и другие. У них есть общее: это яды широкого спектра действия, они повреждают центральную нервную систему, печень, почки, обладают мутагенным и канцерогенным действием.

Самым опасным является свинец. Он поступает в атмосферу не только от промышленных предприятий, но и от автотранспорта:

За сутки 1 легковой автомобиль выбрасывает в 1 литре выхлопных газов:

Всего выхлопных газов	Угарного газа - CO	Оксида азота(V)- N ₂ O ₅	Соединений свинца
1000г	30г	6г	3г

В наших городах тысячи, десятки тысяч и сотни тысяч автомобилей.

Свинец появляется в топливе, а затем и выхлопных газах, потому что его добавляют в составе тетраэтилсвинца - (C₂H₅)₄Pb к бензину для улучшения его качества. При вдыхании свинец попадает в кровь, изменяя её кислотно-фосфорные свойства. В виде тиосульфата откладывается в хрящах, в костях, печени, почках, половой и центральной нервной системе. Во всём организме происходят явления, связанные с нарушением работы ферментов, а это в свою очередь ведёт к нарушению белкового, энергетического обменов.

Ртуть и хром для организма являются канцерогенными веществами, «...они угнетают иммунитет, вызывают неправильное деление ростовых клеток, приводя в итоге к онкологии» [2, 207].

Очень опасны для организма цинк (Zn), медь (Cu) и марганец (Mn). Эта «троица» вызывает мутацию клеток организма, а это влечёт увеличение % врождённых уродств у людей, отклонений от норм развития детского организма.

Города с наибольшим уровнем загрязнения воздуха

Город	Вещества, определяющие высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха
Балаково	Сероуглерод, формальдегид, диоксид азота
Бийск	Формальдегид, взвешенные вещества, диоксид азота
Братск	Диоксид азота, формальдегид, фтористый водород, сероуглерод
Екатеринбург	Формальдегид, бенз(а)пирен, акролеин
Кемерово	Формальдегид, взвешенные вещества, диоксид азота
Красноярск	Сероуглерод, аммиак, формальдегид, сажа Бенз(а)пирен, взвешенные вещества, хлор
Краснодар	Фенол, формальдегид, взвешенные вещества
Липецк	Фенол, аммиак, формальдегид, диоксид азота
Магадан	Фенол, формальдегид, диоксид азота
Магнитогорск	Бенз(а)пирен, фенол, взвешенные вещества
Москва (отдельные крупные районы)	Аммиак, диоксид азота, формальдегид
Новокузнецк	Формальдегид, взвешенные вещества, фтористый водород, диоксид азота
Новороссийск	Диоксид азота, бенз(а)пирен, взвешенные вещества
Омск	Формальдегид, ацетальдегид, сажа
Ростов-на-Дону	Диоксид азота, формальдегид, взвешенные вещества Формальдегид, фенол, сероуглерод, мет ял-меркаптан
Селенгинск	Взвешенные вещества, формальдегид, свинец
Тюмень	Взвешенные вещества, формальдегид, диоксид азота
Улан-Удэ	Бенз(а)пирен, диоксид серы, диоксид азота, формальдегид, аммиак
Хабаровск	Бенз(а)пирен, формальдегид, взвешенные вещества, диоксид азота
Чита	

Наличие в воздухе примесей оксида серы, оксида азота. Органических веществ приводят к нарушению дыхания, воспалению слизистых оболочек глаз и носа, часто затем перерастая в аллергические реакции организма, а «...у женщин могут спровоцировать мертворождение детей, онкологию молочных желёз или злокачественные образования» [3, 104].

В настоящее время на территории Российской Федерации насчитывается около 120 городов с наиболее неблагоприятной экологической обстановкой в атмосфере: в европейской части около 64, среди них Москва, Череповец, Санкт-Петербург, Надвоицы, Старый Оскол и др., на Урале около 24, это такие как Екатеринбург, Челябинск, Пермь, Качканар, в Сибири- 30 (Кемерово, Новокузнецк, Прокопьевск, где по «...данным Национального доклада « О санитарно- эпидемической обстановке в РФ в 2005 г.», несмотря на сокращение мощностей, снижение выброса промышленных предприятий при среднем по стране процент загрязнений в воздухе в целом по стране составляет 10,2%, то в этих городах он доходит до 25%» [1, 405].

Наряду с различными видами заболеваний возникли и специфические: бериллиоз – когда заболевают люди, живущие недалеко от алюминиевых заводов, т.к. в воздухе полно оксидов бериллия, который сопровождает алюминиевую руду, «... у человека кашель аллергического вида, малокровие, онкология» [3,106]. Или такое заболевание – болезнь Минамата, протекающая по типу церебрального паралича. Причина – «...пары ртути, которые постепенно накапливаются в организме» [2, 233].

В настоящее время этой проблеме уделяется очень большое внимание не только в нашей стране, но и за её пределами.

Основное направление- 1) это создание циклических предприятий, где будут учитываться все процессы производства и выхода продукта, особенно, если предприятие химическое. То почему бы не использовать вторично газы, которые сопутствовали первичному процессу в производстве средних или сильных кислот.

Другое направление - 2) это создание или замена на другие, менее опасные продукты производства, тогда будет экономия природных материалов и меньше будет загрязняться среда.

Ещё одно предложение - 3) создание загородных промышленных зон, вынос «грязных производств» за пределы спальных и культурных районов, что приведёт к снижению риска для людей.

Трудней всего решить проблему с транспортом, если для автомобилей можно произвести замену топлива на электричество (электромобили, водомобили, солнцемобили), то что делать с самолётами- ведь кроме выбросов в атмосферу, «один самолёт при трансатлантическом перелёте сжигает ещё 56-100 т кислорода» [4, 99].

4) Установка различных газо- пылеуловителей на дымящие трубы предприятий и мартеновских печей, аглофабрик и химических заводов. Единственный недостаток- он и быстро выходят из строя и замена фильтров на них очень дорогое удовольствие.

В настоящее время наметилась небольшая тенденция по снижению загрязнения атмосферного воздуха. Но она связана с остановкой большого количества старых предприятий в годы перестройки. А не изменением технологических более экологически чистых производств. Сама проблема ещё далеко не решена и решение её за будущими поколениями.

В МБОУ СОШ № 1 на протяжении нескольких лет проводился мониторинг за состоянием атмосферы в районе школы (ул.Первомайской 232). В этой работе принимали участие учащиеся 8-9-х классов. Были использованы методы проекта Д. Хасарда «Глобальное мышление», которые были апробированы в Санкт-Петербурге, Ярославле, Москве и Липецке и других городах страны, а также в Канаде, Австрии, Великобритании.

Учащиеся проводили наблюдения за потоком машин и машинами, которые останавливались около школы при подвозе детей на занятия. Исследования продолжались в течение нескольких лет. Основные методы которые были использованы отличаются простотой, доступностью и не требуют больших затрат, а результаты были получены. В те дни, когда проводили наблюдение и обработку материала, результаты заносили в журнал в виде следующих данных:

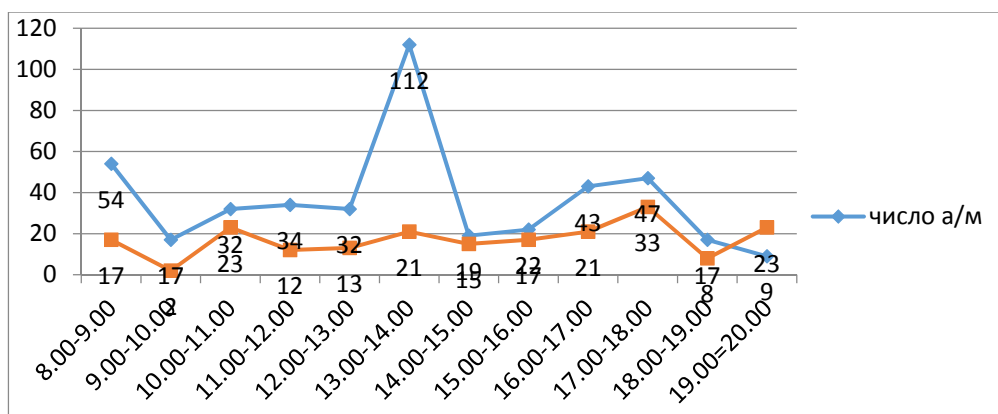


График зависимости проезда или остановки автотранспорта у школы за день.

Далее обрабатывались данные по следующей методике:

1) один автомобиль в среднем при подъезде или проезде в районе школы затрачивает время, равное 5 минут- это примерно 1/12 часа или 1/ 12 /24 суток.

Значит, он за это время выделяет примерно:

Загрязнители воздуха	Количество
Выхлопных газов	$1000/24/12 = 3, 5 \text{ г.}$
Соединений свинца и серы	$3/24/12 = 0,01 \text{ г}$
Оксида азота (V)	$6/ 24/ 12 = 0,02 \text{ г}$
Оксида углерода (II)	$30/24 /12 = 0,1 \text{ г}$

Если мы сделаем пересчёт, то получится « страшный» результат:

час	М, г	Соединений свинца и серы	Оксида азота (V)	Оксида СО (II)
8-9	189	0,54	1,08	5,4
9-10	59,5	0,17	0,34	1,7
10-11	112	0,32	0,64	3,2
11-12	119	0,34	0,68	3,4
12-13	112	0,32	0,64	3,2
13-14	392	1,12	2,24	11,2
14-15	66,5	0,19	0,38	1,9
15-16	77	0,22	0,44	2,2
16-17	150	0,43	0,86	4,3
17-18	164	0,47	0,94	4,7
18-19	59,5	0,17	0,34	1,7
19-20	31,5	0,09	0,18	0,9
Всего 438	1533	4,38	8,76	43,8
Всего 205	717	2,05	4.10	20,5

В процессе исследовательской работы было установлено:

-максимальная концентрация выхлопных газов примерно в 1,35 раза больше утром, чем в вечернее время;

- «час пик» загрязнения наступает в районе школы с 8⁰⁰ до 8³⁰ и с 13¹⁵ до 14¹⁵ (из-за концентрации выхлопных газов при подвозе детей в школу родителями)

- меньше всего автомобилей отмечено в субботние и воскресные дни;

- в субботние дни проходимость автомобилей снижена из-за того, что не работает начальная школа («пятидневка»), а подвоз в школу осуществляется в основном детей младшего возраста;

- в начале недели, после выходных наблюдается пик проезда автомобилей, и снижение происходит к середине и концу недели;

- практически загрязнений нет в выходные дни и вечером с 18 до утра следующего дня;

- количество выхлопных газов увеличивается из-за того, что в целях безопасности около школы в асфальт вложены «горизонтальные шлагбаумы.



Наличие содержания оксида серы и оксида азота вызывает выпадение «кислотных» осадков, наблюдение за которыми мы проводили в трёх районах нашего населенного пункта: в северной, центральной и юго- западной части. Сравнивая окрашивание лакмусовой бумаги со стандартными показателями мы пришли к следующим выводам:

- при определении рН среды выпавших осадков в районе школы лакмусовая бумага не меняла цвет, так как реакция среды была нейтральной (рН=7), если бы произошло «покраснение» универсальной лакмусовой бумаги, это говорило бы о кислотном характере осадков, но снег набирали в чистые пробирки и растапливали в кабинете и проверяли рН среды;

- незначительное изменение окраски произошло при взятии пробы в северной точке при северо-западном ветре (со стороны Майкопа и Белореченска);

- появление кислой среды происходило при взятии проб осадков после грозовых явлений в мае 2013 года и осенью (7.09.2012 года) в центральной точке и юго- западной. Этому есть своё объяснение: во время грозы в атмосфере происходят химические явления:

1) под действием разрядов $N_2 + O_2 = 2 NO$,

2) затем NO доокисляется: $2NO + O_2 = 2 NO_2$,

3) диоксид азота вступает в реакцию с кислородом воздуха и водой и вот на поверхность выпадает «кислый» дождь: $4NO_2 + O_2 + 2H_2O = 4HNO_3$. Причиной изменения среды в эти дни были не загрязнения атмосферы, а электрические разряды в атмосфере.

Литература:

1. Акимова Т.В. Экология. Человек- Экономика- Биота - Среда: Учебник для студентов вузов / Т.А. Акимова, В.В. Хаскин; 2-е изд. перераб. и доп. - М.: ЮНИТИ, 2009.- 556 с.

2. Воронков Н.А. Экология: общая, социальная, прикладная. Учебник для студентов вузов. - М.: Агар, 2006.- 424 с.

3. Кучер Т.В., Колпашикова И.Ф. Медицинская география. Учебник для студентов вузов. - М.: Просвещение, 2007. - 167 с.

4. Экология: учебник для студентов высших и средних учебных заведений, обучающихся по техническим специальностям и направлениям / Л.И. Цветкова, М.И. Алексеев, Ф.В. Карамзинов и др.; под общей редакцией Л.И. Цветковой. - М.: АСБВ; Спб.: Химиздат, 2007. - 550 с.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ АБИОТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ КАРСТОВЫХ ПЕЩЕР ПРИ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКЕ

Я.А. Экба, Р.С. Дбар, А.К. Ахсалба

*Институт экологии АНА,
Абхазский государственный университет,
г. Сухум, Абхазия*

E-mail: ekba-yan@yandex.ru

Дана оценка изменчивости микроклимата пещеры на основе проведения мониторинга по основным климатообразующим метеоэлементам: температуры воздуха, относительной влажности воздуха, скорости и движение воздуха, а также оценка концентрации углекислого газа и кислорода в пещере. Искусственное электрическое освещение пещеры, интенсивное посещение пещеры экскурсионными группами, все эти факторы в свою очередь в разной степени влияют на элементы микроклимата пещеры. Выявлено, что среднегодовая температура внутри пещеры повысилась в среднем на $0,5^0-0,8^0$ C. Влажность внутри пещеры больше в зимние месяцы 98% и меньше летом 96%. В отдельных залах пещеры (Каньон) влажность понижается до 92%, что приводит к дегидратации, растрескиванию натёчных образований и потере аттрактивности. Сезонное распределение кислорода (O_2) находится в пределах 19,9-21,3%, что соответствует норме. Распределение углекислого газа (CO_2) носит ярко выраженный сезонный характер. Его концентрация в северных залах в весенне-летний период возрастает до 0,5-0,7 % (при норме 0,03%), что связано не только с антропогенным фактором, а в первую очередь со слабым оттоком воздуха из пещеры в этот период.

Ключевые слова: мониторинг микроклимата, среднегодовая температура, влажность воздуха, карстовые пещеры, концентрация кислорода (O_2), распределение углекислого газа (CO_2).

It is given the mark of the changing of microclimate on the base of monitoring on the main climate meteoelements: temperature of the air, and also the mark of the concentration of the carbon dioxide and oxygen in the cave. Unnatural electric light of the cave, intensive visit of the cave by excursion groups, all these factors in different degrees influence the microclimate of the cave. It is found out that the middling age temperature increased on $на 0,5^0-0,8^0$ C. Humidity inside the cave is larger in winter months 98% and less in summer 96%. In separate halls of the cave (the Canyon) humidity is lower to 92 %. That brings to the dehydration, crack of the leak formation and to the loss of attractiveness. A season distribution of the oxygen (O_2) is in the limit 19,9-21,3 %. That responds the norm. The distribution of the carbon dioxide (CO_2) shows bright – expressive season character. Its concentration in the northern halls in spring – summer period increases in to 0,5 – 0,7 % (in the

norm 0,03 %) that connects not only with antropogen factor, and at first with weak going out air from the cave in this period.

Уникальность пещер заключается не только в особом пещерном климате, подземной гидрографической сети, состоящей из рек, ручьев, озер, но и специфичности растительного и особенно животного мира. Пещеры имеют эстетическое значение, т.к. подземные ландшафты необычно красивы, выразительны и величественны. Весьма привлекателен и живописен подземный рельеф из-за своей контрастности, разнообразности и необычности. Карстовые полости имеют также оздоровительное значение из-за повышенной ионизации и чистоты воздуха [1-5].

Под антропогенными факторами, оказывающими влияние на микроклимат пещеры и на ее физико-географическую среду в целом, понимаются элементы вмешательства в результате оборудования и эксплуатации пещеры как экскурсионного объекта.

Само вмешательство в экологическую систему пещеры предполагает ее изменение, но вопрос состоит в степени влияния этого антропогенного вмешательства и его последствий для хрупкой динамической системы карстовой полости. Ниже описаны факторы антропогенного вмешательства на наиболее важные элементы микроклимата пещеры и степень их влияния на сегодняшний день [6,7,10]:

- устройство пешеходных дорожек, значительной протяжённости;
- искусственное электрическое освещение пещеры, его мощность, направление света;
- посещение пещеры экскурсионными группами, увеличение его интенсивности за короткий промежуток времени (в основном июль - август).

Все эти факторы в свою очередь в разной степени влияют на элементы микроклимата пещеры.

Производной от факта присутствия в замкнутом пространстве пещеры человека является выделение тепла и углекислого газа в процессе дыхания.

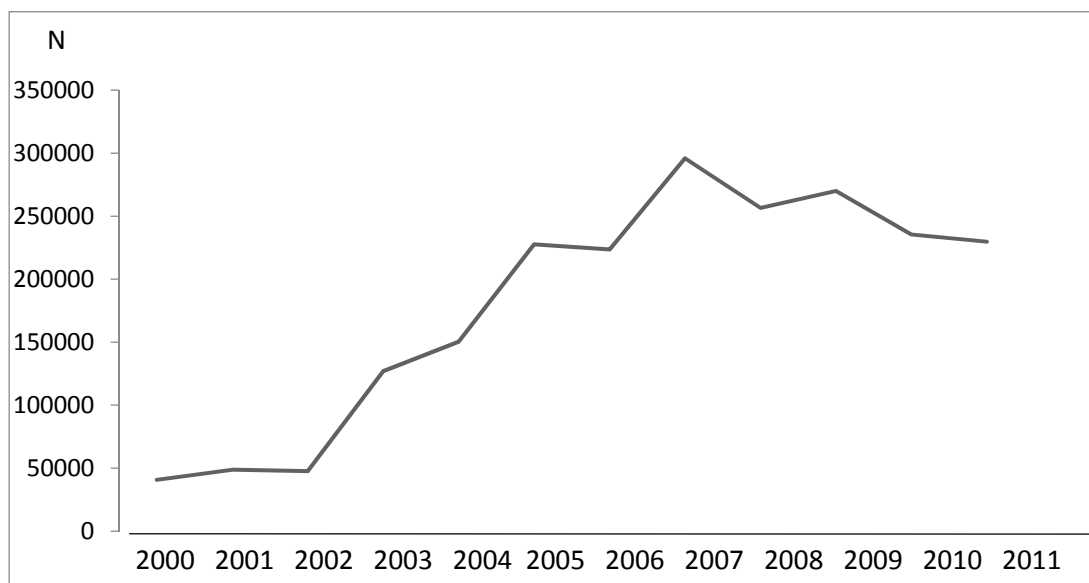


Рис.1. Динамика роста количества туристов с 2000 по 2011 гг.

На рис.1. показана динамика роста количества туристов, посетивших Новоафонскую пещеру за последние 10 лет, а (табл.1) сезонное распределение туристов.

Из анализа данных рисунка 1. следует, что количество рекреантов посетивших Новоафонскую пещеру за последнее десятилетие увеличилось в шесть раз с 48000 чел.в 2000г.до 290000чел. в 2009г, в отдельные дни количество рекреантов достигает 4000 чел. Более 90% туристов посещают Ново Афонскую пещеру в летнее время (июнь-сентябрь).

Таблица 1. Распределение по месяцам туристов в Новоафонской пещере (2012 г).

<i>месяц</i>	<i>N, кол-во чел.</i>	<i>%</i>
январь	3472	1,3
февраль	831	0,3
март	1345	0,5
апрель	2827	1,1
май	6449	2,4
июнь	24635	9,2
июль	67414	25,2
август	83064	31,1
сентябрь	65778	24,6
октябрь	7965	3
ноябрь	2232	0,8
декабрь	1367	0,5
всего	267379	100

Динамика температуры внутренней среды пещеры

Температурный режим карстовых полостей тесно связан только с широтным положением и гипсометрией, но и морфологическими особенностями, а также интенсивностью воздушного обмена пещерной среды с дневной поверхностью. На территории курорта Новый Афон сезонные колебания среднемесячной температуры воздуха составляют 14-18°C, тогда как сезонные колебания температуры внутренней среды пещеры составляют 0,2- 1,2°C. Весной и поздней осенью температуры в пещере и за её пределами выравниваются, тепло-массообмен практически прекращается и температура внутри пещеры стабилизируется. Летом же, когда разность температур внутри пещеры и дневной поверхности достигает 12-20°C, поток тёплого воздуха в пещеру усиливается. На этот процесс накладывается тепловое излучение осветительных приборов и принудительная вентиляция через водосборные штольни, что приводит к повышению температуры. Наибольших абсолютных значений температура достигает в первом (Анакопия,13,7°C) и последнем (Апсны,14,1°C) залах. В зимний период вертикальные градиенты температур в пещерной системе меньше чем летом и составляют 5-7°C, при этом более тёплый пещерный воздух поступает на дневную поверхность. Поэтому

амплитуда колебаний суточных температур внутри пещеры зимой составляет 0,1-0,2°C, а в тёплый период достигает 0,3-0,8°C (рис.2).

На температуру внутренней среды пещеры оказывает влияние, в первую очередь, интенсивность воздухообмена с дневной поверхностью через многочисленные трещины и входы. Во-вторых, одновременное присутствие в пещере до 300 и более человек при почти непрерывном использовании осветительных приборов, приводит к повышению общей внутренней температуры на 0,2-0,4°C, что является довольно существенным.

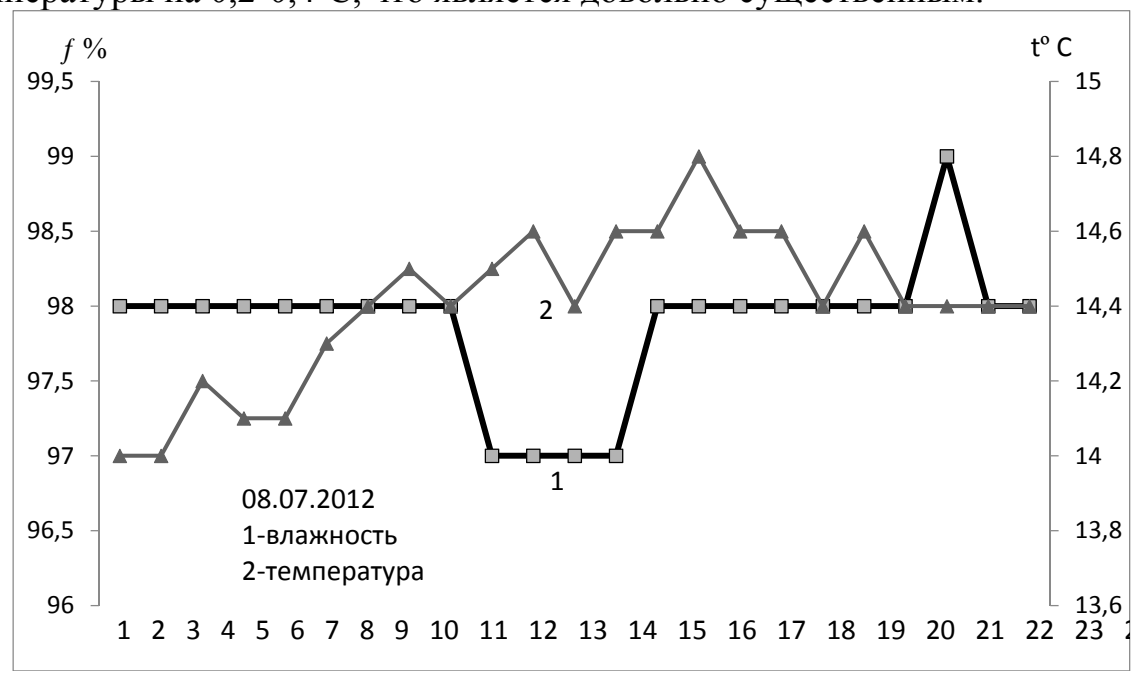


Рис.2. Суточный ход влажности (1) и температуры (2) внутри пещеры

На рис.3. видно, что среднегодовая температура внутри пещеры повысилась в среднем на 0,5-0,6°C.



Рис.3. Изменение температуры по годам с 2000 по 2011 гг.

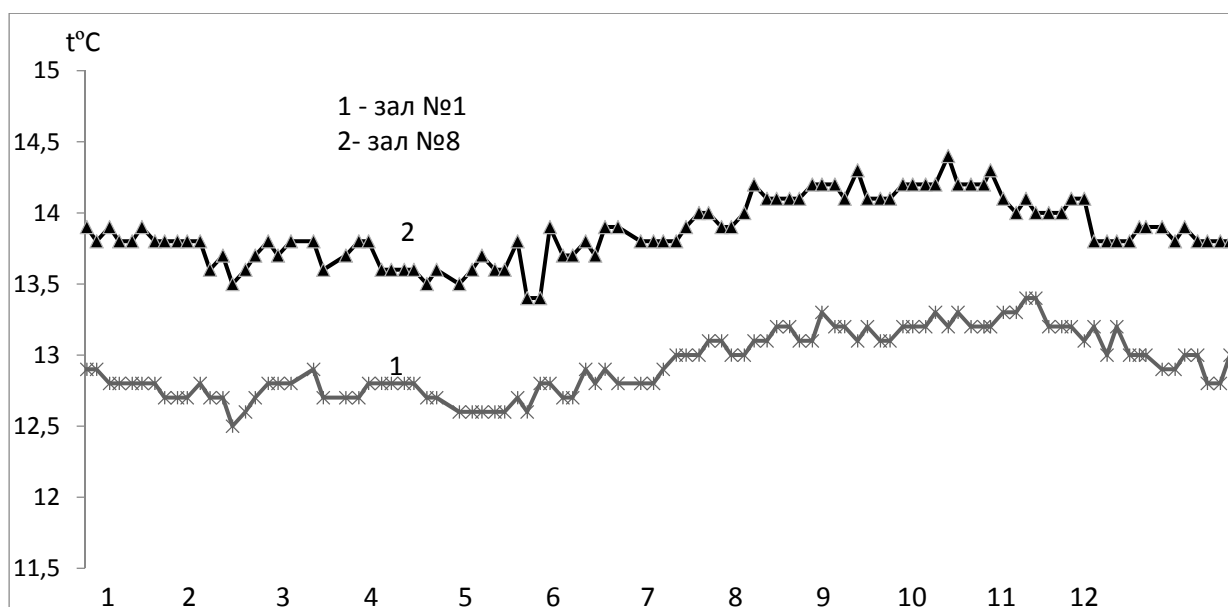


Рис.4. Сезонное распределение температуры внутри пещеры.

Последнее десятилетие характеризуется постоянным положительным трендом среднегодовых температур, что в определенной степени повторяет общую тенденцию регионального потепления. Значительные колебания среднегодовой температуры дневной поверхности Нового Афона (15,4-18,2°C) практически слабо влияют на средние значения температур внутри пещеры, что свидетельствует о слабом тепло-массообмене пещеры, особенно в переходные периоды. В сезонном распределении температур минимальные значения (13,5°C) наблюдаются в феврале-марте, в весенне-летний период происходит накопление тепла в пещере и в августе достигается максимум (14,5°C).

Оборудование пещеры для экскурсионного посещения предполагает нахождение в полости большого количества экскурсантов. Присутствие человека, несомненно, влияет на состояние микробиологической среды пещеры. Увеличивается содержание патогенных для человека микроорганизмов в воздухе пещеры.

Воздушный обмен с дневной поверхностью

Существенное влияние на движение воздуха под землёй оказывают: разность плотности воздуха в различных частях пещеры и вне ее, движение подземных водотоков, объемы полостей, характер их продольных профилей и т.д.

В карстовых полостях с восходящим дном, имеющих два и более входа, воздухообмен носит активный характер, он зависит от условий изменчивости погоды и атмосферных циркуляций; а в нисходящих пещерах, имеющих один вход, на воздухообмен более или менее влияет колебание температуры внешнего воздуха; чем больше разница между температурой подземного и внепещерного воздуха, тем резче выражена его трансформация.

В прошлом в Новоафонской пещере циркуляция воздуха осуществлялась посредством Анакопийской пропасти и закарстованных трещин. После ввода пещеры в эксплуатацию, в связи с прокладкой искусственных тоннелей и отдельных штолен, проветривание подземных залов стало интенсивнее.

Обычно принято считать, что, при равенстве температуры и влажности воздуха в пещере и вне ее, под землей наблюдаются штили. Однако это положение справедливо только для так называемых динамических полостей, так как в полостях с большим объемом и статическим режимом штили наблюдаются и в таких случаях, когда нарушено равенство температур и влажности воздуха подземной и наружной атмосферы. В теплый сезон, несмотря на самую большую разность температур воздуха между пещерой и поверхностью (15—20°C), движение воздуха в гигантских залах практически не замечается, и воздухообмен происходит только лишь на основе термической циркуляции. Самое ветреное место во всей Новоафонской пещерной системе — это древний сифонный канал, соединяющий две части пещерной системы — вертикальную и горизонтальную. Здесь почти в любое время года можно измерить скорость движения воздуха (1,2—4,3 м/сек). Но, все-таки, она максимальна в июле-августе. В это время холодный, более тяжелый воздух, стелясь по дну, направляется наружу, откуда в пещеру проникает теплый воздух (Табл.2).

Таблица 2. Осредненная скорость движения воздуха в Новоафонской пещере

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V, м/с	1,1	0,51	0,66	0,35	-0,63	-0,89	-0,39	-0,99	-0,56	-0,38	0,46	0,94

Измерение скорости воздушного потока в залах пещеры, наиболее интенсивно подверженных воздухообмену с дневной поверхностью проведенные в 2006-2012гг. [8-11], подтвердили наличие реверса в осенний и весенний периоды. При этом максимальные скорости потоков (4-5м/с) наблюдаются в мае, августе и январе, когда разности температур дневной поверхности и внутренней среды – максимальны.

На циркуляцию воздуха в Новоафонской пещере оказывает влияние также изменение атмосферного давления на поверхности карстового массива.

Сезонное распределение основных газовых компонентов в НАП

В 1972 году было начато исследование газового состава воздуха Новоафонской карстовой пещеры. пробы воздуха отбирались вдоль главной магистрали пещеры, анализы которых производились в химической лаборатории [5,6].

Ни в одной из проб, отобранных в Новоафонской пещере в холодный период, метан не был обнаружен, а содержание CO₂ постепенно (хотя

незначительно) возрастало по мере углубления в пещеру, возрастая в ее дальних, плохо вентилируемых коридорах.

Содержание кислорода здесь близко к норме, а такие ингредиенты, как пыль, сернистый газ, окись углерода содержатся в количествах меньших ПДК (рис.5).

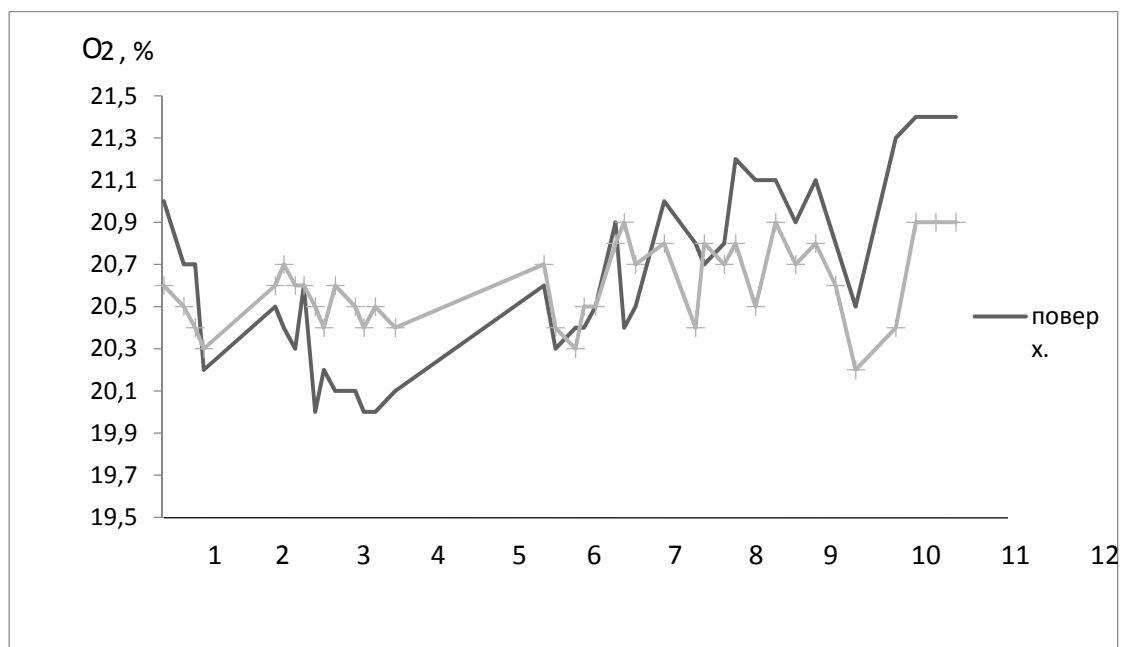


Рис.5. Сезонное изменение объёмной концентрации кислорода на поверхности и в пещере

В летний период, в самый разгар туристического сезона, когда сокращается интервал между туристическими группами под землёй, в северных залах пещеры, особенно во второй половине дня, явно чувствуется ухудшение климата, дышится не так свободно, как в утренние часы. Это показатель перегруженности пещеры посетителями и объясняется затрудненностью воздухообмена с внешней средой.

Происхождение загазованности карстовых полостей связывают как с особенностями геологического строения, того или иного участка карстующегося массива, так и с процессами аэробного разложения разнообразных органических веществ. Несколько повышенный фон CO₂, по всей вероятности, связан с обилием натечно-капельных агрегатов, точнее, частичным улетучиванием углекислого газа из эпизодически проникающих в ту часть пещеры трещино-карстовых вод.

Углекислый газ является наиболее изменчивым компонентом пещерного воздуха. Его содержание колеблется от 0,02 об.% (ближняя часть пещеры, рядом со входом) до 0,9 об.%, увеличиваясь к более удаленным от входа и слабо проветриваемым участкам пещеры. Но такое повышение может объясняться эндогенным происхождением углекислого газа. Вопрос увеличения концентрации углекислого газа в отдаленных и низменных участках пещеры наиболее актуален на сегодняшний период эксплуатации

пещеры, так как количество экскурсантов с каждым годом увеличивается и увеличивается количество выдыхаемой углекислоты.

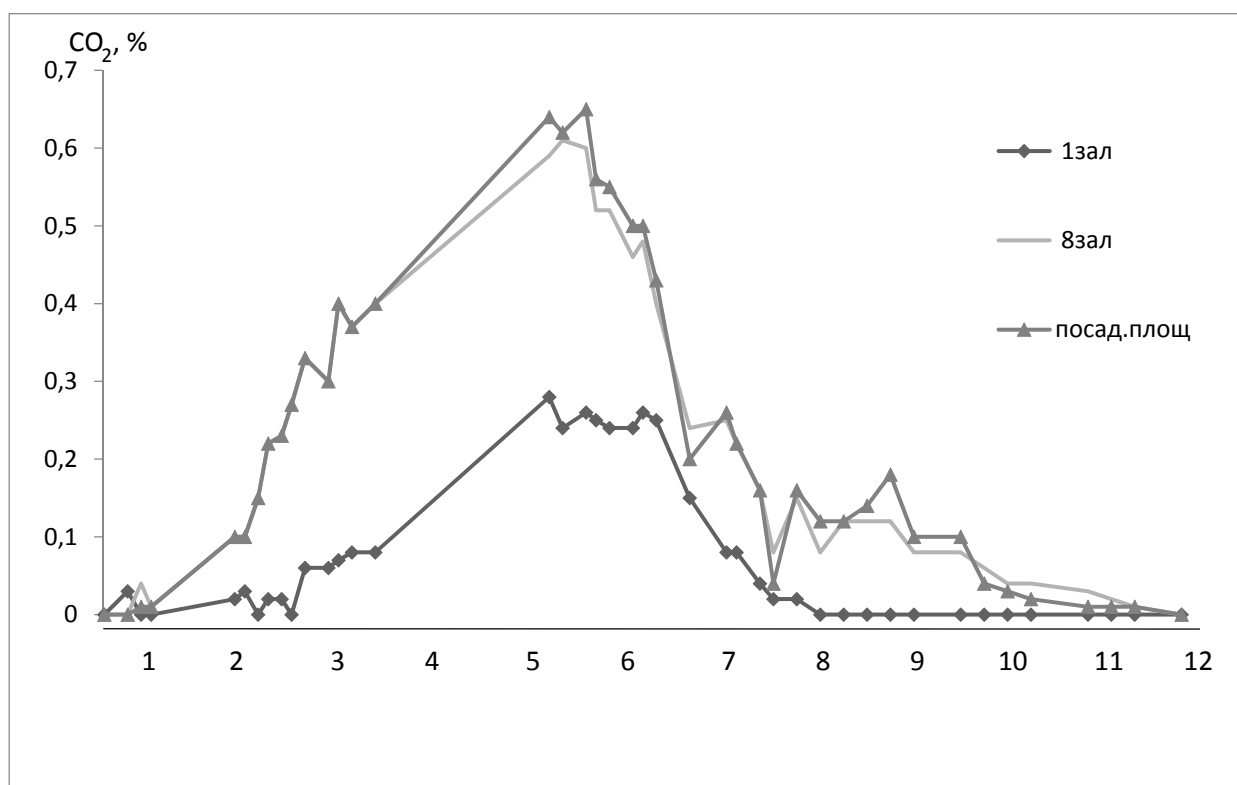


Рис. 6. Сезонное изменение содержания углекислого газа в пещере

Содержание углекислоты в воздухе пещеры, несмотря на, значительный размах значений в разные сезоны, обнаруживает четкую закономерность, увеличения углекислого газа от входа в пещеру к более отдаленным в плане и по глубине участкам. Такое распределение свидетельствует об эндогенном происхождении CO_2 . Эпизодически обнаруживаемые в составе воздуха низинных участков пещеры незначительного количества тяжелых углеводородов (метан и другие тяжелые углеводороды) подтверждают эту гипотезу. Кроме того, лабораторный анализ газового состава подземных вод, показал повышенное содержание CO_2 в воде, что свидетельствует об активном выделении растворенного в воде углекислого газа. Изучение состава воздуха в одних и тех же точках, но на разной высоте и в разных гидрогеологических условиях показало: при отсутствии воды, значительных отличий в содержании CO_2 на разных высотах не обнаруживается.

Таким образом, основными источниками углекислого газа в залах пещеры являются: просачивающиеся через многочисленные трещины дна пещеры газы эндогенного происхождения; подземные воды глубинного генезиса; инфильтрационные воды, обогащённые углекислым газом почвы и трещинно-карстовых образований с активными деструктивными процессами. Незначительное влияние на эти процессы могут оказывать выделение CO_2 при активном формировании натёчных кальцитовых образований, разложении органики адвективного происхождения, а также выделение углекислого газа антропогенного происхождения. К стати, непосредственные измерения

концентрации CO_2 по основным маршрутам движения туристов не показал, сколь-нибудь значимого отклонения по отношению к удалённым от маршрута пунктам наблюдения.

Основной причиной накопления углекислого газа в пещере, по нашему мнению, является слабый воздухообмен, затруднённый отток воздуха из пещеры в связи с втягиванием воздуха в пещеру по основным воздухопроводным каналам в летнее время.

Заключение

Экологическое состояние Новоафонского пещерного комплекса определяется степенью естественного и антропогенного воздействия.

Температурный режим связан не только с широтным положением и гипсометрией, но и морфологическими особенностями пещеры. Искусственное электрическое освещение пещеры, интенсивное посещение пещеры экскурсионными группами, все эти факторы в свою очередь в разной степени влияют на элементы микроклимата пещеры. Выявлено, что среднегодовая температура внутри пещеры повысилась в среднем на $0,5^0-0,8^0\text{C}$

Влажность внутри пещеры больше в зимние месяцы 98% и меньше летом 96%. В отдельных залах пещеры (Каньон) влажность понижена до 92%, что приводит к дегидратации, растрескиванию натёчных образований и потере аттрактивности.

Проветривание залов Новоафонской пещеры осуществляется по системам колодцев и шахт Анакопийской пропасти. На движение воздуха под землей оказывает влияние разность плотности воздуха в различных частях пещеры и вне её.

Сезонное распределение кислорода O_2 находится в пределах 19,9-21,3%, что соответствует норме.

Распределение углекислого газа (CO_2) носит ярко выраженный сезонный характер. Его концентрация в северных залах в весенне-летний период возрастает до 0,5-0,7 % (при норме 0,03%), что связано не только с антропогенным фактором, а в первую очередь со слабым оттоком воздуха из пещеры в этот период.

Слабый воздухообмен и его практически полное отсутствие в весенний и осенний сезоны ограничивают количество туристов, допускаемых в пещеру.

Литература:

1. Гамкрелидзе П.Д. "Геология СССР", Грузинская ССР гл. "Тектоника". Изд. "Недра", 1964, 360 с.
2. Гвоздецкий Н.А. "Проблемы изучения карста и практика"// Изд."Мысль". 1977. 392 с.
3. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Пермское книжное издательство. Пермь. 1963, 260 с.
4. Супаташвили Г.Д. Некоторые закономерности формирования химического состава атмосферных осадков в Грузинской ССР. Тр. ин-та Океанологии, М, изд. Наука АН СССР, 1973, т.63, С.72-91.

5. Тинтилозов З.К. Карстовые пещеры Грузии изд. «Мецниереба» Тбилиси 1976, 276 с.
6. Тинтилозов З.К. Новоафонская пещерная система. Изд. Мецниереба, Тбилиси, 1983, 149 с.
7. Цикаришвили К.Д. Изучение микроклимата Ново-Афонской пещеры. «Пещеры Грузии», Изд. Мецниереба, Тбилиси, 1978, 250 с.
8. Эмба Я.А., Дбар Р.С., Ахсалба А.К. Исследования загрязнения атмосферных осадков на территории Абхазии. Материалы 2-ой н-п конф. "Актуальные проблемы экологии...", Майкоп 2002, С.76-78.
9. Эмба Я.А., Дбар Р.С. Особенности антропогенного воздействия на экосистемы карстовых пещер Абхазии. Тр. междунар. конф. «Горные экосистемы и их компоненты». - Нальчик. Изд. КБ НЦ РАН, т. II, 2005, с. 187-192.
10. Эмба Я.А., Дбар Р.С. Экологическая климатология и природные ландшафты Абхазии. Сочи, Папирус-М-Дизайн». 2007. 324 с.
11. Эмба Я.А., Дбар Р.С. Динамика микроклимата карстовых пещер в условиях рекреационных нагрузок. Тр. междунар. конф. «Горные экосистемы и их компоненты». Ч.3. М. ТНИ КМК. 2007, С.195-202.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант (Абх_а) 13-05-90306.

**ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ
И ГЕОЭКОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Материалы
III Международной научно-практической конференции**

Подписано в печать 07.05.2015. Формат бумаги 60x84/16. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Гарнитура Таймс. Усл. п.л. 16,4. Тираж 500. Заказ 025.

Отпечатано с готового оригинал-макета
на участке оперативной полиграфии
ИП Кучеренко В.О. 385008, г. Майкоп, ул. Пионерская, 411/76.
Тел. для справок 8-928-470-36-87. E-mail: slv01.maykop.ru@gmail.com