

УДК
ББК

Редакционная коллегия:

Овсянникова Т.А. – докт. филос. наук, профессор
Беданок М.К. – докт. экон. наук, профессор
Куижева С.К. - канд. физ.-мат. наук, доцент
Дёмина Т.И. - канд. физ.-мат. наук, доцент

Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий: Материалы II Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию МГТУ. – Майкоп: ИП Магарин О.Г., 2013. – 288 с.

ISBN

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 Институтом космических исследований Российской академии наук при участии Управления по охране окружающей среды, природными ресурсами и чрезвычайным ситуациям Республики Адыгея, проведённой в г. Майкопе 14 – 17 мая 2013 г.

© ФГБОУ ВПО «МГТУ»
© ИКИ РАН

СОДЕРЖАНИЕ

Hoechner A., Ge M., Babeyko A.Y., Sobolev S.V. Instant Tsunami Early Warning based on Real Time GPS – Tohoku 2011 case study	5
Karimova S. Impact of non-stationary mesoscale eddies in the Black sea on vertical water structure	15
Khokonov A.Kh., Merlichenko S.B., Eneev M.M., Ilgashev V.S., Savoiskii Yu.V. Results from Neutron Monitoring at the Elbrus High-Mountain Cosmic Ray Spectrograph	25
Khokonov A.Kh. Capillary oscillations of the drop immersed in a liquid with taking into account the damping due to viscosity	30
Fúster A.A, Sanjuán D.G., Díaz R.G., Rodríguez R.R., Julián B.C. Average of regular structures using asymptotic homogenization method. Composite shells	34
Акатов В.В. Антропогенная фрагментация природных ландшафтов и эффект отложенного вымирания видов	43
Артамонов А.М. Теоретические подходы к обеспечению экологической безопасности АЗК за счет сокращения потерь при испарении нефтепродуктов	49
Артамонова В.В. Проблемы утилизации отходов автомоек на станциях технического обслуживания и подходы к их решению	54
Ахсалба А.К., Экба Я.А. Влияние изменений климата на урожайность цитрусовых культур в Абхазии	57
Балкарова С.Б., Шогенова М.М. Обобщение экспериментальных данных по времени полного затвердевания капель воды	65
Беданокhov М.К., Берзегова Р.Б. Моделирование обтекания гор произвольного профиля и климат (Кисловодск)	68
Волкодав И.Г. Россыпное золото Адыгеи: проблемы попутного извлечения	80
Гицба Я.В., Экба Я.А. Особенности нефтеуглеводородных загрязнений абхазской акватории Черного моря	89
Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю., Шакун В.П. Использование ГИС-технологий в области возобновляемой энергетики	97
Компанцев Д.В., Хатко З.Н. Перспективы использования наночастиц серебра в бальнеологии и восстановительной медицине	107
Кориневич Л.А. Развитие опасных геологических процессов в верховьях р. Мутный тепляк в 2012 году	112

Куижева С.К., Паланджянц Л.Ж. Характеристические системы уравнений для некоторого класса алгебраических дифференциальных уравнений	121
Курбатова И.Е. Геоэкологический мониторинг Краснодарского водохранилища: системный подход к организации и информационному обеспечению	126
Кучинская Е.А., Финогенова Н.С. Опыт применения эйхорнии для доочистки сточных вод на ОСК города Лабинска	137
Лаврова О.Ю., Серебряный А.Н. Влияние динамических процессов на распространение загрязнений в прибрежной зоне (подспутниковые измерения в сентябре-октябре 2011 г. в районе Геленджикской бухты)	141
Лебедев С.А., Костяной А.Г. Спутниковый мониторинг трансграничных вод России и Эстонии	152
Митягина М.И., Лаврова О.Ю., Лупян Е.А., Уваров И.А. Использование спутникового информационного сервиса <i>See the Sea</i> для комплексного анализа данных дистанционного зондирования и выявления нефтяного загрязнения Балтийского и Каспийского морей ...	171
Очерет Н.П. Степень влияния антропогенных факторов на почвенный покров Республики Адыгея	181
Савицкий О.А. Работы НОЦ КИММ ЮФУ в области дистанционного мониторинга водных природных систем и объектов морской инфраструктуры	185
Сарбаев В.И. Системный подход к проблемам обеспечения экологической безопасности автомобильного транспорта	190
Солодухин А.А. Сравнительный анализ движений тектонических элементов территории по инструментальным и модельным данным	199
Сычев В.И. Динамика прибрежной зоны, материкового и морского ледяного покрова по многозональным спутниковым данным в контексте климатических изменений	206
Тах И.П. Изучение ферментативной активности почв лесостепного пояса Северо-Западного Кавказа	212
Тах И.П., Агиров А.Х. Особенности ферментативной активности почв степной зоны Кубанского варианта поясности Северо-Западного Кавказа	219
Тороян Р.А. Нормирование концентраций тяжёлых металлов в донных отложениях р. Белая (Северо-Западного Кавказа) природными сорбентами	226
Тороян Р.А. Тяжелые металлы в водной экосистеме реки Белая Северо-Западного Кавказа	230

Хоконов А.Х., Хамукова Л.А., Доттуева М.В. Получение уравнения состояния ванн-дер-ваальсовских систем вблизи точки конденсации с помощью параллельных вычислительных технологий	238
Хоконов А.Х., Ахматов З.А. Алгебраический метод реконструкции изображения для позитронно-эмиссионной томографии	244
Черепанцев А.С. Временная изменчивость параметров динамической системы вариаций объемной деформации	252
Ширяев В.Т., Хоконов А.Х., Масаев М.Б., Шестак Д.С. Установка для одновременного мониторинга мюонной компоненты космических лучей, α -частиц и тепловых нейтронов сцинтилляционным методом	258
Шогенова М.М., Балкарова С.Б. Льдообразующая активность естественного аэрозоля в зависимости от механизма нуклеации льда	266
Шоранова Л.О., Леднев О.Б., Бештоев Б.З., Беданокв А.Ю. Процессы горения полимеров в конденсированной фазе	273
Экба Я.А., Дбар Р.С., Ахсалба А.К., Барциц К.Л. Естественное и антропогенное воздействие на карстовые пещеры и их экологическая безопасность	278

INSTANT TSUNAMI EARLY WARNING BASED ON REAL TIME GPS – TOHOKU 2011 CASE STUDY

A. Hoechner, M. Ge, A.Y. Babeyko, S.V. Sobolev

GFZ German Research Centre for Geosciences (Potsdam, Germany)

E-mail: babeyko@gfz-potsdam.de

1 Abstract

Taking the 2011 Tohoku earthquake as an example, we demonstrate the ability of real-time GPS to provide qualified tsunami early warning within minutes. While in earlier studies, we demonstrated the power of the so-called GPS shield concept based on synthetic data, we here present a complete processing chain starting from actual GPS raw data and fully simulate the situation as it would be in a warning center. The procedure includes processing of GPS observations with predicted high precision orbits, inversion for slip and computation of the tsunami propagation and coastal warning levels. We show that in case of the Tohoku earthquake, it would be feasible to provide accurate tsunami warning as soon as 3 minutes after the beginning of the earthquake.

2 Introduction

2.1 The Tohoku earthquake and tsunami

The magnitude $M_w=9.0$ Tohoku earthquake on March 11, 2011, with epicenter at 142.9°E 38.1°N (JMA) was the largest event ever instrumentally observed in Japan, and the fourth largest world wide. In the last century, 22 earthquakes with magnitude between 7.5 and 8.3 occurred in that region [1], but the last event of comparable size was probably the Jogan Sanriku earthquake in 869, which has been assigned an upper magnitude estimate of 8.9 according to associated tsunami deposits reaching as far as 4 km inland. Two additionally identified sediment layers indicate a possible recurrence interval of about 1000 years for these giant events [2].

The earthquake-generated tsunami which affected the Sendai, Miyagi and Iwate prefectures within less than half an hour, demonstrated run-ups exceeding 40 meters [3] and locally inundated up to 5 km inland [4]. It caused more than 15,000 fatalities and massive devastation including damage of the Fukushima nuclear power plant.

Due to numerous and various sensor networks deployed in Japan and in the Pacific, this event is now the most extensively recorded megathrust event ever. Coseismic deformation was recorded by the GEONET GPS array [5] and deduced by sea floor geodesy [6]. Source parameters were the scope of many investigations including inversion of ocean data, seismic waveforms, as well as joint inversions [7,8]. Most studies reveal a compact slip distribution [9], very high maximum slip and average slip about twice as high as for the $M_w=9.3$ Sumatra earthquake [10].

2.2 GPS in tsunami early warning

Near-field tsunami early warning systems (TEWS) for coastal regions exposed to subduction earthquakes should be able to provide a warning as early as

5 to 10 minutes after an earthquake. Working within this time limit, traditional seismic methods tend to underestimate the total moment magnitude in case of giant (Sumatra 2004, Tohoku 2011) as well as slow, 'tsunami' earthquakes (Java 2006, Mentawai 2010).

In case of the Tohoku event, the first tsunami warning bulletin was issued by the Japan Meteorological Agency (JMA) already 3 minutes after origin time and was based on the $M_{\text{JMA}}=7.9$ magnitude estimate of the earthquake early warning (EEW) system. Based on this earthquake magnitude and location, major tsunami warning was declared for the three nearby prefectures. While being rated as 'major', the warning still significantly underestimated the true coastal tsunami impact due to large magnitude underestimation: M_{JMA} saturates for events with $M_{\text{W}}>8.0$ [11]. The JMA magnitude was revised to $M_{\text{W}}=8.4$ after one hour and twenty minutes, and then, after 3 hours, further upgraded to $M_{\text{W}}=8.8$. Only after several days, the earthquake was found to have $M_{\text{W}}=9.0$ [12,13]. Thus, the earthquake was dramatically underestimated during the period of highest tsunami activity. In fact, real seismic moment results to be more than 30 times larger than reported in the beginning.

Recent progress in high-precision real time GPS processing makes GPS arrays a valuable component of near-field TEWS [14,15,12,16,17]. GPS receivers placed close to the epicentre minimize response time while not suffering from clipping as broadband seismometers or tilting effects on accelerometers when integrating for displacement. They directly measure surface deformation, which is crucial for tsunami source inversion. Started after the event of Sumatra 2004, the concept of the 'GPS shield' was proposed [16,17], where we suggested to incorporate GPS-based tsunami early warning in all tsunami prone areas world wide including Japan and which is now becoming an operative part of the German Indonesian Tsunami Early Warning System GITEWS [18,19].

The Geospatial Information Authority of Japan operates the unique GEONET array comprising more than 1200 real-time GPS stations. While not yet integrated into the tsunami early warning procedure, this network has great potential to contribute. We demonstrate this by replaying the Tohoku 2011 event. To do so, we combine real-time GPS Precise Point Positioning (PPP) processing software developed at the German Research Centre for Geosciences in Potsdam [20], with fast slip inversion and tsunami computation. This allows observing of the earthquake growth in almost real-time and simultaneously computing tsunami warning levels.

It is important to note that our primary goal in this study is not to provide the most accurate source model, but to show that even a fast inversion of real time quality data from a limited number of GPS stations provides a source model which is adequate for tsunami early warning purposes.

3 Methods

3.1 Geodetic data and real-time processing

We use GPS raw data from the GEONET array operated by the Geospatial Information Authority of Japan [5] from one day before to one day after the earthquake, with a sampling interval of 30 seconds. Of the more than 1200 stations

we select a subset as illustrated in the upper left panel of Fig. 1: the orange dots are on epicentral rays up to 550 km distance at increasing spacing. The first two GPS stations on each ray are selected.

We employ the PPP (Precise Point Positioning) approach [21]. GFZ has been working on real-time GNSS data processing software since 2007 for various applications in geosciences. The EPOS-RT software [20] is now providing real-time global PPP service with ambiguities fixing of 2-3 cm-level accuracy [22]. In this study we use exactly the same processing strategy to simulate the real-time PPP service to assess the capability of such a service in a tsunami early warning system. We use data of about 90 IGS reference stations to estimate satellite clocks epoch-by-epoch with the predicted part of the IGS Ultra-Rapid orbits fixed. With the estimated clocks and the fixed orbits kept in a file, PPP is carried out in simulated real-time kinematic mode with an inter-epoch constraint on station coordinates of $0.05\text{m}/\sqrt{s}$. Therefore the whole data processing is a replay of the real-time PPP service running at GFZ. In order to get an accuracy of 1 cm in horizontal components and 2-4 cm in vertical [23], a convergence phase of 1 to 2 hours is needed, which is in general not a problem for the continuously operational monitoring stations.

The lower panels of Fig. 1 show obtained displacement time series with 30 seconds sampling interval for the four stations depicted in the upper left panel. Stations close to the source (middle left panel) show ramp-like behavior and large static displacements. Far away stations (lower right panel) show more wave-like signals and small static displacements.

3.2 Slip inversion

The inversion procedure follows a straightforward static approach. An inversion of the 3 component displacements of the selected stations is performed every 30 seconds using Green's functions for elastic deformation of a layered medium computed using code PSGRN/PSCMP [24]. Fault geometry consists of 216 rectangular subfaults on a curved surface with varying dip angle based on RUM slab geometry [25]. The resulting slip coefficients minimize a cost function consisting of chi-square-reduced (misfit), smoothing terms for slip magnitude and azimuth including boundary conditions. Calibration of the inversion procedure is done (in advance) using synthetic forward models comprising checkerboard, homogenous and realistic slip distributions by adding noise to the virtual GPS signal and comparing the inverted to the forward model [26]. Resolution analyses for several hypothetical GPS sites constellations and assumed GPS real-time accuracies for Sumatra and Japan were presented earlier [27].

3.3 Tsunami modeling

The coseismic vertical sea floor deformation associated with the different slip models is used as initial conditions for tsunami modeling. Tsunami wave propagation was computed with our own code named *easyWave* on a 2 arc minute grid resampled from the ETOPO1 global bathymetry [28]. *easyWave* integrates shallow-water equations in their linear approximation in spherical coordinates. Boundary conditions impose full reflection on land and free transmission at the

open sea boundary. Computational time step is selected according to the Courant stability criterium and varies according to bathymetry and grid resolution.

By organizing the computation on an expanding grid, solving of shallow-water equations in linear approximation becomes computationally very efficient. Even using serial version of *easyWave*, we can estimate the tsunami impact at the nearby Japanese coast within 10-15 seconds. Since inundation modeling is not performed directly, run-ups are extrapolated from offshore positions (typically, in 50–100 m water depth) using Green’s law accounting for wave shoaling, an approach which is also employed by the Japanese tsunami early warning system [29].

The left panel of Fig. 2 shows maximum wave heights in the Pacific predicted by the model inverted after 180 seconds. Computations for much larger distances and much longer model times (like the whole Pacific) require, of course, longer simulation runs with the serial version of *easyWave*. However, our first experience with the GPU (Graphical Processing Units) – parallelized *easyWave* version show that we still can provide trans-oceanic simulations in about a minute.

4 Results

Figure 3 shows real time horizontal displacements at the GPS stations, inverted source models and predicted coastal wave heights for 60, 90 and 180 seconds after earthquake origin time. Here, time denotes the lower limit imposed by physics, that is rupture propagation and seismic wave travel time. Processing time is discussed in Section 5. The coloring scheme roughly follows the JMA thresholds, additionally showing in magenta peak coastal amplitudes exceeding 10 meters.

One minute after origin time, inverted maximum slip is around 6 meters (see table in Fig. 3). Nevertheless, the estimated magnitude already corresponds to $M_W=8.4$ and warning levels show major tsunami warning for the Sendai prefecture. 30 seconds later, the estimate reaches $M_W=8.7$. Large coastal areas are already expected to have more than 10 m peak wave height. The slip model stabilizes about three minutes after origin time. Magnitude reaches its final value of $M_W=9.0$. Peak wave height prediction is 29 m.

Mareograms computed at this time are compared to observations in the right panels of Fig. 2. Far-distant buoys (D21413 and D32412) [30] show good correlation. For the nearest buoy (D21418), the model results in amplitude and high frequency deficit. This is probably because of inadequacy to fully resolve a high-slip area close to the trench [7], but additionally a submarine land slide may be involved. In general, fit is reasonable, total moment is well resolved, and accurate tsunami early warning is possible for transoceanic tsunami as well.

The lowermost panel of Fig. 3 contains field measurements of coastal wave heights [3] mapped to our points of interest and color scheme. Comparison of the warning forecast made after 3 minutes shows the high quality of GPS-based instant forecasting for the Tohoku event.

5 Discussion

GPS monitoring in regions close to subduction zones has been operational in several places worldwide for many years (e.g. Japan, Indonesia, Chile, Cascadia).

However, to our knowledge there is not a single example for successful tsunami early warning based on GPS up to now. We stress the importance that existing stations be integrated into tsunami early warning systems, and that additional stations be set up at strategic positions specifically suitable for that purpose.

In case of the Tohoku earthquake and tsunami, an accurate tsunami warning based on GPS could have been issued about three minutes after beginning of the earthquake. This lower limit is given by the time it takes to complete the rupturing process and the time it takes for the seismic waves to reach the receivers. Additional time is required to locally process GPS raw data using high precision satellite orbit estimates and to transmit displacement data to the warning center (10 s), to invert for the source model (30 s or less, depending on technique), and to compute tsunami propagation (10 s for nearby coastal regions), all in all less than 1 minute. This should be motivation enough to implement permanent real-time GPS networks along all subduction zones and provide data quality and access on a level as the well-established seismic networks have been providing for years.

6 Acknowledgements

We thank the Geographical Survey Institute of the Government of Japan for making GEONET data available. Funding of the first author was provided by TRIDEC and CEDIM projects.

7 References

- [1] USGS: Global Earthquake Search, http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/epic_global.php, 2012.
- [2] Minoura, K., Imamura, F., Sugawara, D., Kono, Y. and Iwashita, T.: The 869 Jogan tsunami deposit and recurrence interval of large-scale tsunami on the Pacific coast of northeast Japan, *Journal of Natural Disaster Science*, 23, 83–88, 2001.
- [3] Mori, N., Takahashi, T. and The 2011 Tohoku earthquake tsunami joint survey group: Nationwide post event survey and analysis of the 2011 Tohoku earthquake tsunami, *Coastal Engineering Journal*, 54(01), 1250001–1, doi:10.1142/S0578563412500015, 2012.
- [4] Fujii, Y., Satake, K., Sakai, S., Shinohara, M. and Kanazawa, T.: Tsunami source of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, *Earth Planets Space*, 63(7), 815–820, doi:10.5047/eps.2011.06.010, 2011.
- [5] GSI: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake: Crustal Deformation and Fault Model, <http://www.gsi.go.jp/cais/topic110421-index-e.html>, 2011.
- [6] Sato, M., Ishikawa, T., Ujihara, N., Yoshida, S., Fujita, M., Mochizuki, M. and Asada, A.: Displacement Above the Hypocenter of the 2011 Tohoku-Oki Earthquake, *Science*, doi:10.1126/science.1207401, 2011.
- [7] Romano, F., Piatanesi, A., Lorito, S., D’Agostino, N., Hirata, K., Atzori, S., Yamazaki, Y. and Cocco, M.: Clues from joint inversion of tsunami and geodetic data of the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Sci. Rep.*, 2, doi:10.1038/srep00385, 2012.
- [8] Yokota, Y., Koketsu, K., Fujii, Y., Satake, K., Sakai, S., Shinohara, M. and Kanazawa, T.: Joint inversion of strong motion, teleseismic, geodetic, and

tsunami datasets for the rupture process of the 2011 Tohoku earthquake, *Geophysical Research Letters*, 38, doi:10.1029/2011GL050098, 2011.

[9] Pollitz, F. F., Buergermann, R. and Banerjee, P.: Geodetic slip model of the 2011 M9.0 Tohoku earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 38, doi:10.1029/2011GL048632, 2011.

[10] Tajima, F., Mori, J. and Kennett, B. L. N.: A review of the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Mw 9.0): Large-scale rupture across heterogeneous plate coupling, *Tectonophysics*, 586(0), 15–34, doi:10.1016/j.tecto.2012.09.014, 2013.

[11] Hoshiya, M., Iwakiri, K., Hayashimoto, N., Shimoyama, T., Hirano, K., Yamada, Y., Ishigaki, Y. and Kikuta, H.: Outline of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Mw 9.0) - Earthquake Early Warning and observed seismic intensity, *Earth Planets Space*, 63(7), 547–551, doi:10.5047/eps.2011.05.031, 2011.

[12] Ohta, Y., Kobayashi, T., Tsushima, H., Miura, S., Hino, R., Takasu, T., Fujimoto, H., Inuma, T., Tachibana, K., Demachi, T., Sato, T., et al.: Quasi real-time fault model estimation for near-field tsunami forecasting based on RTK-GPS analysis: Application to the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Mw 9.0), *J. Geophys. Res.*, 117, 16 PP., doi:201210.1029/2011JB008750, 2012.

[13] Ozaki, T.: Outline of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (M-w 9.0)-Tsunami warnings/advisories and observations, *Earth Planets Space*, 63(7), 827–830, doi:10.5047/eps.2011.06.029, 2011.

[14] Blewitt, G., Hammond, W., Kreemer, C., Plag, H.-P., Stein, S. and Okal, E.: GPS for real-time earthquake source determination and tsunami warning systems, *Journal of Geodesy*, 83(3), 335–343, doi:10.1007/s00190-008-0262-5, 2009.

[15] Blewitt, G., Kreemer, C., Hammond, W. C., Plag, H.-P., Stein, S. and Okal, E.: Rapid determination of earthquake magnitude using GPS for tsunami warning systems, *Geophys. Res. Lett.*, 33(11), doi:10.1029/2006GL026145, 2006.

[16] Sobolev, S. V., Babeyko, A. Y., Wang, R., Galas, R., Rothacher, M., Lauterjung, J., Sein, D., Schröter, J. and Subarya, C.: Towards Real-Time Tsunami Amplitude Prediction, *Eos Trans. AGU*, 87(37), P. 374, doi:200610.1029/2006EO370003, 2006.

[17] Sobolev, S. V., Babeyko, A. Y., Wang, R., Hoechner, A., Galas, R., Rothacher, M., Sein, D. J., Schröter, J., Lauterjung, J. and Subarya, C.: Tsunami early warning using GPS-Shield arrays, *J. Geophys. Res.*, 112, B08415, doi:10.1029/2006JB004640, 2007.

[18] Babeyko, A. Y., Hoechner, A. and Sobolev, S. V.: Source modeling and inversion with near real-time GPS: a GITEWS perspective for Indonesia, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10(7), 1617–1627, doi:10.5194/nhess-10-1617-2010, 2010.

[19] Falck, C., Ramatschi, M., Subarya, C., Bartsch, M., Merx, A., Hoeberechts, J. and Schmidt, G.: Near real-time GPS applications for tsunami early warning systems, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10(2), 181–189, doi:10.5194/nhess-10-181-2010, 2010.

[20] Ge, M., Chen, J. and Gendt, G.: EPOS-RT: Software for Real-time GNSS Data Processing,, *Geophysical Research Abstracts*, 11, EGU2009–8933,

2009.

[21] Shi, C., Lou, Y., Zhang, H., Zhao, Q., Geng, J., Wang, R., Fang, R. and Liu, J.: Seismic deformation of the M-w 8.0 Wenchuan earthquake from high-rate GPS observations, *Adv. Space Res.*, 46(2), 228–235, doi:10.1016/j.asr.2010.03.006, 2010.

[22] Ge, M., Dousa, J., Li, X., Ramatschi, M. and Wickert, J.: A Novel Real-Time Precise Positioning Service System: Global Precise Point Positioning with Regional Augmentation, *Proceedings of the 3rd Int. colloquium - Galileo Science*, 2011.

[23] Geng, J., Meng, X., Dodson, A. H., Ge, M. and Teferle, F. N.: Rapid re-convergences to ambiguity-fixed solutions in precise point positioning, *J. Geodesy*, 84(12), 705–714, doi:10.1007/s00190-010-0404-4, 2010.

[24] Wang, R., Lorenzo-Martín, F. and Roth, F.: PSGRN/PSCMP--a new code for calculating co- and post-seismic deformation, geoid and gravity changes based on the viscoelastic-gravitational dislocation theory, *Computers & Geosciences*, 32(4), 527–541, doi:10.1016/j.cageo.2005.08.006, 2006.

[25] Gudmundsson, Ó. and Sambridge, M.: A regionalized upper mantle (RUM) seismic model, *J. Geophys. Res.*, 103(B4), PP. 7121–7136, doi:199810.1029/97JB02488, 1998.

[26] Hoechner, A., Babeyko, A. Y. and Sobolev, S. V.: Enhanced GPS inversion technique applied to the 2004 Sumatra earthquake and tsunami, *Geophys. Res. Lett.*, 35, 5 PP., doi:200810.1029/2007GL033133, 2008.

[27] Babeyko, A. Y. and Hoechner, A.: Accuracy of tsunami source inversion with real-time GPS, *Geophysical Research Abstracts*, 14, EGU2012–4571, 2012.

[28] Amante, C. and Eakins, B. W.: ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis, NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC, 24, 19 pp, 2009.

[29] Kamigaichi, O.: Tsunami forecasting and warning, in *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, pp. 9592–9618, Springer, Edited by R. A. Meyers., 2009.

[30] DART: National Data Buoy Center, <http://www.ndbc.noaa.gov/dart.shtml>, 2012.

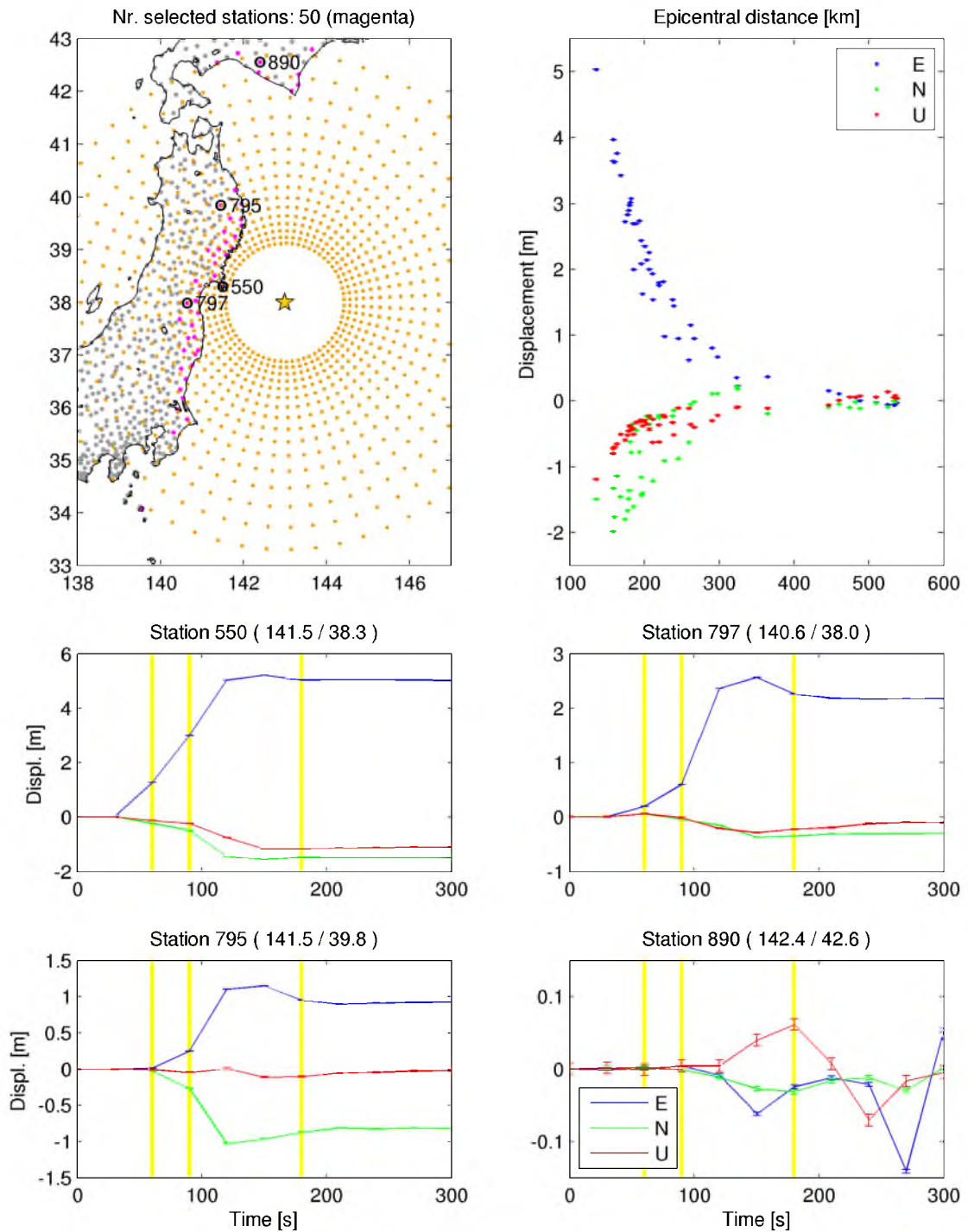


Figure 1. Upper left panel: Grey dots: GEONET stations, magenta: selected stations for real-time inversion, orange: epicentral rays used to select the subset of stations. Circles: stations shown in the lower panels. Upper right panel: Coseismic displacement as a function of epicentral distance for the selected stations. Lower panels: Real time displacement solutions at 30 seconds sampling interval. The yellow bars indicate the time points for which inversions are shown in Figure 3.

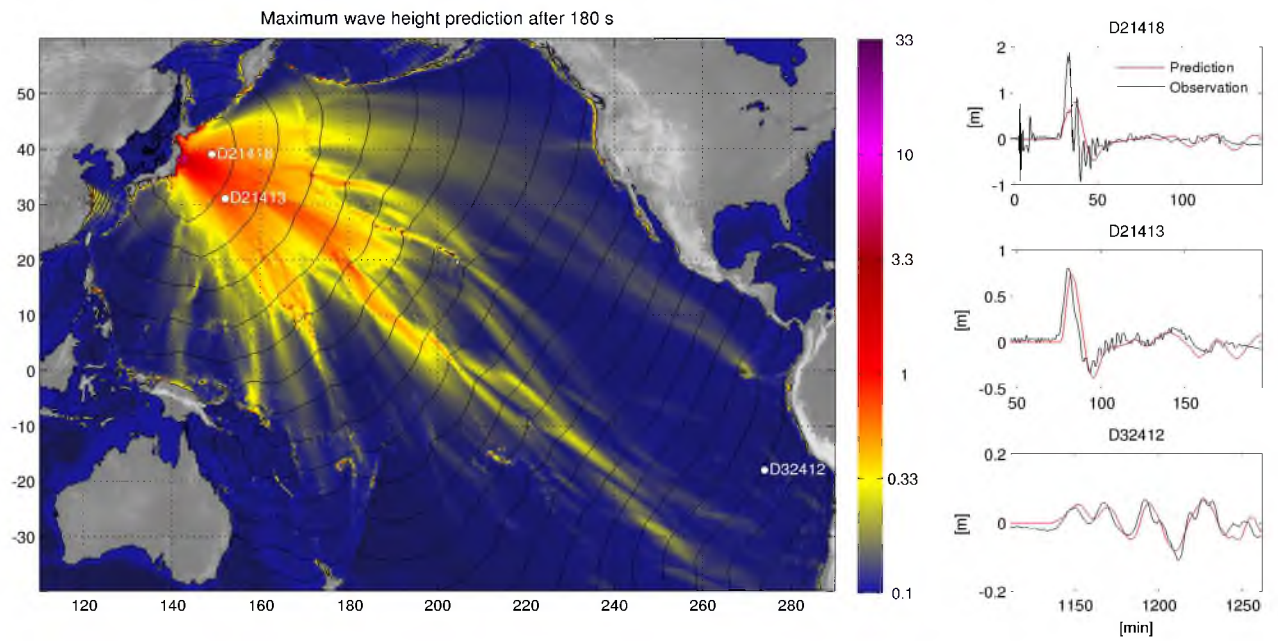


Figure 2. Left panel: Maximum wave heights in the Pacific predicted by the model inverted after 180 seconds. Thin black lines are isochrones in 1 hour intervals. White dots denote positions of the buoys for which model and observation are shown in the right panels.

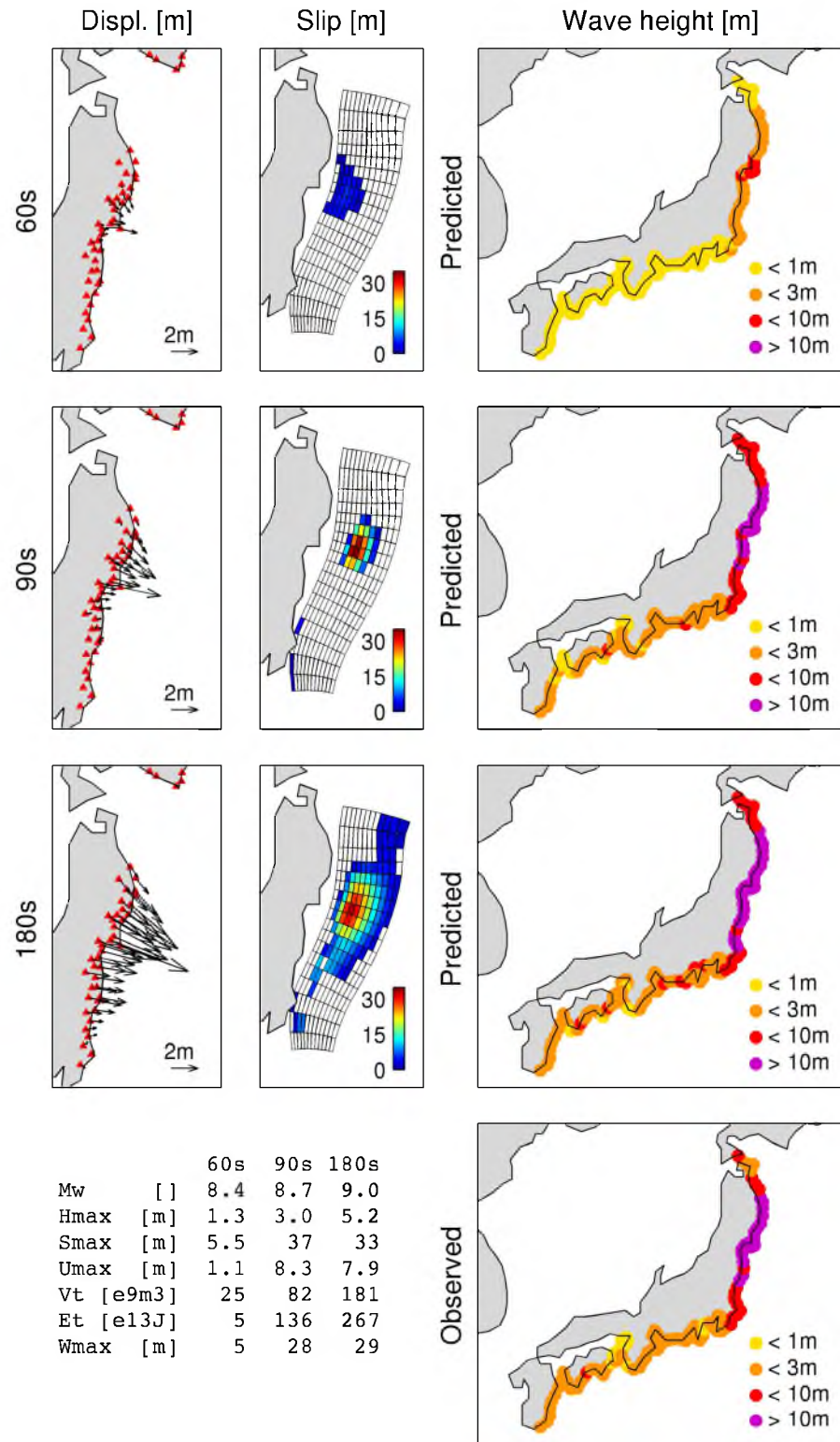


Figure 3. Real time GPS displacements (left panels) are inverted for slip at the fault (middle panels). These source models are used to compute estimated coastal tsunami wave heights (right panels). Lower right panel: Observed wave heights. The table contains key characteristics of the three succeeding earthquake and tsunami models: Mw: moment magnitude, Hmax: Maximum observed horizontal displacement at the GPS stations, Smax: Maximum inverted slip at the fault, Umax: Maximum modeled uplift at the sea floor, Vt: Initial Tsunami volume, Et: Initial Tsunami potential energy, Wmax: Maximum estimated wave height at the coastal points of interest.

IMPACT OF NON-STATIONARY MESOSCALE EDDIES IN THE BLACK SEA ON VERTICAL WATER STRUCTURE

Svetlana Karimova

Space Research Institute of RAS (Moscow, Russia)

E-mail: feba@list.ru

1. Introduction

Eddies have a profound effect on the processes of both vertical and horizontal water transportation. These processes influence on the sea ecosystem health and its bioproductivity. Despite the significance of mentioned issues for the Black Sea ecosystem, they have been poorly studied so far.

It is considered that cyclonic mesoscale eddies play a very important role in phytoplankton processes of the oceans. As a result of upward displacement of isopycnal surfaces, higher upwelling velocities, and/or larger vertical eddy diffusion coefficients they cause sporadic nutrient injections into the surface layer [1].

Anticyclonic eddies are believed to stimulate downwelling processes in surface waters, so they can not cause profound effect on water bioproductivity. Nevertheless, in [2] it was shown that anticyclonic eddies on the right side of the Rim Current produce deviations from the general scheme. Accordingly to this work, in summer thickness of the cold intermediate waters in these anticyclones exceeds peripheral values and turbulent entrainment leads to appearance of cold anomalies over the centre of anticyclonic eddies.

In order to study more carefully the effects of the Black Sea eddies on water structure, two types of investigations were performed. At first, the dataset of NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) and Aqua Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS) imagery obtained in 2005-2010 was reanalyzed to get some evidences of eddy-induced vertical movements. At second, combined analysis of satellite and *in situ* hydrological data was performed.

2. The data used

2.1. Satellite radiometer data

The dataset of satellite radiometer imagery used in the present study includes the images entirely covering the Black Sea with a spatial resolution of about 1 km:

- NOAA AVHRR and MetOp-2 Sea Surface Temperature (SST) images obtained in 2005-2010;
- Aqua MODIS SST, normalized water-leaving radiance (WLR) at the wavelength of 551 nm, and chlorophyll-a concentration (Chl-a) images obtained in 2006-2010.

The data were provided by the Remote Sensing Department of the Marine Hydrophysical Institute, Sevastopol, Ukraine (<http://dvs.net.ua/>).

2.2. *In situ* hydrological data

In order to examine the impact of vortices on seawater vertical structure, some concurrent *in situ* hydrological data obtained from the research vessel “Akvanavt” in the north-eastern Black Sea in 2001-2008 were applied. These data were obtained with a conductivity-temperature-depth (CTD) instrument in the upper 100 m depth layer and include values of water temperature, salinity, and density.

3. Investigation of eddy impact on hydrological water structure

3.1. Satellite data analysis

At present satellite data provide two ways to trace the impact of eddies on seawater structure and bioproductivity. The first one consists in using SST images to observe eddy cold core formation as a result of upwelling processes. The second way is to analyze Chl-a enhancements caused by eddy-driven upwelling.

The most striking conclusion that was made as a result of the satellite imagery analysis presented here is that practically no evidences of eddy-induced Chl-a enhancement were obtained. Apparently it is accounted for by the dominance of anticyclones among the Black Sea mesoscale eddies.

One of the innumerable evidences of eddy-induced vertical water movement and resulting enhancement in Chl-a was detected in August, 2008 for the Batumi anticyclonic eddy. In figure 1(a), an SST image obtained by NOAA-15 AVHRR on 5 August, 2008 is presented. The Batumi eddy is marked with a black square.

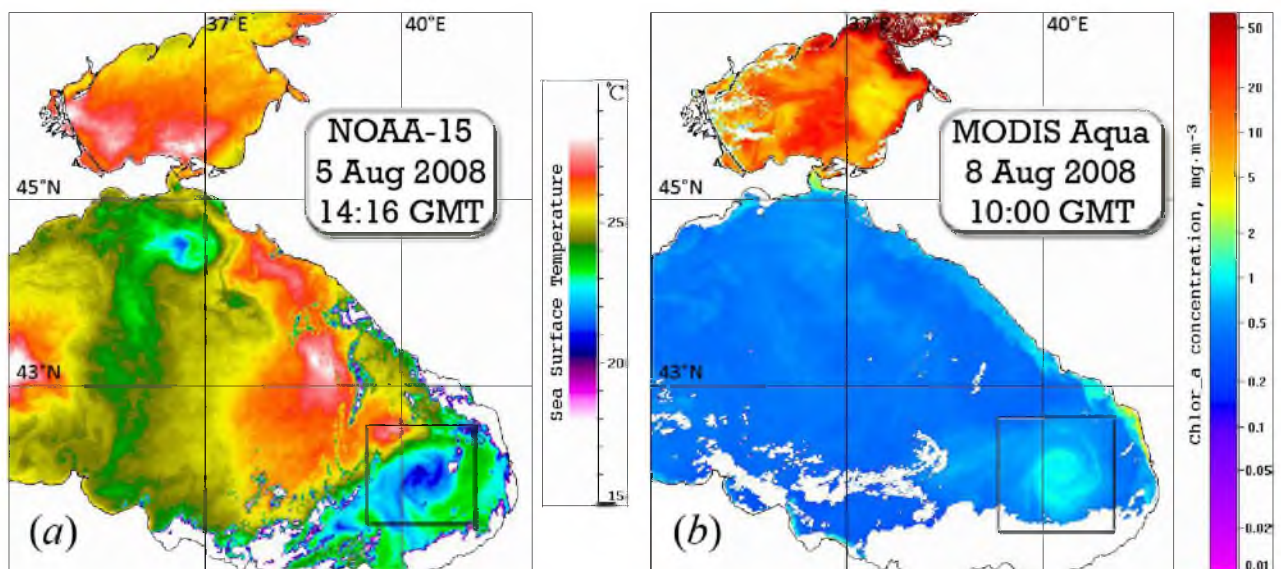


Figure 1. Batumi eddy manifestation in: (a) SST image obtained by NOAA-15 AVHRR on 5 August, 2008 at 14:16 UTC and (b) Chl-a image obtained by Aqua MODIS on 8 August, 2008 at 10:00 UTC. Squares mark the Batumi eddy position.

In figure 1(b), there is a Chl-a image obtained by Aqua MODIS on 8 August, 2008. As one can see, the eddy core is an area of (i) cold water and (ii)

high Chl-a. Before the cold core formed the Batumi eddy had been evolving for approx. 4 months.

Another interesting observation that was made is that cyclonic eddies – even rather small ones – are much more effective in causing cold core formation. In figures 2(a) and (b), manifestations of a cyclonic eddy chain in fields of SST and Chl-a, respectively, are presented. One can notice that in spite of their very small size (about 20 km in diameter), these eddies were well expressed both in SST and in Chl-a fields.

Rather than affecting the vertical water structure eddies usually cause effective horizontal redistribution of water parameters. In figure 2, it is clearly seen that three anticyclonic eddies, one to the south-west from Sevastopol (marked S1 and S2) and one by the Anatolian coast (marked A), were entrapping coastal waters rich in Chl-a and transferring them along their periphery.

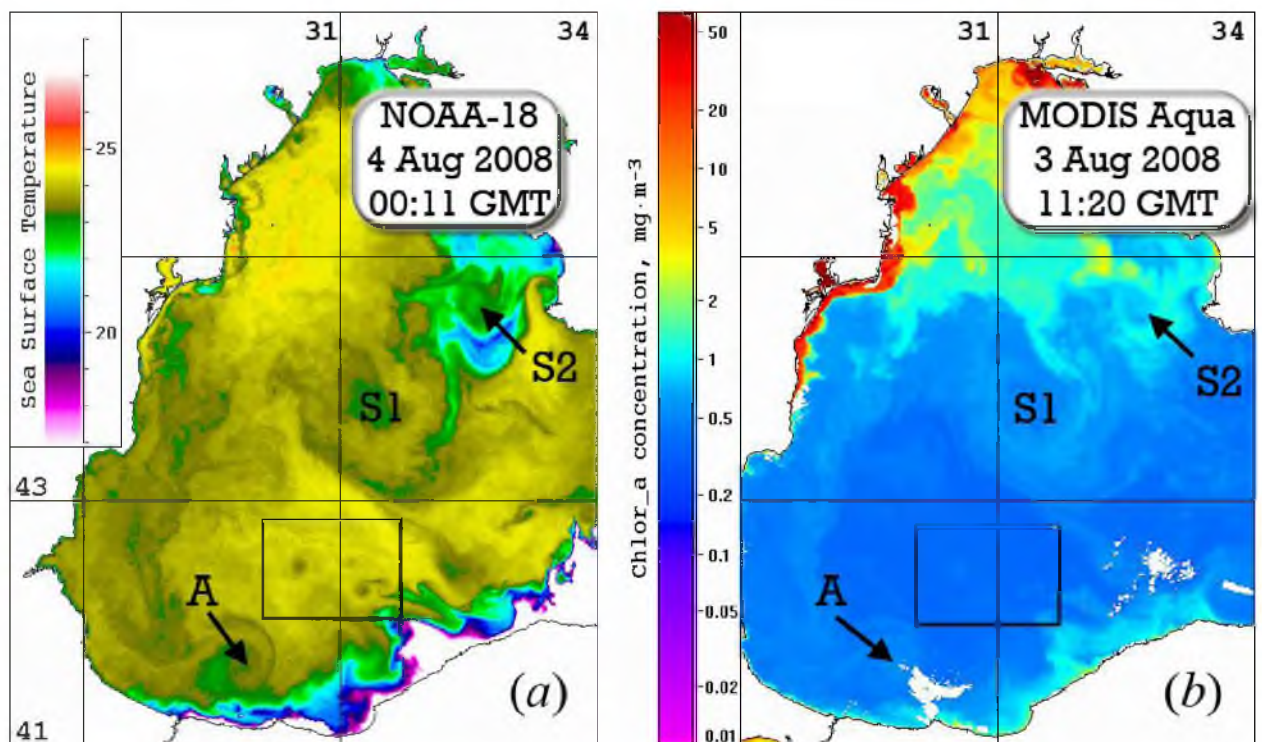


Figure 2. Manifestation of cold-core cyclonic eddies and coastal water entrainment in: (a) SST image obtained by NOAA-18 AVHRR on 4 August, 2008 at 00:11 UTC and (b) Chl-a image obtained by Aqua MODIS on 3 August, 2008 at 11:20 UTC. Squares mark position of cold-core cyclonic eddies.

In figure 3, another example of eddy water transport seen in a field of Chl-a is presented. It can be noticed that three anticyclonic eddies – Sevastopol one (marked with letter A), one near the Caucasian coast (letter B), and another one at the western coast (letter C) – were entrapping coastal waters rich in Chl-a and transferring them along their periphery.

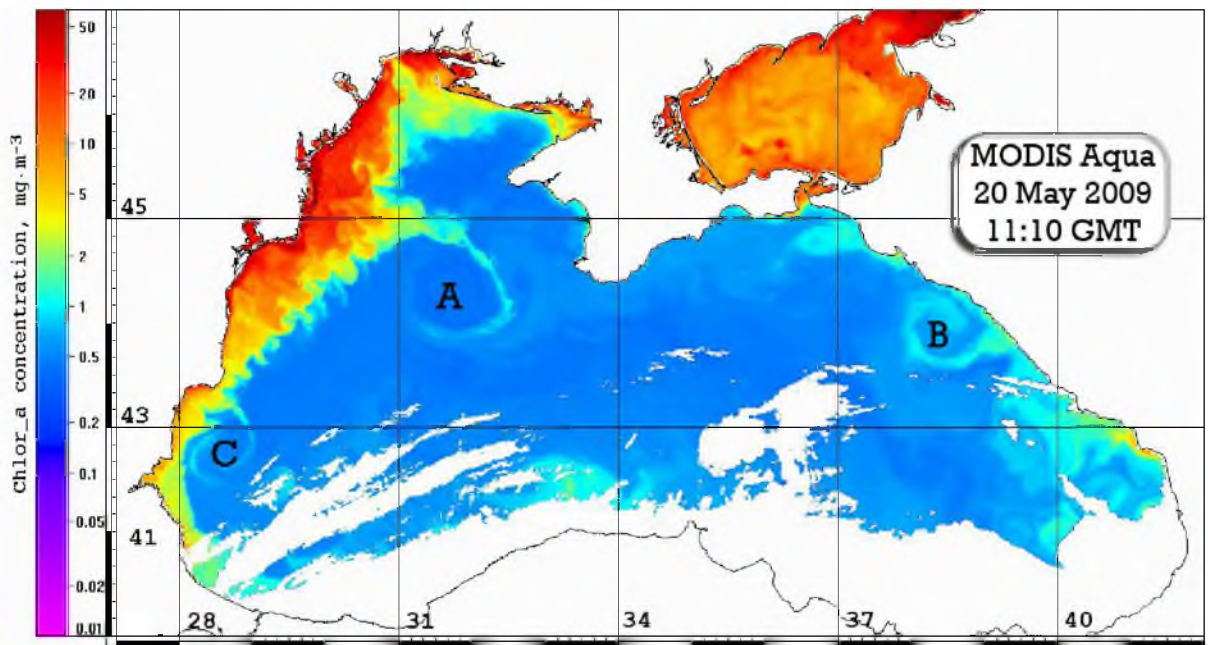


Figure 3. Chl-a image obtained by Aqua MODIS on 20 May, 2009 at 11:10 UTC showing how anticyclonic eddies (marked with letters A, B, C) trap and transfer coastal waters rich in chlorophyll-a.

3.2. Combined analysis of satellite and in situ data

In this section on base of satellite and concurrent *in situ* data the patterns of vertical hydrological structure within eddies of different types are investigated.

3.2.1. Anticyclonic eddy

Analysis of NOAA AVHRR SST images revealed that in the beginning of June, 2006 a mushroom-like current (MLC) was generated in the vicinity of the Cape Idokopas at the Caucasian coast. Diameter of an anticyclonic part of this mushroom-like structure was about 90 km. The structure could be observed in satellite images till the middle of July.

Some stages of the eddy dipole evolution are presented in figure 4. The positions of anticyclonic and cyclonic eddies are marked with letters A and C, respectively. Arrows point the centres of eddies.

As it can be noticed from figure 4, during all the period of the observations anticyclonic part of the structure was dominating in terms of size and stability. During the observations under influence of the Rim Current the structure displaced 80 km in the north-western direction and rotated clock-wise.

Despite there were some cold anomalies in the centre of the anticyclonic eddy (figures 4(c)-(f)), no Chl-a enhancement were detected in a series of MODIS images. In figure 5, some fragments of MODIS Chl-a imagery obtained in late May and June, 2006 are shown.

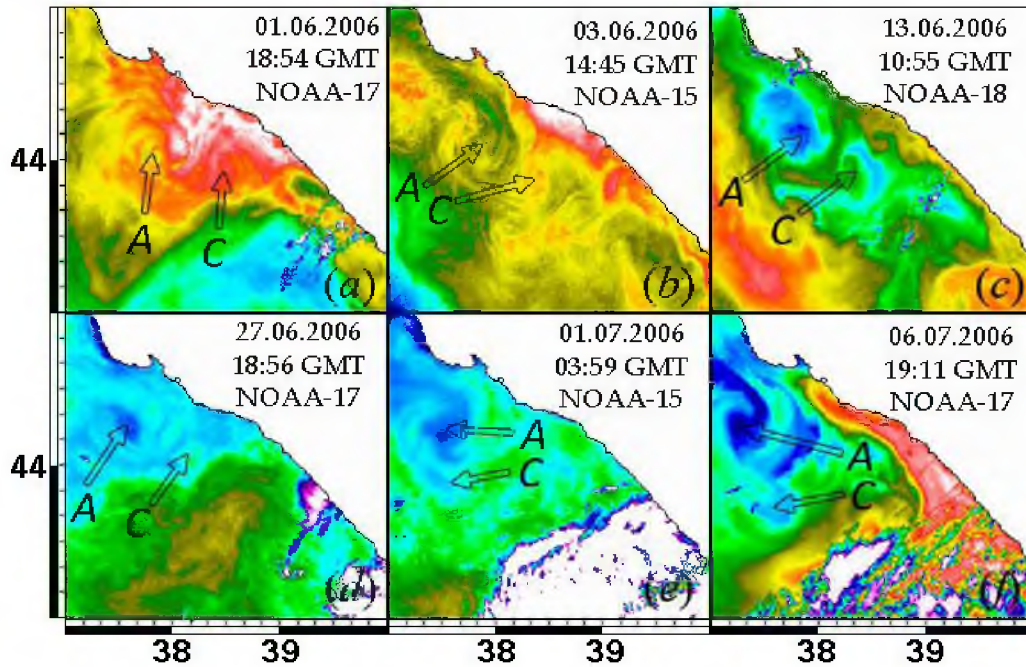


Figure 4. Evolution of an eddy dipole traced by a sequence of NOAA AVHRR images obtained: (a) on 1 June, 2006 at 18:54 UTC, NOAA-17; (b) on 3 June, 2006 at 14:45 UTC, NOAA-15; (c) on 13 June, 2006 at 10:55 UTC, NOAA-18; (d) on 27 June, 2006 at 18:56 UTC, NOAA-17; (e) on 1 July, 2006 at 03:59 UTC, NOAA-15; (f) on 6 July, 2006 at 19:11 UTC, NOAA-17. A – anticyclonic eddy, C – cyclonic eddy. Arrows point the centres of eddies.

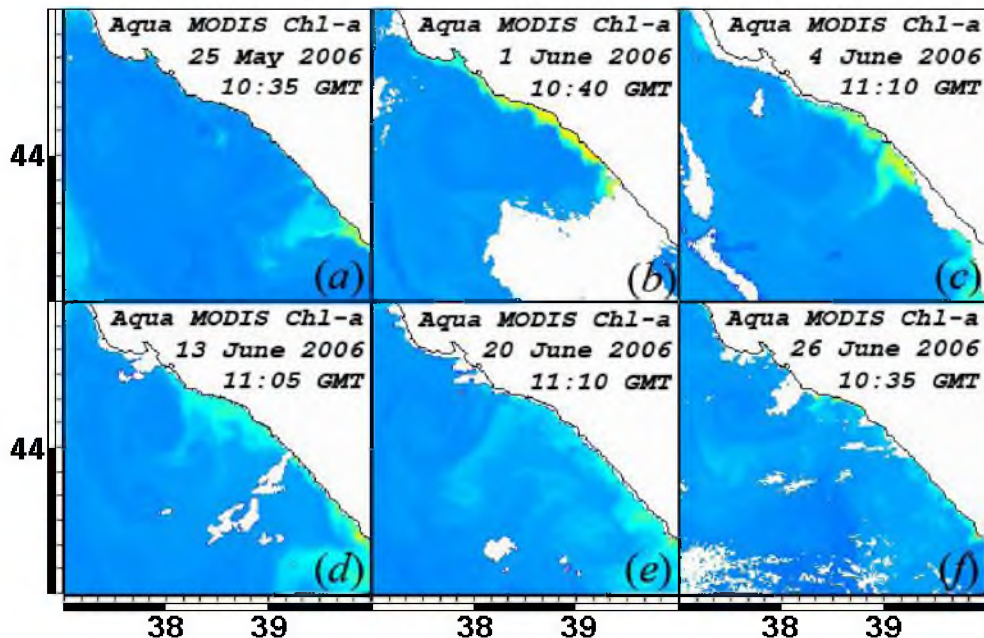


Figure 5. Evolution of an eddy dipole traced by a sequence of Aqua MODIS Chl-a images obtained: (a) on 25 May, 2006 at 10:35 UTC; (b) on 1 June, 2006 at 10:40 UTC; (c) on 4 June, 2006 at 11:10 UTC; (d) on 13 June, 2006 at 11:05 UTC; (e) on 20 June, 2006 at 11:10 UTC; (f) on 26 June, 2006 at 10:35 UTC.

On 23-26 June, 2006 a research cruise was made across the anticyclonic eddy mentioned above. Location of the cruise oceanographic stations is shown in figure 6(a). Vertical section of potential density anomaly (σ_t) along the cruise route is presented in figure 6(b).

At the station 2522 (marked with a dark blue line) which was situated in the centre of the anticyclone there were significant declinations of isolines that could be observed especially distinctively in the deeper horizons. Apparently downwelling detected on the vertical section was the reason why no effects on phytoplankton activity were caused by this eddy.

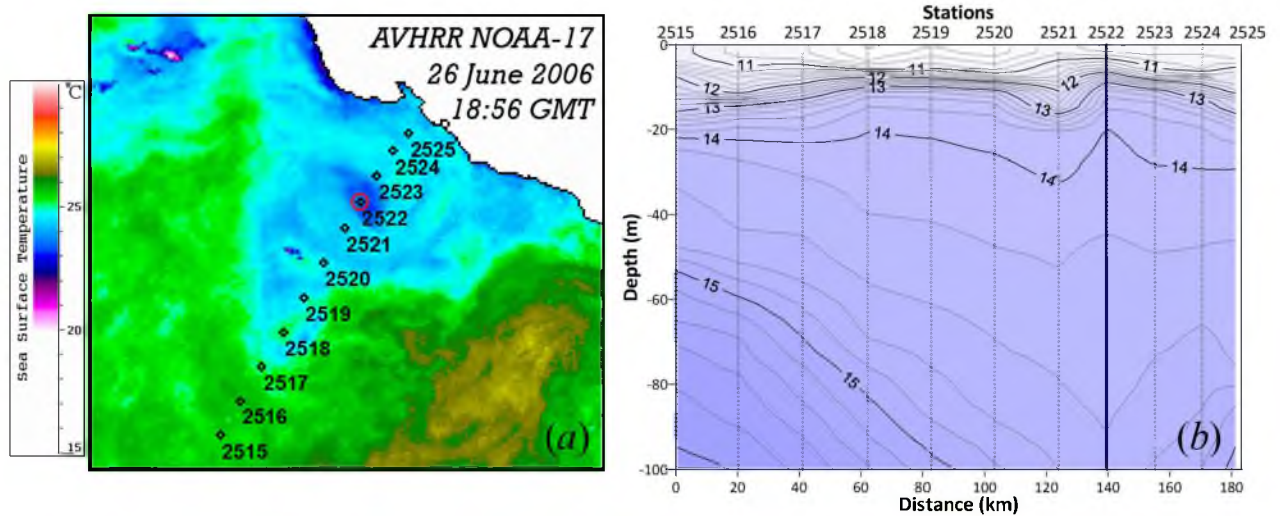


Figure 6. (a) Scheme of the cruise section performed during 23-26 June, 2006 superimposed on SST NOAA-17 AVHRR image obtained on 26 June, 2006 at 18:56 UTC. (b) Vertical distribution of potential density anomaly (σ_t) along section 2515-2525 (kg/m^3). Dark blue line marks the station located in the centre of eddy.

3.2.2. Cyclonic eddy

Here we consider a cyclonic eddy that was observed in the vicinity of the Caucasian coast in September, 2004. *In situ* observations were provided in an area occupied by the eddy on 18-23 September, 2004.

In figure 7(a), location of the cruise stations was superimposed on the AVHRR NOAA-16 SST image obtained on 20 September, 2004. As one can see, in SST field the eddy was represented as an area of warm water. In figure 7(b), location of the oceanographic stations is shown in a Chl-a field obtained by Seaviewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) sensor on 18 September, 2004.

Analysis of temperature, salinity and density distribution along the vertical sections 1925-1917, 1944-1935, 1945-1954, 1963-1955, and 1964-1972 have not revealed any peculiarities and vertical declinations of isosurfaces. In the section 1936-1934 (in figure 7(a) marked with red diamonds) at the station 1931, the same distribution of isolines was detected as that described in the previous section for the station 2522.

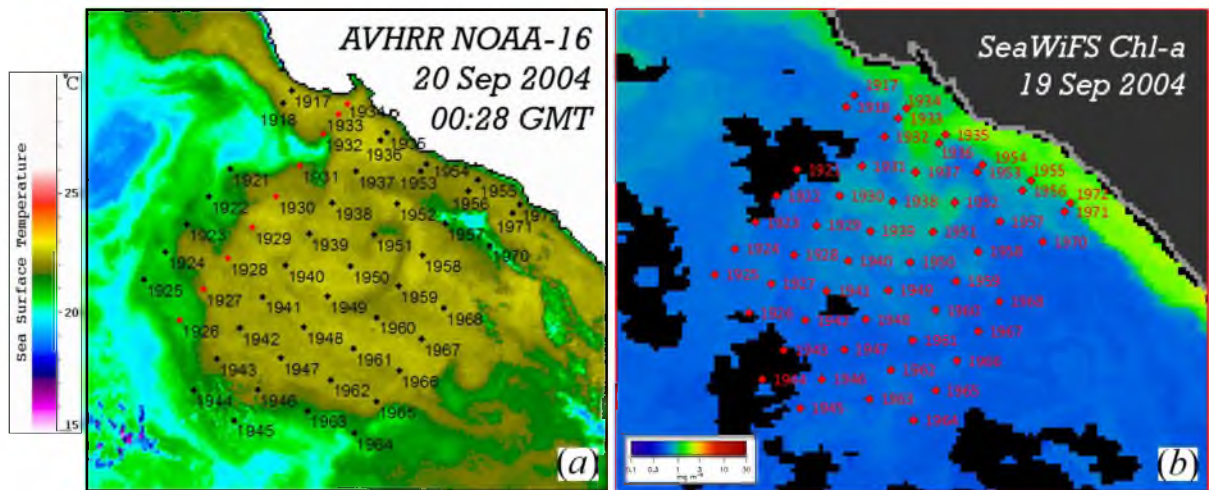


Figure 7. Scheme of the research stations performed during 18-23 September, 2004 superimposed on (a) NOAA-16 AVHRR SST image obtained on 20 September, 2004 at 00:28 UTC; (b) SeaWiFS Chl-a image obtained on 18 September, 2004.

Apparently despite rather a great size of the eddy, its circulation was not strong enough to cause an effect on vertical water structure.

3.2.3. Mushroom-like current

In this section, we analyze the vertical water structure in a region with a MLC. This eddy dipole was detected in the Chl-a images obtained on 14 August, 2004 by SeaWiFS (figure 8(a)) and MODIS (figure 8(b)) sensors.

In situ hydrological data were obtained during 11-17 August, 2004. Collocation of the cruise route with the SeaWiFS Chl-a field is presented in figure 8(a). The MLC being under consideration is marked with a red square.

More distinctively the vortical structure can be seen in figure 8(b) representing a Chl-a field captured by MODIS. This image was coloured in order to reach greater contrasts and detect some circulation features in it rather than retrieve the exact values of Chl-a. So, no scale was provided for the image. The MLC is marked with a black square.

As one could see from the scheme of the cruise stations (figure 8(a)), the section 1814-1825 was made exactly across the MLC. Vertical distribution of sigma-t along this section is shown in figure 8(c). Stations 1817 and 1823 marked in the density profile with dark blue lines correspond with the centres of anticyclonic and cyclonic parts of the MLC, respectively.

On analysis of the density section (figure 8(c)) one can notice a slight uplifting of the isolines at both anticyclonic and cyclonic eddies of MLC. So we can conclude that both eddies in the MLC seem to cause a similar effect on the water vertical structure. Further studies are needed in order to reveal whether that is a characteristic feature of all MLCs.

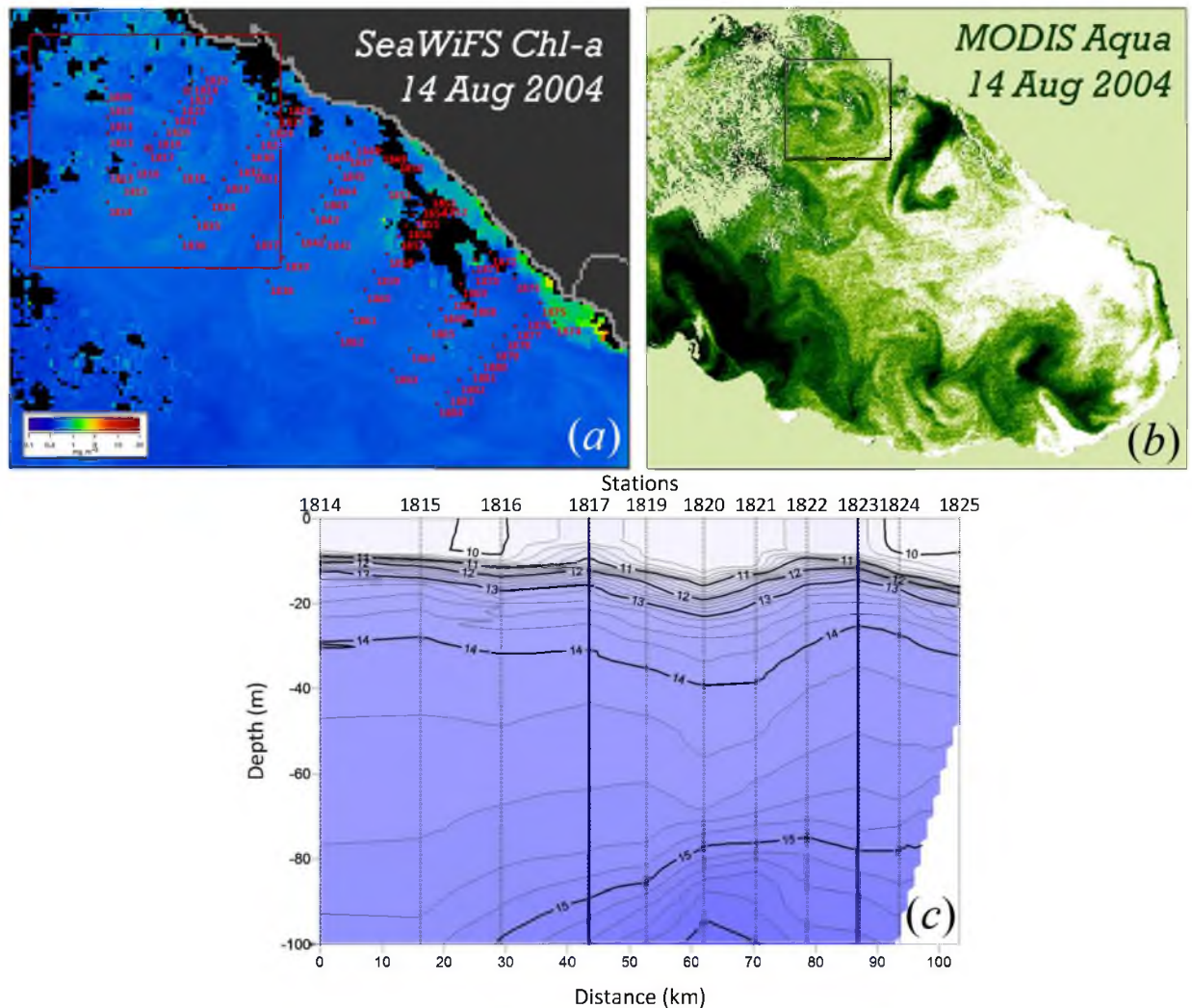


Figure 8. (a) Scheme of the research stations performed during 11-17 August, 2004 superimposed on SeaWiFS Chl-a image obtained on 14 August, 2004. (b) Aqua MODIS Chl-a image obtained on 14 August, 2004. Square marks the MLC position. (c) Vertical distribution of potential density anomaly (σ_t) along section 1814-1825 (kg/m^3). Dark blue lines mark the stations located in the centres of anticyclonic and cyclonic eddies.

3.2.4. Eddy chain

Eddy chain being investigated in the present section firstly was detected in an NOAA AVHRR SST image on 7 September, 2005 and consisted of three eddies. Repeatedly this eddy chain was observed two weeks later on 20 September, 2005 (figure 9(a)).

In situ observations were performed in this region on 20-25 September, 2005. A scheme of the cruise stations is provided in figure 9(a) in a SST field (20 September, 2005, NOAA-17), and in figure 9(b), in a field of Chl-a averaged over the period of 14-21 September, 2005.

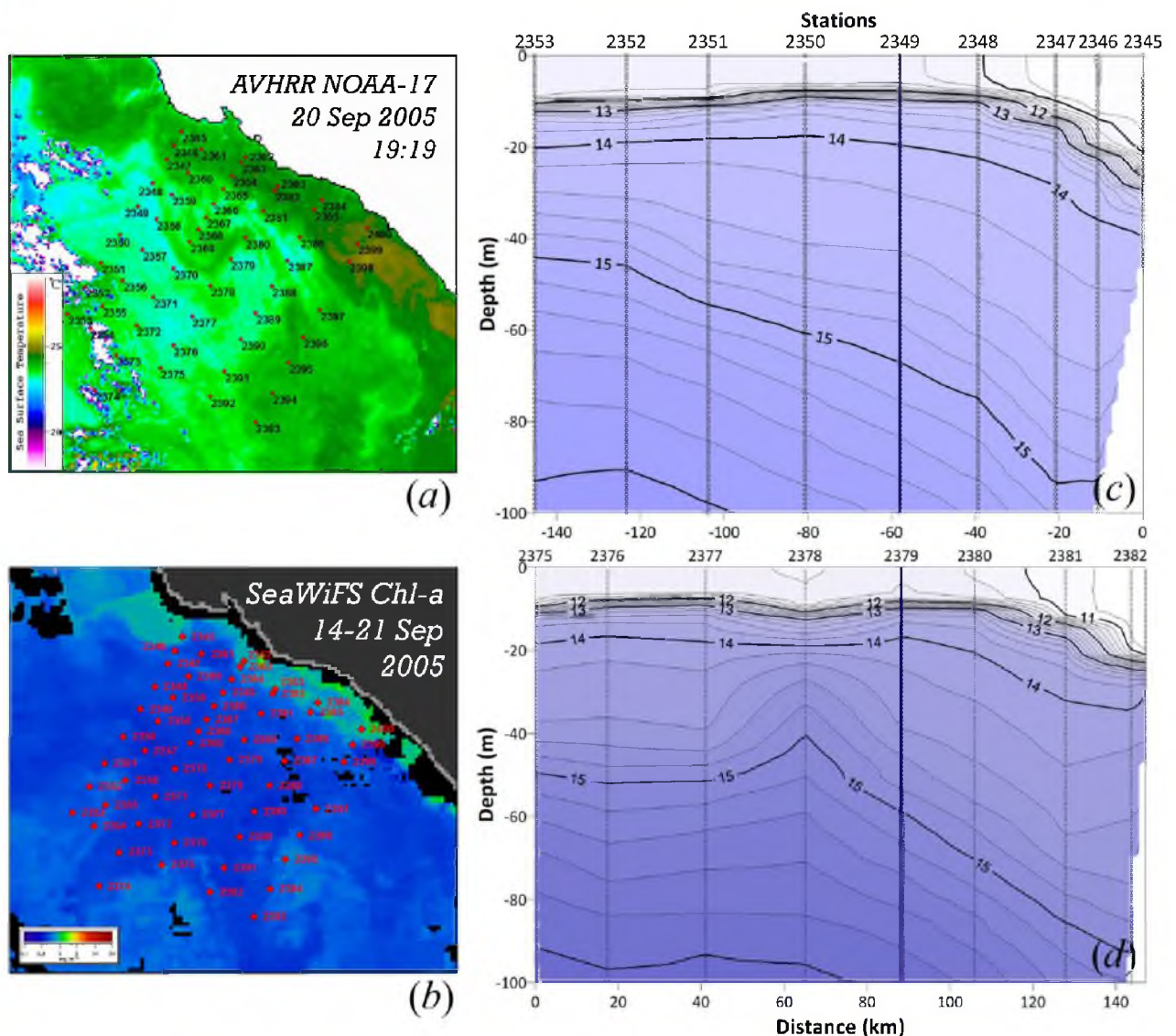


Figure 9. Scheme of the research stations performed during 20-25 September, 2005 superimposed on (a) NOAA-17 AVHRR SST image obtained on 20 September, 2005 at 19:19 UTC; (b) SeaWiFS Chl-a averaged over the period 14-21 September, 2005 as well as vertical distribution of potential density anomaly (σ_t , (kg/m^3)) along sections 2353-2345 (c) and 2375-2383(d). Dark blue lines mark the stations located in the centres of eddies.

As one can see from the schemes of the cruise stations (figures 9(a)-(b)), the sections 2353-2345 and 2375-2383 were tracked through the two most prominent eddies in the chain. Vertical σ_t distribution along the sections is provided in figures 9(c) (section 2353-2345) and (d) (2375-2383). Stations located in the eddy centres are marked with dark blue lines.

Isoline declinations from their horizontal position can be noticed only in the section 2375-2383 at the station 2378 (figure 9(d)). In this case, the isolines were uplifted from the depths of about 50 m to approx. 20 m.

Since such declinations were not confirmed at the section 2353-2345, we can conclude that signature observed at station 2378 could be accounted for by some another reason rather than dynamic action of the eddy chain.

4. Conclusions

In this paper, it was shown that using MODIS and SeaWiFS Chl-a images provides an important information on the role of Black Sea eddies of different types in Chl-a redistribution and production. Combined analysis of multi-sensor satellite images and quasi-synchronous *in situ* hydrological data let us to reveal eddy impact on vertical hydrological water structure.

As a result of such researches, it was shown that typical for the basin anticyclonic eddies greatly participate in horizontal redistribution of water constituents rather than in vertical water displacements. Cyclonic eddies proved to be much more effective in causing vertical water movements, but generally their spatial scale and share in the total number of Black Sea mesoscale eddies are not very significant.

Acknowledgements

This work was implemented within the framework of the Federal Target Program "Scientific and scientific-pedagogical personnel of innovative Russia" in 2009-2013. NOAA AVHRR and Aqua MODIS images were processed and provided by Dr. S. Stanichny, D. Soloviev, and E. Kalinin, the Marine Hydrophysical Institute, Sevastopol. *In situ* hydrological data were provided by the Southern Branch of the P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS.

REFERENCES

BIDIGARE, R.R., BENITEZ-NELSON, C., LEONARD, C.L., QUAY, P.D., PARSONS, M.L., FOLEY, D.G. and SEKI, M.P., 2003, Influence of a cyclonic eddy on microheterotroph biomass and carbon export in the lee of Hawaii. *Geophysical Research Letters*, **30**(6), 1318, doi: 10.1029/2002GL016393.

SUR, H. and ILYIN, Y., 1997, Evolution of satellite derived mesoscale thermal patterns in the Black Sea. *Progress in Oceanography*, **39**, pp. 109-151.

RESULTS FROM NEUTRON MONITORING AT THE ELBRUS HIGH-MOUNTAIN COSMIC RAY SPECTROGRAPH

**A.Kh. Khokonov, S.B. Merlichenko, M.M. Eneev,
V.S. Ilgashev, Yu.V. Savoiskii**

*Kabardino-Balkarian State University (Nalchik, Russia)
E-mail: azkh@mail.ru*

We present results of three month hadronic cosmic rays flux measurements by the new neutron monitor on the Terskol peak at the altitude 3100 meters above sea level nearby Elbrus.

Work is currently being done to restore the Elbrus high-mountain cosmic ray spectrograph of Kabardino-Balkarian State University, which was in operation from 1957 up to 1992 [1]. In 2007 we assembled and lifted the mobile module of the neutron monitor on the top of Terskol Peak (3100 meters above sea level) [2,3]. Terskol peak is directly adjoined to the slope of Mount Elbrus (5642 m.s.l.) Fig.1. This allows one to raise the monitor on the higher levels. The next reason is that the astronomic observatory is situated on the Terskol peak. This simplifies the operation of setup in the nine-month winter period and gives an opportunity to held a joint research on physics of solar cosmic rays.



Fig.1. The view of peak Terskol on the background of the south slope of Elbrus.

A stationary post was organized on Terskol Peak in 2009 [4,5] for placing recording system and the neutron monitor with lead generator (see Fig. 2). The neutron monitor's recording system is similar to those used in IZMIRAN and the Polar Geophysical Institute [6].

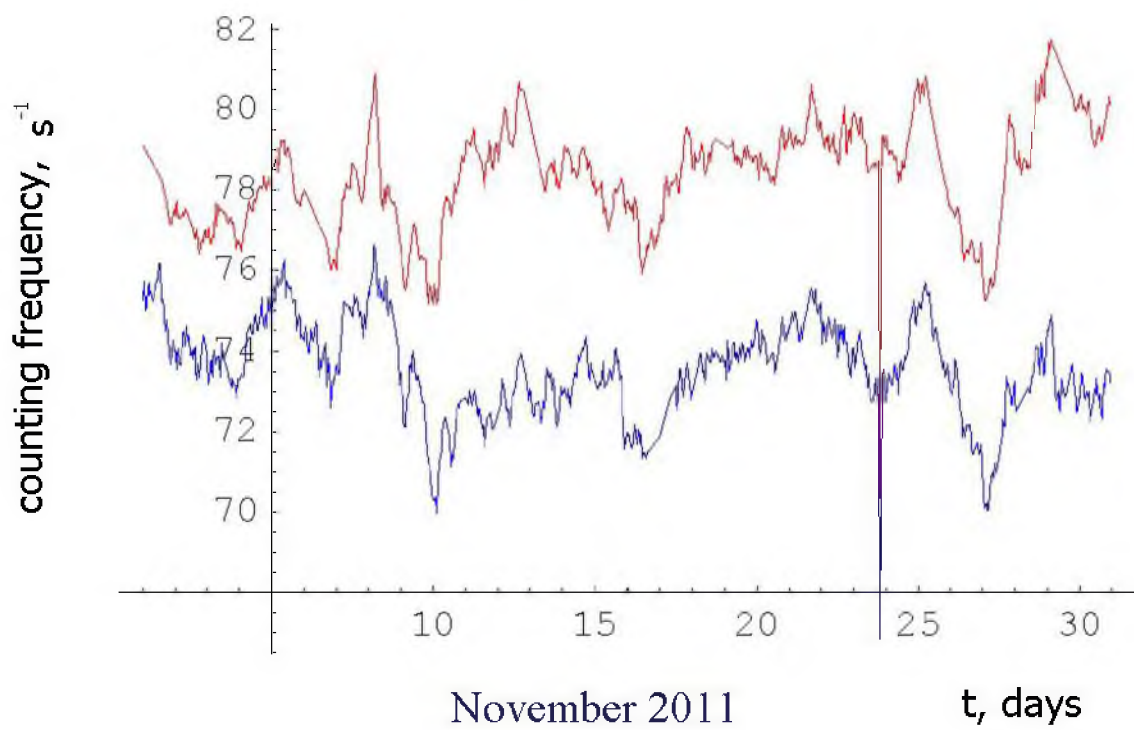
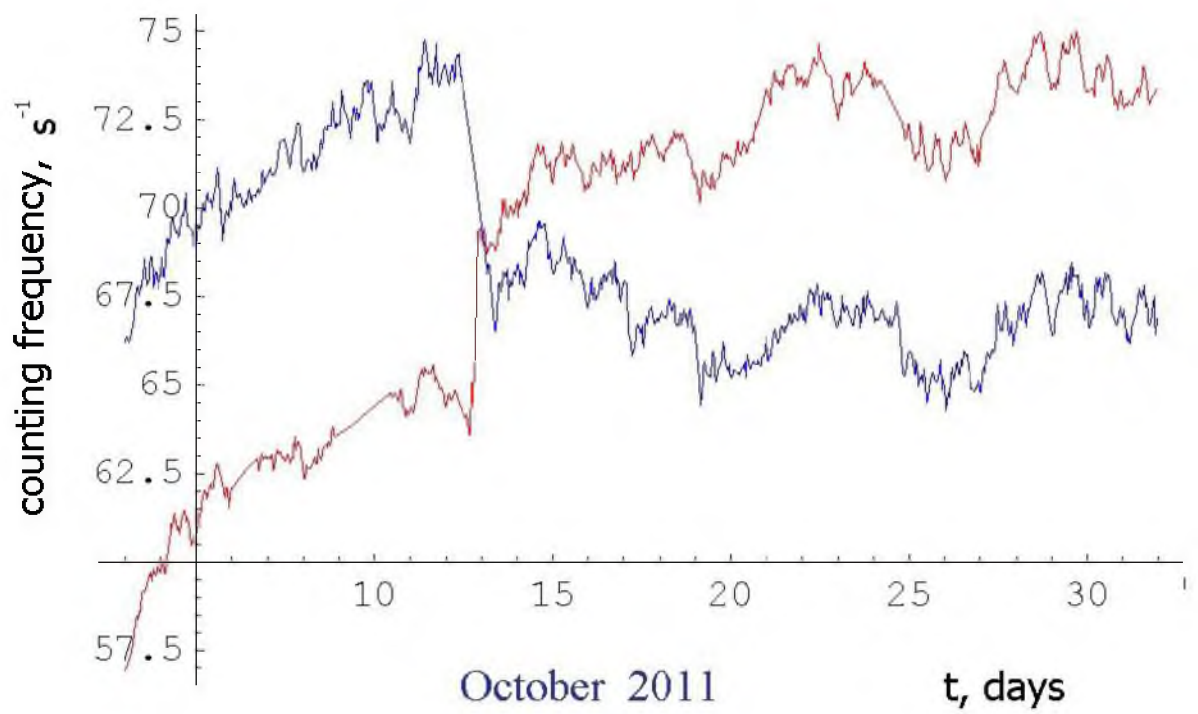


Fig.2. Stationary cosmic ray registration post on Terskol peak in Alpine Geophysical Institute laboratory box.

Two proportional counters CNM-15 were plugged to registration system. One counter was been placed inside lead generator of NM-64 and the second naked counter was been put on the upper panel of the moderator -reflector as shown on Fig.1b from [5]

The first results of two-week monitoring at Terskol peak were obtained by proportional counter SNM15 without lead generator in January 2010 [4]. The average count frequency was 32 thermal neutrons per second.

In 2011 at the peak Terskol was posted single counter section NM-64 with lead generator weighing 2 tones. Fully automatic measurement over a period of three months were held from the end of September 2011 up to January 2012. These results are presented on Fig.3.



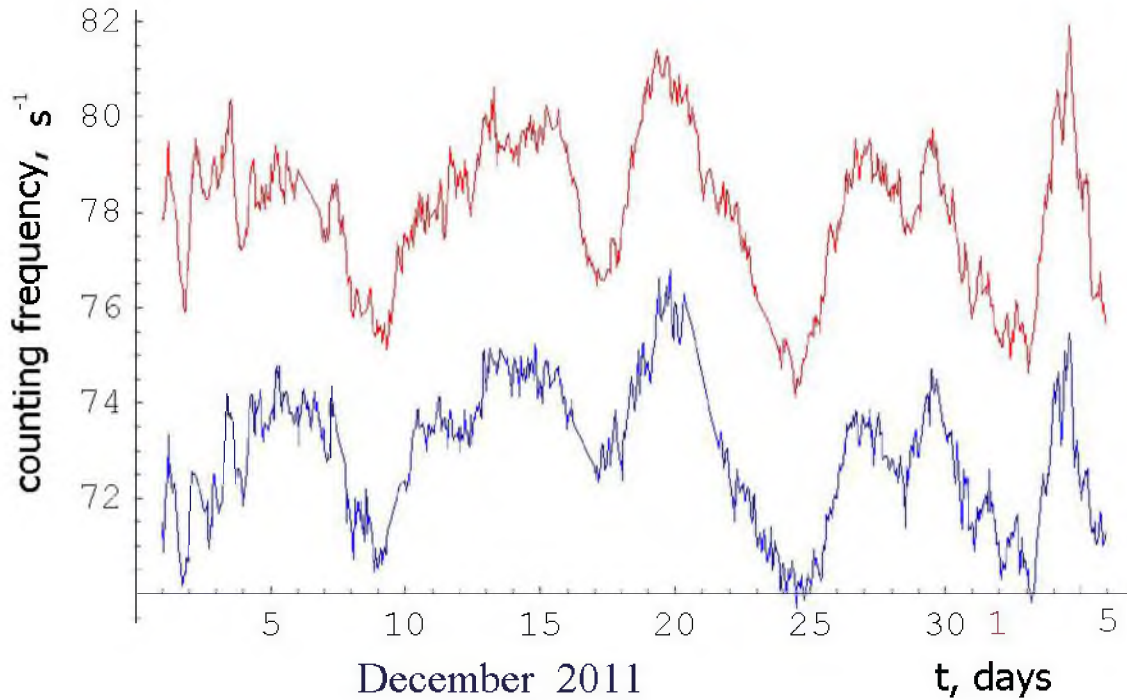


Fig.3. Results from three months of monitoring at Terskol Peak, October-December, 2011. The upper line gives counting frequency for detector SNM-15 inside lead generator. The lower line is a counting rate (multiplied by 4.2) of naked counter placed outside monitor.

The measurement data from neutron monitor at Terskol peak can be find on website <http://terskol.kbsu.ru>.

The relationship between intensity of cosmic ray's hadronic component and counting rate of neutron monitor NM-64

We have suggested the simple analytical model for relationship between the intensity of the external flux of hadrons with energies below 100 GeV, and counting rate of neutron monitor NM-64[7,8]. In this model is introduced the assumption of a homogeneous and isotropic distribution of thermal neutrons inside the neutron monitor.

This allows to write the equation of balance between hadronic component of cosmic rays incident on monitor and neutrons have been generated in lead and slowing down to thermal energies in the form

$$R = \frac{S_0 L b \int_{E_1}^{E_2} J(E) m(E, h_1, h_2) dE}{(b(L+H) + HL/k)(1 - \alpha_t) / 2 + S_0 + \Sigma_1 + \Sigma_2},$$

where $J(E)$ – the differential intensity of incident hadrons, $m(E, h_1, h_2)$ - the number of secondary generated and the slow neutrons per proton with energy E ; h_1 and h_2 lead generator and polyethylene moderator-reflector thickness respectively; L , H and b length, altitude and width respectively, Σ_1 and Σ_2 - the total macroscopic absorption cross section in lead and polyethylene per section respectively, α_t - reflectance coefficient for thermal neutrons from polyethylene reflector, S_0 is the

counter's sensitivity. The values of the function $m(E, h_1, h_2)$ and albedo α_t obtained by computer simulation.

The resulting model allowed us to determine the absolute values of the hadronic components of the cosmic ray flux at the peak Terskol as $J = 3.4 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

The authors would like to thank V.G. Yanke, V.V. Kuzminov, and E.V. Vashenyuk for their support.

Literature

1. Dorman L.I. and Shkhalakhov G.Sh., Elbrus cosmic ray spectrograph. *Izv. An SSSR. Ser.Fiz.* 1972. Vol. 36. No. 11. P. 2417
2. Khokonov A.Kh., Sunshev Z.A., Kochkarov M.M. High-altitude mobile module of neutron monitor on the Terskol peak. 30-ya Vseros. konf. po kosmicheskim lucham: Tez. docl. (Proc. 30-th All-Russian Conf. on Cosmic Rays), St. Peterburg: FTI Im. A.F. Ioffe, 2008, p.132.
3. Daova S.P., Ilgashev V.S., Kamarzaev A.V., Kochkarov M.M., Masaev M.B., Savoiskii Yu.V., Sunshev Z.A., Sunsheva Z.Z., Khamirzov Kh.M., Khokonov A. Kh. On the possibilities of temperature incision the atmosphere recovery by the Elbrus cosmic ray spectrograph // *Ecological problems of the present day. The international scientific seminar. Maykop. May. 2009.* P. 109 -105
4. Khokonov A. Kh., Khamirzov Kh.M., Eneev M.M., Kochkarov M.M., Ilgashev V.S., Savoisky Yu.V. Initial Results from Neutron Monitoring at Terskol Peak. *Bulletin of Russian Academy of Sciences. Physics.* 2011. Vol. 75. No. 6. pp. 864-865.
5. Khokonov A. Kh., Khamirzov Kh.M., Ilgashev V.S., Khalilov A.A. The results of launching of the mountain neutron monitor of KBSU Elbrus spectrograph // *Applied Aspects of Geology, Geophysics and Geo-ecology, using modern information technologies. The international scientific seminar. Maykop. May. 2011.* P. 233-236
6. Balabin Yu.V., Gvozdevskii B.B., Vashenyuk E.V., and Shchur L.I. *Izv. Akad. Nauk. Ser. Fiz.* 2009. Vol. 73. No. 3. pp. 321-323. *Bulletin of Russ. Acad. Sci. Phys. (Engl. Transl.)*, 2009. Vol. 73. No. 3. P. 304.
7. Khokonov A. Kh., Savoiskii Yu.V., Kamarzaev A.V. Neutron Sensitivity and Detection Efficiency of ^3He and $^{10}\text{BF}_3$ Counters. *Physics of Atomic Nuclei.* 2010. Vol. 73. No. 9. Pp. 1482-1486.
8. Khokonov A.Kh., Kamarzaev A.V., Ilgashev V.S. et.al. New KBSU neutron monitor on Terskol peak // *XV-th International School "PARTICLES and COSMOLOGY" Troitsk. May. 2011.*

CAPILLARY OSCILLATIONS OF THE DROP IMMERSSED IN A LIQUID WITH TAKING INTO ACCOUNT THE DAMPING DUE TO VISCOSITY

Khokonov A.Kh.

Kabardino-Balkarian State University (Nalchik, Russia)

E-mail: azkh@mail.ru

In recent years, the interest to the calculation of capillary oscillations increases due to appearance of possibility to study experimentally the oscillations for the liquid drop suspended from free fall in external electromagnetic field or in upward air flow. physically related to this issue is the problem of capillary oscillations of a gas bubble in a liquid. By studying capillary vibration of drops, it is possible to define different characteristics - the viscosity, density, surface tension, etc. The theoretical basis for determining the surface tension of a liquid by capillary oscillations of a drop is an analytical solution [1] have been obtained by Rayleigh. The solution for drop capillarity oscillation with taken into account the energy dissipation due to the viscosity was obtained in [2]. For the bubble immersed in liquid this task was solved in [3, 4].

Below we consider the problem of capillarity oscillation of the drop immersed in the liquid.

In view of the similarity of the basic equations for the drop and the bubble it is convenient to consider the two tasks in parallel. One can write the drop radius expansion into polynomial series in the form.

$$r(t) = \sum_{n=0} a_n(t) P_n(\mu) \quad (1)$$

where - $P_n(\mu)$ Legendre polynomials, $\mu = \cos(\theta)$, θ - the polar angle.

Dependence on the azimuthal angle for a given problem is insignificant. Fluid is assumed to be incompressible, and its motion is irrotational. Dependence on the azimuthal angle for considering problem is insignificant. Fluid is assumed to be incompressible, and its motion is irrotational. In this case it is convenient to introduce the potential for velocity Ψ according to

$$\vec{v} = \nabla \Psi \quad (2)$$

The velocity potential satisfies the Laplace equation, which has the regular solution inside the drop and outside bubble- in the outer region can be written in the form of expansion

$$\Psi = \sum_n \beta_n r^n P_n(\mu) \quad (3)$$

$$\tilde{\Psi} = \sum_n \frac{\tilde{\beta}_n}{r^{n+1}} P_n(\mu) \quad (4)$$

The boundary condition for the fluid velocity at the surface of the sphere bounding the drop or the bubble has the form

$$\frac{\partial r}{\partial t} = \frac{\partial \Psi}{\partial r} \Big|_{r=a} \quad (5)$$

this ratio relates the coefficients of the expansions for the radius and velocity potential

$$\beta_n = \frac{\dot{a}_n}{na^{n-1}} \quad (6)$$

$$\tilde{\beta}_n = -\frac{a^{n+2}}{n+1} \dot{a}_n \quad (7)$$

The kinetic energy of the liquid oscillations is determined by relationship

$$K = \frac{\rho}{2} \int (\nabla \Psi)^2 dV \quad (8)$$

For the drop this integral is calculated through the volume of liquid enclosed in a sphere of radius and is equal [1]

$$K = 2\pi\rho a^3 \sum_n \frac{\dot{a}_n^2}{n(2n+1)} \quad (9)$$

In the case of the bubble, the integral for the kinetic energy is taken throughout the volume of the liquid. The result of calculation has the form similar to the formula (9)

$$\tilde{K} = 2\pi\rho a^3 \sum_n \frac{\dot{a}_n^2}{(n+1)(2n+1)} \quad (10)$$

Change in kinetic energy of the gas filling the bubble, can be neglected for the case of fixed volume of cavity. The potential energy associated with the deviation from the spherical shape of the drop defined by surface tension and can be written as [1]

$$U_\sigma = 2\pi\sigma \sum_{n=1}^{\infty} a_n^2 \frac{(n-1)(n+2)}{(2n+1)} \quad (11)$$

where σ - surface tension of the liquid. For the calculation of energy dissipation in the event of a potential fluid motion we use the expression for the rate of change of the kinetic energy of the fluid [2]

$$\dot{K} = -\eta \int \vec{\nabla} [(\mathbf{v})^2] \mathbf{a}\vec{s} \quad (12)$$

where η is the dynamic viscosity of the fluid.

We introduce the dissipative function according to the relation $F = -\frac{1}{2} \dot{K}$.

The calculation F for the drop gives [3]

$$F = 4\pi a \eta \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(n-1)}{n} \dot{a}_n^2 \quad (13)$$

In the case of the bubble for the dissipation function, we have

$$\tilde{F} = 4\pi a \eta \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(n+2)}{(n+1)} \dot{a}_n^2 \quad (14)$$

The kinetic and potential energy, and the dissipation function of the system under consideration are diagonal quadratic forms of the coordinates a_n and velocities of \dot{a}_n . Euler-Lagrange equations for the normal coordinates a_n are following

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{a}_n} - \frac{\partial L}{\partial a_n} = - \frac{\partial F}{\partial a_n} \quad (15)$$

where $L = K - U_{\sigma}$.

Substitution of (9-11), (13) and (14) into (15) gives the independent equations of motion for each harmonic

$$\ddot{a}_n + 2\lambda_n \dot{a}_n + \omega_n^2 a_n = 0 \quad (16)$$

Solutions of equations (16) can be written in the form of damped oscillations

$$a_n = A_n e^{-\lambda_n t} \cos(\omega_n t + \delta) \quad (17)$$

where frequency capillary oscillations of a drop is given by [3]

$$\omega_n^2 = \frac{\sigma}{\rho a^3} n(n-1)(n+2) - \lambda_n^2 \quad (18)$$

and the damping factor is

$$\lambda_n = \frac{\eta}{\rho a^2} (n-1)(2n+1) \quad (19)$$

For the frequency of oscillation of a bubble in a liquid is obtained

$$\tilde{\omega}_n^2 = \frac{\sigma}{\rho a^3} (n-1)(n+1)(n+2) - \tilde{\lambda}_n^2 \quad (20)$$

where the damping rate is

$$\tilde{\lambda}_n = \frac{\eta}{\rho a^2} (n+2)(2n+1) \quad (21)$$

Let us consider the capillary oscillation of spherical drop with density ρ_1 and viscosity η_1 immersed in liquid medium with density ρ_2 and viscosity η_2 . Combining equations (18-21) one can obtain for frequency squared the following ratio

$$\omega_n^2 = \frac{\sigma_{12} (n-1)n(n+1)(n+2)}{a^3 (n+1)\rho_1 + n\rho_2} - \lambda_n^2 \quad (22)$$

where σ_{12} the surface tension of interface between two contacting liquids and damping rate λ_n defined as

$$\lambda_n = \frac{(2n+1)(n-1)(n+1)\eta_1 + n(n+2)\eta_2}{n^2(n+1)\rho_1 + n\rho_2}$$

$$a_c = \frac{\eta^2 (n-1)(2n+1)^2}{\rho\sigma n(n+2)} \quad (24)$$

If the radius of the drop is much greater than the critical value, it is possible to neglect the effect of viscosity, since according to (18) the damping factor $\lambda_n \sim a^{-2}$. For the main harmonic of the water drop ($n = 2$) capillary oscillations at temperature to 293K the critical radius equal to 43 nm. It is possible to neglect the gravitational field in the case when the drop radius much less then characteristic length $l = \sqrt{\sigma/\rho g}$, where g - the acceleration of gravity. Water = 0.23 cm

Literature

1. John William Strutt(Rayleigh). The theory of sound. London, Macmillan and co. 1877, vol. 2, 476 P.
2. Khokonov A.Kh. Calculation of capillary oscillations of a drop with the energy dissipation due to viscosity. Physics and chemistry of the surface. Nalchik, KBSU, 1982, P.32-35.
3. Khokonov A.Kh. Capillary oscillations of the drop and the bubble immersed in a liquid with taking into account the viscosity. Izvestiya RAN, 2012, Vol.76, № 13, pp.57-58.
4. Khokonov A.Kh. Capillary oscillations of the drop immersed in a liquid with taking into account the viscosity XVIII International Conference on Interaction of Intense Energy Fluxes with Matter, March 1-6, 2013, Elbrus, Russia, P. 135.

AVERAGE OF REGULAR STRUCTURES USING ASYMPTOTIC HOMOGENIZATION METHOD. COMPOSITE SHELLS

Alejandro Alonso Fúster¹, David Guinovart Sanjuán², Raúl Guinovart Díaz³,
Reinaldo Rodríguez Ramo⁴, Julián Bravo Castellero⁵

Universidad de La Habana (Habana, Cuba)

E-mail: ¹alejandroaf@uci.cu, ²d.guinovart@lab.matcom.uh.cu,

³guino@matcom.uh.cu, ⁴reinaldo@matcom.uh.cu, ⁵jbravo@matcom.uh.cu

Introduction

Laminated composite materials have been widely studied due to their multiple applications. These are designed with the aim of obtaining new materials which exhibit the properties necessary to face the growing problems arising in science and technology. Biological sciences and biomechanics have not escaped of the influence of new materials, bio-compounds are used as implants in bone, teeth and many times for the replacement of biological tissues. Recently there have been models that describe the cornea of the human eye as a curved laminate medium [3-4] and this has been a major motivation for this work.

The use of mathematical methods for determining the overall or effective properties of composite materials allows the development of algorithms which can predict them theoretically and guide the implementation of experiments based on the results achieved.

Boundary value problems of differential equations, modeling the equilibrium conditions of heterogeneous medium studied in this paper have quasi-periodic rapidly oscillating coefficients. The numerical treatment of such problems can be simplified if we obtain analytical algorithms from asymptotic models. The asymptotic homogenization method (MHA) has proven an effective tool for this purpose.

The aim of our work is to explain an analytical algorithm to find the effective coefficients of quasi-periodic laminated media in curvilinear coordinates. It begins by posing a general problem of elasticity theory, described by a system of differential equations with variable coefficients and using the MHA it becomes into a problem with approximate constant coefficients. Finally determining the general expressions for the coefficients in a curvilinear coordinate system and exemplified the same for the spherical case.

1. Methodology for obtaining the solution of the problem.

The problem of determining the effective properties of a composite material is studied. This composite is formed by spheres as shown in Figure 1 consists of N layers with thickness δ and solid properties vary according to radial position. We consider that the elastic modulus tensor C depends only on the component $x^3 = r$ and has the periodicity property

$$C(r + n\delta) = C(r) \quad (1.1)$$

where $n = 1, 2, \dots, N$ and

$$R_n = n\delta. \quad (1.2)$$



Figure 1. Sphere composed by N layers

A structure that satisfies the condition (1.1) - (1.2) are called quasi-periodic structures.

Consider a boundary value problem of nonlinear elasticity theory in curvilinear coordinates given in the following form [1]:

$$\sigma_{,j}^{ij} + 2\Gamma_{jp}^{(i)} \sigma^{jp} + F^i = 0 \quad (1.3)$$

with boundary conditions:

$$u_i|_{\Sigma_1} = u_i^0, \quad C^{ijmn}(\vec{\xi}, \vec{x})(u_{m,n} - \Gamma_{mn}^p u_p)|_{\Sigma_2} = S_0^i. \quad (1.4)$$

Hooke's law adopts the form:

$$\sigma^{ij} = C^{ijmn}(\vec{\xi}, \vec{x})(u_{m,n} - \Gamma_{mn}^p u_p), \quad (1.5)$$

where the solution $u(\vec{x})$ is defined in a region $\Omega \subset \mathbb{R}^3$, with boundary $\Sigma_1 \cup \Sigma_2$ and Γ_{mn}^p are called Christoffel symbols.

In general, for regular structures the elastic modulus tensor depends on two spatial variables, the global variable \vec{x} and a fast variable $\vec{\xi}$ defined over the periodicity unitary cell. These variables are related through the equality $\vec{\xi} = \frac{\vec{x}}{\varepsilon}$, where $\varepsilon > 0$ represents a small parameter.

The solution of the problem (1.3) - (1.4) is searched in the form of a formal asymptotic expansion at two scales up to order 2 as follows [2]:

$$u_m(\vec{x}) = v_m(\vec{x}) + \varepsilon \left[N_{(0)m}^l(\vec{\xi}, \vec{x}) v_l(\vec{x}) + N_{(1)m}^{lk}(\vec{\xi}, \vec{x}) v_{l,k}(\vec{x}) \right] + o(\varepsilon), \quad (1.6)$$

where $v_m(\vec{x})$ are $C^2(\Omega)$ class functions; $N_{(0)m}^l(\vec{\xi}, \vec{x})$ and $N_{(1)m}^{lk}(\vec{\xi}, \vec{x})$ are C^2 periodic class functions with respect to $\vec{\xi}$ variable and that satisfied

$$N_{(0)m}^l(\vec{\xi}, \vec{x}) = N_{(1)m}^{lk}(\vec{\xi}, \vec{x}) = 0.$$

The angular brackets $\langle f(\vec{\xi}, \vec{x}) \rangle = \frac{1}{V} \int_V f(\vec{\xi}, \vec{x}) dV$ denotes the average of the function in the periodic cell over V .

Substituting (1.6) into (1.3) - (1.5) and applying operations and grouping in powers of ε , the theory of zero approximation problem is obtained in the homogenized form.

$$\begin{aligned}
h^{il} v_l + h^{ikl} v_{l,k} + h^{ik_2lk_1} v_{l,k_1k_2} + F^i &= 0, \\
v_i|_{\Sigma_1} &= u_i^0, \quad (h^{ijl} v_l + h^{ijlk} v_{l,k}) n_j|_{\Sigma_2} = S_0^i.
\end{aligned} \tag{1.7}$$

For quasi-periodic structures, the coefficients

$$H^{il} = \langle h^{il} \rangle, \quad H^{ikl} = \langle h^{ikl} \rangle \quad \text{y} \quad H^{ijkl} = \langle h^{ijkl} \rangle$$

are called *effective coefficients* for problem (1.7). Now, if we consider that the composite depends only on one variable, in particular, the direction of the third component x^3 of \vec{x} the following expressions are obtained:

$$\begin{aligned}
H^{il}(\vec{x}) &= \left\langle -\Gamma_{mn,j}^l C^{ijmn} + 2\Gamma_{jr}^{(i} C^{j)rm3} \left(N_{(0)m}^l \right)' - \right. \\
&\quad \left. - 2\Gamma_{jr}^{(i} C^{j)rmn} \Gamma_{mn}^l + C^{ijmn} N_{(0)m}^l \right\rangle, \\
H^{ikl}(\vec{x}) &= \left\langle \left(C^{ikm3} N_{(0)m}^l \right)' - \Gamma_{mn}^l C^{ikmn} + \right. \\
&\quad \left. + 2\Gamma_{jr}^{(i} C^{j)rm3} \left(N_{(1)m}^{lk} \right)' + 2\Gamma_{jr}^{(i} C^{j)rlk} \right\rangle, \\
H^{ijkl}(\vec{x}) &= \left\langle C^{ijm3} \left(N_{(1)m}^{lk} \right)' + C^{ijkl} \right\rangle, \\
H_*^{ijl}(\vec{x}) &= \left\langle C^{ijm3} \left(N_{(0)m}^l \right)' - \Gamma_{mn}^l C^{ijmn} \right\rangle.
\end{aligned} \tag{1.8}$$

Besides, $N_{(1)m}^{lk}(\xi)$ and $N_{(0)m}^l$ are solutions for the local problems:

$$\left[C^{i3m3} \left(N_{(0)m}^l \right)' - \Gamma_{mn}^l C^{i3mn} \right] = 0, \tag{1.9}$$

$$\left[C^{i3m3} \left(N_{(1)m}^{lk} \right)' + C^{i3lk} \right] = 0. \tag{1.10}$$

In order to obtain $N_{(1)m}^{lk}(\xi)$ and the effective coefficients we can proceed as follows: integrating (1.10) and subtracting on both sides C^{i3lk} we have:

$$C^{i3m3} \left(N_{(1)m}^{lk} \right)' = -C^{i3lk} + A^{i3lk}, \tag{1.11}$$

where A^{i3lk} are the integration constants, respect the derivatives of the local functions

$$\left(N_{(1)m}^{lk} \right)' = \left(C^{m3i3} \right)^{-1} \left(-C^{i3lk} + A^{i3lk} \right). \tag{1.12}$$

Taking the average of the left side of the equation, by the continuity hypothesis on the cell we have:

$$\left\langle \left(N_{(1)m}^{lk}(\vec{\xi}, \vec{x}) \right)' \right\rangle = 0.$$

From (1.12) we have that

$$A^{i3lk} = \left\langle \left(C^{i3p3} \right)^{-1} \right\rangle^{-1} \left\langle \left(C^{p3q3} \right)^{-1} C^{q3lk} \right\rangle. \tag{1.13}$$

Substituting (1.13) into (1.12) we obtain

$$\begin{aligned} (N_{(1)m}^{lk})^* &= (C^{m3i3})^{-1} \left\langle (C^{i3p3})^{-1} \right\rangle^{-1} \left\langle (C^{p3q3})^{-1} C^{q3lk} \right\rangle - \\ &\quad - (C^{m3i3})^{-1} C^{i3lk}, \end{aligned} \quad (1.14)$$

The following propositions make easier the calculation for the remaining coefficients:

Proposition 1: The following relations are taken for the local functions $N_{(0)m}^l$ and $N_{(1)m}^{lk}$

$$N_{(0)m}^l(\vec{\xi}, \vec{x}) = -\Gamma_{pq}^l N_{(1)m}^{pq}(\vec{\xi}, \vec{x}). \quad (1.15)$$

Proposition 2: The following relations are satisfied

$$C_{(0)}^{ijk}(\vec{\xi}) = -\Gamma_{pq}^k C_{(0)}^{ijpq}(\vec{\xi}), \quad (1.16)$$

where,

$$\begin{aligned} C_{(0)}^{ijl} &\equiv C^{ijmn} N_{(0)m}^l - \Gamma_{mn}^l C^{ijmn}, \\ C_{(0)}^{ijkl} &\equiv C^{ijmn} N_{(1)m}^{lk} + C^{ijkl}, \end{aligned} \quad (1.17)$$

are the elastic moduli tensors for the null approximation [1]. In addition,

$$\begin{aligned} C_{(0)}^{ijkl} &= C^{ijkl}(\vec{\xi}) + C^{ijm3} \left[(C^{m3n3})^{-1} \left\langle (C^{n3p3})^{-1} \right\rangle^{-1} \times \right. \\ &\quad \left. \times \left\langle (C^{p3q3})^{-1} C^{q3kl} \right\rangle - (C^{m3r3})^{-1} C^{r3kl} \right]. \end{aligned}$$

Thus, the effective moduli elastic tensor is given by:

$$\begin{aligned} H^{ijkl} &\equiv \langle C_{(0)}^{ijkl} \rangle = \langle C^{ijkl} \rangle + \\ &\quad + \left\langle C^{ijm3} (C^{m3n3})^{-1} \right\rangle \left\langle (C^{n3p3})^{-1} \right\rangle^{-1} \left\langle (C^{p3q3})^{-1} C^{q3kl} \right\rangle - \\ &\quad - \left\langle C^{ijm3} (C^{m3r3})^{-1} C^{r3kl} \right\rangle. \end{aligned} \quad (1.18)$$

2. Description of methodology obtained. Spherical case.

As results of the analysis in the previous section may be establish a general methodology for determining the coefficients of the homogenized equilibrium equation and the conditions at the boundary (\mathbf{H}^{ii} , \mathbf{H}^{ikk} , \mathbf{H}^{ijkl} , \mathbf{H}_*^{ijkl}).

The methodology is shown through an example.

Consider the initial case on this work (Figure 1) a composite formed by a sphere consisting of N layers of thickness δ and that satisfices the periodicity conditions (1.1) and (1.2).

Therefore the spherical coordinates system is considered:

$$x^1 = \theta; \quad x^2 = \phi; \quad x^3 = r \quad (2.1)$$

For the current case, the metric tensor is a square matrix of order 3 diagonal with nonzero components given by the expressions:

$$g_{11} = (r \sin(\phi))^2; \quad g_{22} = r^2; \quad g_{33} = 1 \quad (2.2)$$

The corresponding non-zero Christoffel symbols are:

$$\Gamma_{11}^3 = -r \quad , \quad \Gamma_{22}^3 = -r \sin^2(\phi) \quad , \quad \Gamma_{12}^2 = -\sin(\phi) \cos(\phi)$$

$$\mathbf{H}_*^{112} = -\Gamma_{11}^2 \mathbf{H}^{1111} = \text{sen } \phi \cos \phi \left[\left\langle \frac{E_m}{1-v_m^2} \right\rangle + \frac{\left\langle \frac{v_m}{1-v_m} \right\rangle^2}{\left\langle \frac{(1+v_m)(1-2v_m)}{E_m(1-v_m)} \right\rangle} \right]$$

$$\mathbf{H}_*^{113} = -\Gamma_{11}^3 \mathbf{H}^{1111} = r \text{sen}^2 \phi \left[\left\langle \frac{E_m}{1-v_m^2} \right\rangle + \frac{\left\langle \frac{v_m}{1-v_m} \right\rangle^2}{\left\langle \frac{(1+v_m)(1-2v_m)}{E_m(1-v_m)} \right\rangle} \right]$$

$$\mathbf{H}_*^{222} = \mathbf{H}_*^{332} = -\Gamma_{11}^2 \mathbf{H}^{2211} = \text{sen } \phi \cos \phi \frac{\left\langle \frac{v_m}{1-v_m} \right\rangle}{\left\langle \frac{(1+v_m)(1-2v_m)}{E_m(1-v_m)} \right\rangle}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_*^{223} &= -\Gamma_{22}^3 \mathbf{H}^{2222} - \Gamma_{11}^3 \mathbf{H}^{2211} \\ &= r \left[\left\langle \frac{E_m}{1-v_m^2} \right\rangle + \frac{\left\langle \frac{v_m}{1-v_m} \right\rangle^2}{\left\langle \frac{(1+v_m)(1-2v_m)}{E_m(1-v_m)} \right\rangle} \right] + \\ &\quad + r \text{sen}^2 \phi \frac{\left\langle \frac{v_m}{1-v_m} \right\rangle}{\left\langle \frac{(1+v_m)(1-2v_m)}{E_m(1-v_m)} \right\rangle} \end{aligned}$$

$$\mathbf{H}_*^{333} = -\Gamma_{11}^3 \mathbf{H}^{3311} - \Gamma_{22}^3 \mathbf{H}^{3322} = r (\text{sen}^2 \phi + 1) \frac{\left\langle \frac{v_m}{1-v_m} \right\rangle}{\left\langle \frac{(1+v_m)(1-2v_m)}{E_m(1-v_m)} \right\rangle}$$

$$\mathbf{H}_*^{121} = -\Gamma_{12}^1 \mathbf{H}^{1212} = -\frac{\cot \phi}{2} \left\langle \frac{E_m}{1+v_m} \right\rangle$$

$$\mathbf{H}_*^{131} = \mathbf{H}_*^{232} = -\Gamma_{13}^1 \mathbf{H}^{1313} = -\frac{1}{2r} \frac{1}{\left\langle \frac{1+v_m}{E_m} \right\rangle}$$

After determining the effective coefficients they are substituted in the homogenized problem (1.7) and we can obtain the approximate solution $u_m(\vec{x})$, that holds

$$\|u - u_m\|_{L_2} = o(\varepsilon)$$

where u is the exact solution of the original problem.

3. Analysis of results.

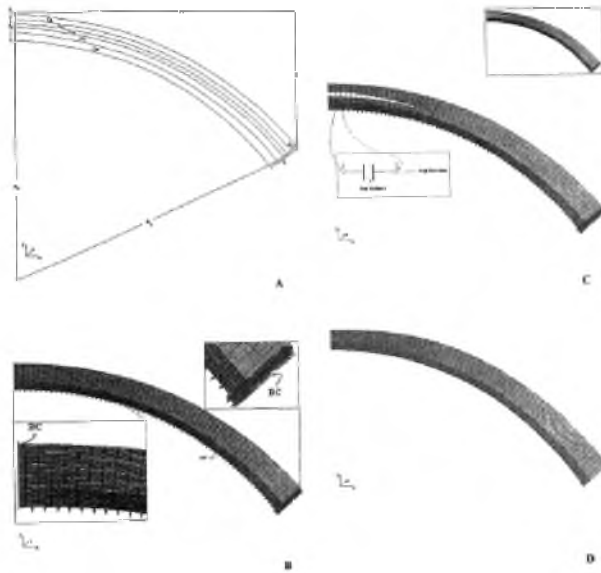


Figure 1. Human Cornea geometric model

Figure 2 shows a geometric model of a human cornea which has been found to conform to the shape of a spherical subregion. The radius measured in the central region ranges 495 to 510 μm . On the other hand, in Figure 3 can be observed the three main layers that conform the human cornea structure. They are called Epithelium, Stroma and Endothelium, which are separated by two membranes (Bowman and Descemet) with negligible thickness for the purpose of making this work.



Figure 2. Human corneal morphology

In [5] states that most authors only the Stroma has a structural behavior that allow to justify the strength observed in cornea's primary role of maintaining the structural integrity of the eye. It is for this reason that the values assigned to *Young Moduli* ($E_S = 0.622 \text{ N/mm}^2$) are numerically higher which been determined in [6], while the lower numerical value to the remaining two layers ($E_{EP} = 0.275 \text{ N/mm}^2$ and $E_{EN} = 0.279 \text{ N/mm}^2$). It is known, that the Stroma occupies 90% of the thickness of the cornea, which acts directly on the volume fraction $\frac{1}{2}r^2\phi$ which is used to calculate the numerical values of the effective coefficients \mathbf{H}^{ijk} and \mathbf{H}_*^{ij} , associated to the composite with rectangular coordinate system and the composite with curvilinear spherical coordinate system, respectively.

A comparison between the effective coefficients in rectangular and curvilinear spherical coordinate systems are shown.

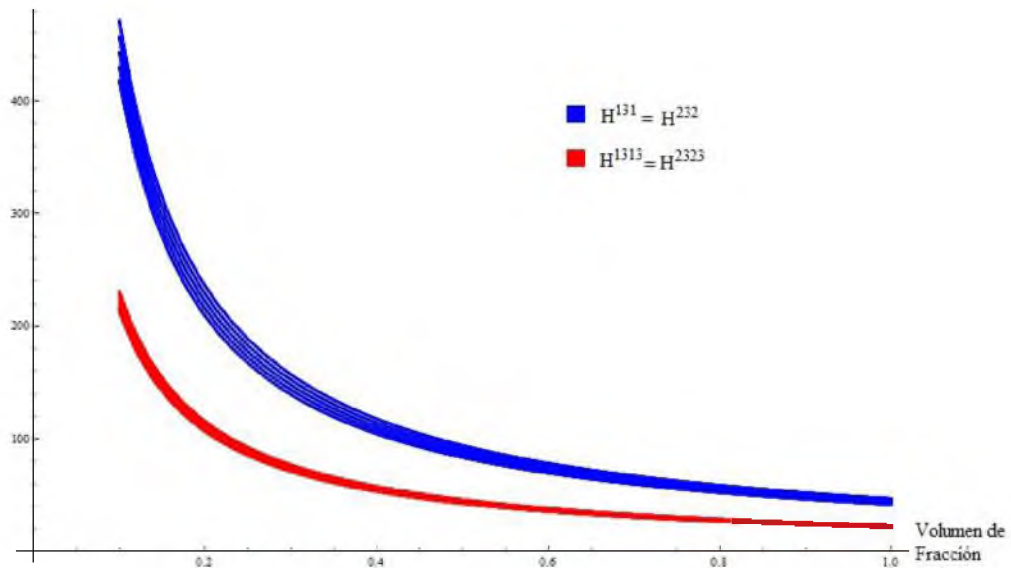


Figure 3

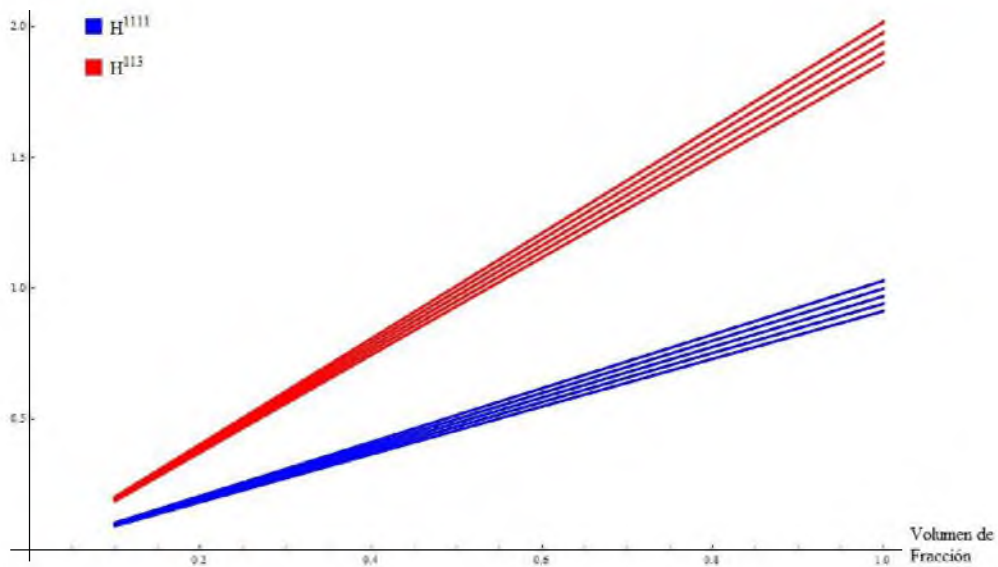


Figure 4

Conclusions

The main objective of this work is the explanation of a methodology described in [1], to find the effective properties of quasi-periodic media using curvilinear coordinates. The algorithm presented is a fairly general method is rigorously justified. It can be easily implemented computationally. The list of the effective coefficients determined by this formalism and its importance to determine those which contribute to the geometric nonlinearity of the problem is studied.

In the graphs (Figures 4 and 5) you can see how this phenomenon affects the center of a spherical-shaped structure composed of several layers, although it is not possible to give an immediate physical explanation to the numerical values

calculated and effective. It would be necessary to solve the problem using the linear elastic effective coefficients calculated and compared with theoretical and practical results published in the world to better determine the adequacy of the model to the interests of authors to describe the behavior of a human cornea in a state of equilibrium or under varying loads. The developed model has considered only elastic means, but can be generalized to quasi-periodic structures, where there are complex interactions between the properties of the phases, such as field coupling mechanical, electrical and magnetic, which is of great interest in science and applications of composite materials. This work opens up a window for the modeling of other laminated structures such as quasi-periodic studied in the papers [3-6] cited in the literature.

References

- [1] B.E. Pobedrya, *Mechanics of Composite Materials*, Moscow State University Press, Moscow, (1984) in Russian.
- [2] N. Bakhvalov, G. Panasenko, *Homogenisation: Averaging Processes in Periodic Media. Mathematics and its Application (Soviet Series)*. (1989).
- [3] Long-Yuan Li, Brian Tighe, Nonlinear analysis of static axisymmetric deformation of the human cornea. *Computational Materials Science*, 38 (2007) 618–624
- [4] David Huang, Maolong Tang, Raj Shekhar, Mathematical Model of Corneal Surface Smoothing After Laser Refractive Surgery. *American Journal of Ophthalmology*, 135 (2003) 267-278.
- [5] Anna Pandolfi, Gerhard A. Holzapfel, Three-dimensional modeling and computational analysis of the human cornea considering distributed collagen fibril orientations. *Journal of Biomechanical Engineering*. Vol. 130 (2008), pp 061006-1-061006-12.
- [6] D. Cabrera Fernández et al., Finite element analysis applied to cornea reshaping. *Journal of Biomechanical Optics*. Vol. 10(6), (2005), pp 1-19.

АНТРОПОГЕННАЯ ФРАГМЕНТАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ И ЭФФЕКТ ОТЛОЖЕННОГО ВЫМИРАНИЯ ВИДОВ

Акатов В.В.

Майкопский государственный технологический университет

(Майкоп, Россия)

E-mail: akatovmgti@mail.ru

The published data on consequences of anthropogenic fragmentation of natural landscapes for biological communities are reported and discussed. Results of the studies provide evidence for the slow response of species richness to habitat loss and insulation. Because the species predicted to eventually become extinct still persist (extinction debt effect), there is time left to implement countermeasures.

К началу 20-го века благодаря сельскохозяйственному освоению суши естественные ландшафты были разрушены примерно на 20% ее территории. В последующем аграрная экономика сменилась индустриальной, что привело к разрушению ландшафтов еще на 43%. В результате в развитых странах, а также в районах древнего земледелия (Европа, часть Северной Америки, Юго-Восточная Азия, Индостан) к настоящему времени природные сообщества сохранились лишь на 1-10% территории, причем преимущественно в виде небольших изолированных фрагментов [1].

Сокращение площади сообществ в результате разрушения ландшафтов и сопутствующая этому утрата части местообитаний ведут к региональному или полному вымиранию некоторого числа видов, а их фрагментация – к снижению численности локальных популяций и интенсивности обмена видами между остатками сообществ, ставших изолятами [2, 3]. Соответственно, если теория равновесия островной экологии является правомерной, то недавно образованные фрагменты сообществ должны быть сверхнасыщены видами, то есть включать большее их число, чем равновесное, соответствующее площади и степени изолированности участков (рис.) [4]. В дальнейшем они должны двигаться к новому равновесию за счет более высокой скорости вымирания видов по сравнению со скоростью их иммиграции (эффект видовой релаксации: [3]). При этом, снижение видового богатства фрагментированных сообществ может сопровождаться либо увеличением плотности (биомассы) оставшихся видов (эффект компенсации плотностью: [5]) либо активным внедрением в них синантропных элементов (адвентивных, рудеральных и сегетальных видов) [6, 7].

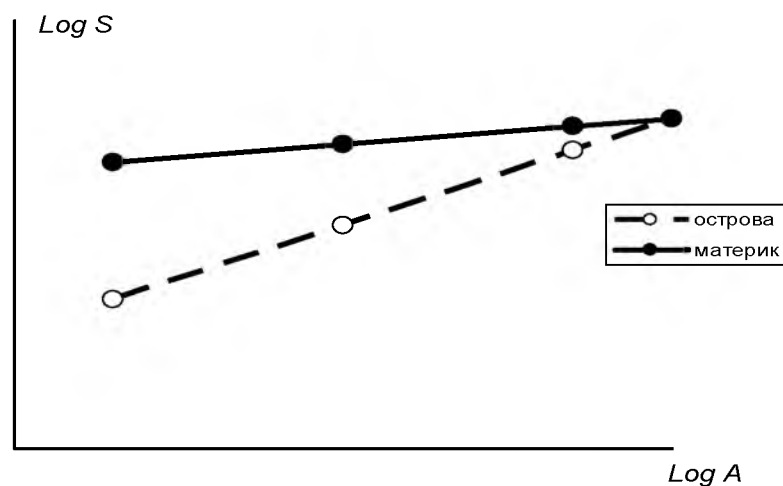


Рис. Соотношение между площадью (A) и числом видов (S) на островах (фрагментах сообществ) и участках материка (крупных массивах сообществ) (по: [3, 4]).

Основная информация об отдаленных последствиях нарушения миграционных процессов для сообществ была получена путем сопоставления видового богатства участков материков, океанических и континентальных (то есть отделенных от материка в прошлом в результате подъема уровня океана) островов [2, 3, 8, 9]. Так, Даймонд сопоставил видовое богатство орнитофаун островов вулканического и континентального происхождения, расположенных в районе Новой Гвинеи, и определил, что за период около 10000 лет континентальные острова площадью несколько сотен или тысяч квадратных километров потеряли значительное число видов птиц, но еще не достигли новой точки равновесия, в отличие от островов площадью менее 250 км². По его расчетам, для участков площадью несколько квадратных километров период полной релаксации может составить всего несколько десятилетий [2].

Соул с коллегами на основе данных о соотношении «площадь – число видов» для Зондских островов, определили скорость вымирания крупных млекопитающих в случае изоляции участков площадью от 2000 до 15000 км². Результаты расчетов показали, что участок площадью примерно 4000 км² в случае изоляции потеряет 11% видов через 50 лет, 44% - через 500 лет и 77% - через 5000 лет [8]. Уилкоккс [3], обобщив аналогичные данные по различным группам животных, делает вывод, что фауны млекопитающих должны сокращаться быстрее, чем фауны птиц, а фауны рептилий и амфибий – напротив медленнее.

В какой степени данные результаты согласуются с последствиями антропогенной фрагментации природных сообществ? В последние два десятилетия этому вопросу было посвящено значительное число публикаций. Исследования охватили практически все регионы мира и значительное число типов биологических сообществ, фрагментированных человеком 30-200 лет назад. Однако в большинстве случаев они не дали убедительных доказательств существенного влияния островного эффекта на их видовое

богатство [10-14 и многие др.], так же как и наличия в них компенсационных процессов [15-17 и др.]. При этом, данное обстоятельство не только не поставило под сомнение правомерность теории равновесия, но и привело к формированию на ее основе новой природоохранной концепции, получившей весьма широкую поддержку. В переводе она может звучать как «концепция отложенного вымирания видов» или «долга вымирания» (extinction debt: [18-20]. Ее основные положения сводятся к следующему:

1. Поскольку в большинстве районов Земли антропогенная фрагментация природных ландшафтов произошла относительно недавно, остатки многих сообществ включают избыточное число видов, часть из которых будет утеряна в процессе движения к новому равновесию, причем без каких-либо внешних воздействий.

2. Число таких видов более значительно в более крупных по размеру и менее изолированных фрагментах сообществ; их больше среди видов нижних трофических уровней и с более продолжительным жизненным циклом.

3. Такие сообщества и группы видов должны стать объектом особого внимания со стороны экологов. Имеется некоторый (возможно значительный) период времени, который необходимо использовать для организации эффективной системы их сохранения.

Признание «долга вымирания» требует ответа на ряд прикладных вопросов теории равновесия, в том числе: 1) о минимальной площади резерватов, обеспечивающей в условиях изоляции сохранение их видового богатства в течение определенного достаточно длительного периода времени; 2) об условиях, необходимых для естественной реколонизации видов на участки в случае их локального вымирания.

Площадь резерватов. В соответствии с теорией равновесия, влияние изоляции на видовое богатство сообществ может быть практически сведено к нулю, по крайней мере, в течение обозримого будущего, если размер резервата будет более некоторой пороговой величины (рис). Одним из способов его определения является сопоставление числа видов на островах или островных местообитаниях и на таких же по площади и сходных по условиям участках «материка». Так, по данным Л.И. Малышева [9], многие крупные острова, площадь которых превышает 8000 км², по уровню флористического богатства имеют «материковую» флору независимо от степени их изоляции. По его расчетам, для сохранения видового богатства сосудистых растений в резерватах их площадь должна быть значительной: в Арктике – не менее 100 км², в умеренной и теплой зонах несколько сотен или тысяч квадратных километров. С ними согласуются результаты наших исследований, выполненных на примере субальпийских лугов обособленных и необособленных лесом высокогорных массивов Западного Кавказа. Они показали, что для долговременного сохранения видового богатства фитоценозов такого типа необходимы резерваты площадью не менее 100 км² [21, 22].

О том, что для предотвращения или замедления видовой релаксации требуются значительные по площади резерваты, свидетельствуют также

результаты изучения изолятов существенно меньшего размера. Так, Т.Г. Ескина [23] выяснила, что луговые фитоценозы полей среднегорных и верхнегорных лесов Западного Кавказа площадью до 20 га обеднены по сравнению с близкими по структуре и составу субальпийскими лугами этого района примерно на 25-40%. Обесо и Аедо на основе анализа видового богатства открытых группировок растений небольших изолированных пляжей Атлантического побережья Испании (площадь: 0.05-71.1 га) делают вывод, что на всех из них происходит вымирание видов, и ни один из них не пригоден для организации резерватов [24]. Кроме того, результаты исследований на Западном Кавказе показали, что многовидовые растительные сообщества преимущественно менее устойчивы к нарушению миграционных процессов, чем маловидовые, и поэтому для их сохранения требуются более крупные резерваты и более строгие меры охраны [21, 22, 25]. С этим выводом согласуются данные о большей чувствительности к изоляции сообществ тропической зоны по сравнению с сообществами умеренной и, особенно, холодной зон [9, 26].

Эффекты архипелага и матрицы. Считается, что резерваты, составляющие заповедную сеть, не должны быть слишком удалены друг от друга, иначе эффект «архипелага» будет утрачен [9, 27]. По данным Л.И. Малышева [9], для флоры высших сосудистых растений режим изоляции будет возникать при удалении охраняемых участков на 100-200 км от крупных массивов природных ландшафтов. Однако, как свидетельствуют результаты других исследований, миграционные возможности растений более ограничены. В частности, о низкой интенсивности обмена видами между островными флорами может свидетельствовать частое отсутствие отрицательной корреляции между их видовым богатством и степенью изолированности [21-23, 28-30 и др.]. Так, Уайт и Миллер выявили слабую положительную связь между видовым богатством елово-пихтовых лесов и дистанцией между хребтами Южных Аппалачей, которая варьировала от 3.3 до 23.9 км [30]. Наши данные по фитоценозам небольших обособленных высокогорных массивов Западного Кавказа, удаленных от более крупных массивов на 0.68–12 км, также свидетельствуют в пользу этой точки зрения [21, 22].

В последние годы значительное распространение получила точка зрения, что видовое богатство изолятов зависит не столько от площади и расстояния между ними, сколько от наличия миграционных коридоров и особенностей окружающих их ландшафтов (агрокультурных, урбо- или технических) – «эффект матрицы» [31, 32 и др.]. Не исключено, что такая смена акцентов в определенной степени является вынужденной – в большинстве развитых стран мира все труднее выделить крупные массивы природных сообществ (или их «архипелаги»), перспективные для организации полноценных резерватов. В качестве ответа на этот вызов предлагается «экстенсивный» подход к сохранению разнообразия видов. Он предполагает активное управление ландшафтами на значительных площадях (то есть матрицами) с целью создания благоприятных условий для

поддержания целостности включенных в них фрагментов природных сообществ [19, 33, 34]. Данная тенденция воспринимается, как отход от бинарного взгляда на систему «ценоз – изолирующая среда», сформированного под влиянием островной экологии [35], а соответственно, как снижение значимости теории равновесия для природоохранной практики. Следует отметить, однако, что, несмотря на значительную популярность этой идеи, конкретные знания о роли матриц и миграционных коридоров в сохранении целостности фрагментированных сообществ, остаются весьма ограниченными [35, 36].

При подготовке сообщения использованы результаты исследований, выполненных при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 97-04-48360, 00-04-48802; 12-04-00204), ГЭФ (проект В.2.5.42) и Министерства образования РФ (проект 015.07.01.60).

Список литературы

1. Лосев К.С. Преобразование естественных ландшафтов // Современные глобальные изменения природной среды. В 2-х томах. Т. 2. М.: Научный мир, 2006. С. 203–212.
2. Diamond J.M. The island dilemma: Lessons of modern biogeographic studies for the design of nature reserves // *Biol. Conserv.* 1975. V. 7. P. 129–146.
3. Уилкоккс Б.А. Островная экология и охрана природы // Биология охраны природы. М., 1983. С. 117–142.
4. MacArthur R.H., Wilson E.O. An equilibrium theory of insular zoogeography // *Evolution.* 1963. V.17. № 4. P. 373–387.
5. MacArthur R.H., Diamond J.M., Karr J.R. Density compensation in island faunas // *Ecology.* 1972. V. 53. P. 330–342.
6. Мяло Е.Г., Дикарева Т.В. Глобальные изменения биомов суши // Современные глобальные изменения природной среды. В 2-х томах. Т. 2. М.: Научный мир, 2006. С. 377–389.
7. Загурная Ю.С. Площадь и степень синантропизации и адвентивизации фрагментов широколиственных лесов Западного Предкавказья // *Экологический вестник Северного Кавказа.* 2010. Т. 6. № 4. С. 80–84.
8. Soule M. E., Wilcox B.A., Holtby C. Benign neglect: A model of faunal collapse in the game reserves of East Africa // *Biol. Conserv.* 1978. Vol. 15. P. 259–272.
9. Малышев Л.И. Изолированные охраняемые территории как ложноостровные биоты // *Журн. общ. биол.* 1980. Т. 41. № 3. С. 338–349.
10. Simberloff D., Gotelli N. Effects of insularisation on plant species richness in the prairie-forest ecotone. // *Biol. Conserv.* 1984. V. 29. P. 27–46.
11. Dzwonko Z., Loster S. Species richness of small woodlands on the Western Carpathian foothills // *Vegetatio.* 1988. V. 76. P. 15–27.
12. Krauss J., Klein A.M., Dewenter I.S., Tschardt T. Effects of habitat area, isolation, and landscape diversity on plant species richness of calcareous grasslands // *Biodiversity and Conservation.* 2004. V. 13. P. 1427–1439.

13. Helm A., Hanski I., Pärtel M. Slow response of plant species richness to habitat loss and fragmentation // *Ecol. Lett.* 2006. V. 9. P. 72–77.
14. Загурная Ю.С. Влияние изоляции на состав и видовое богатство фитоценозов дубовых лесов предгорной части Северо-Западного Кавказа // *Бюл. Моск. о-ва испыт. природы. Отд. биол.* 2008. Т. 113. Вып. 3. С. 37–42.
15. Brotons L., Monkkonen M., Martin J.L. Are fragments islands? Landscape context and density-area relationships in boreal forest birds // *The American naturalist* 2003 V. 162, № 3 P. 343–357.
16. Anjos L dos. Species richness and relative abundance of birds in natural and anthropogenic fragments of Brazilian Atlantic forest // *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (2004) 76(2): 429–434.
17. Акатов В.В., Акатова Т.В., Загурная Ю.С., Шадже А.Е. Влияние фрагментации и смены доминантов на локальное видовое богатство и структуру численности видов деревьев в лесах Западного Кавказа // *Живые и биокосные системы*. 2013. URL: <http://www.ibks.ru> (в печати).
18. Tilman D, May R.M., Lehman C.L., Nowak M.A. Habitat destruction and the extinction debt // *Nature*. 1994. V. 371. P. 65–66.
19. Kuussaari M, Bommarco R, Heikkinen R.K, Helm A, Krauss J, Lindborg R, et al. Extinction debt: a challenge for biodiversity conservation // *Trends Ecol. Evol.* 2009. V. 24. P. 564–571.
20. Krauss J., Klein A.M., Dewenter I.S., Tschardt T. Effects of habitat area, isolation, and landscape diversity on plant species richness of calcareous grasslands // *Biodiversity and Conservation*. 2004. V. 13. P. 1427–1439.
21. Акатов В.В., Акатова Т.В. Видовая неполночленность субальпийских фитоценозов изолированных высокогорных массивов Западного Кавказа // *Бюл. Моск. о-ва испыт. природы. Отд. биол.* 1999. Т. 104. Вып. 3. С. 32–37.
22. Акатов В.В. 60 лет теории динамического равновесия островной биогеографии: проблемы тестирования, результаты полевых исследований, прикладное значение // *Журнал общей биологии*. 2012. Т. 73. № 3. С. 163–182.
23. Ескина Т.Г. Площадь и степень изоляции как факторы варьирования видовой полночленности фитоценозов лесных полей Северо-Западного Кавказа // *Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Серия Ест. науки*. 2002. № 4. С. 87–89.
24. Obeso J.R., Aedo C. Plant-species richness and extinction on isolated dunes along the rocky coast of northwestern Spain // *J. of Veg. Sc.* 1992. V. 3. №. 1. P. 129–132.
25. Акатов В.В. Видовое разнообразие фитоценозов и организация природных резерватов // *Ботан. журн.* 1998. Т. 83. № 3. С. 121–131.
26. Chown S.L., Gremmen N.J.M., Gaston, K.J. Ecological biogeography of Southern Ocean Islands species-area relationships, human impacts, and conservation // *Amer. Natur.* 1998. V. 152. P. 562–575.

27. Пузаченко Ю.Г., Дроздова Н.Н. Площадь охраняемых территорий // Итоги и перспективы заповедного дела в СССР. М.: Наука, 1986. С. 72–109.
28. Kelly B.J., Wilson J.B., Mark A.F. Causes of species-area relation: a study of islands in lake Manapouri, New Zealand // J. Ecol. 1989. V. 77. P. 1021–1028.
29. Simpson B.B. Pleistocene changes in flora of the high tropical Andes // Paleobiology. 1974. V. 1. P. 273–294.
30. White P. S., Miller R. J. Topographic models of vascular plant richness in the Southern Appalachian high peaks // J. of Ecology. 1988. V. 76. P. 192–199.
31. Metzger J.P. Relationships between landscape structure and tree species diversity in tropical forests of South-East Brazil // Landscape and Urban Planning. 1997. V. 37. P. 29–35.
32. Lomolino M.V., Perault D.R. Island biogeography and landscape ecology of mammals inhabiting fragmented, temperate rainforests // Global Ecology and Biogeography. 2001. V. 10. № 2. P. 113–132.
33. Whittaker R.J., Araújo M.B., Jepson P., Ladle R.J., Watson J.E.M., Willis K.J. Conservation Biogeography: assessment and prospect // Diversity Distrib. 2005. V. 11. P. 3–23.
34. Wiens J.A. Landscape ecology as a foundation for sustainable conservation // Landscape Ecol. 2009. V. 24. P. 1053–1065.
35. Kennedy C.M., Marra P.P., Fagan W.F., Neel M.C. Landscape matrix and species traits mediate responses of Neotropical resident birds to forest fragmentation in Jamaica // Ecological Monographs. 2010. V. 80. № 4. P. 651–669.
36. Shaffer C.L. Inter-reserve distance // Biol. Conserv. 2001. V. 100. P. 215–227.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АЗК ЗА СЧЕТ СОКРАЩЕНИЯ ПОТЕРЬ ПРИ ИСПАРЕНИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Артамонов А.М.

*Майкопский государственный технологический университет
(Майкоп, Россия)
E-mail: artamonova_mkgtu@mail.ru*

В настоящее время на автозаправочных комплексах (АЗК) важная роль отводится вопросу защиты окружающей среды. Особенно велика роль улавливания и утилизации газообразных паров углеводородов при их сливе (наливе) в резервуар, так как потери при данных операциях составляют основную долю испаряемых нефтепродуктов. Это приводит с одной стороны к загрязнению окружающей среды, создает пожаро взрывоопасную ситуацию на АЗК, а с другой стороны ведёт к потерям нефтепродуктов и ухудшению их качества за счёт испарений лёгких фракций.

Решение проблемы экологической безопасности АЗК за счет сокращения потерь при испарении нефтепродуктов является первостепенной задачей для Республики Адыгея, на территории которой находится большое количество больших и малых автозаправочных станций.

В настоящее время существует много способов снижения загрязнения атмосферы выбросами углеводородов, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки [2].

Наибольшее распространение получил способ, который основан на снижении интенсивности «больших дыханий» в резервуарных парках при заполнении резервуаров за счет оборудования парков газоуравнительными системами. Недостатком этого способа является то, что газоуравнительные системы не обеспечивают достаточного снижения выброса газообразных углеводородов из-за невозможности осуществления полной синхронности технологических процессов.

Другой способ основан на окислении (выжигании) газообразных углеводородов из резервуаров во время дыхания. Недостатками данного способа являются: загрязнение продуктами сгорания окружающей среды, повышение пожаро взрывоопасности и полная потеря «ценных» углеводородов. Преимущество способа — возможность использования тепла, полученного при сжигании углеводородов.

В большую группу объединяют способы, основанные на выделении (улавливании) углеводородов из газообразной смеси с последующим восстановлением качества нефтепродукта или возвращением в емкость хранения с данным продуктом, либо уничтожением.

Известен, мембранный способ разделения газов и жидкостей, который основан на способности мембраны пропускать, вещество с определенным размером молекул.

Данная технология имеет низкую пропускную способность и эффективна для разделения паровоздушной смеси, состоящей не более чем из двух-трех компонентов. Кроме этого, возникает проблема утилизации каждого из компонентов после разделения смеси на её составляющие.

Еще одним способом является отделение углеводородов от воздуха путем перевода их из газообразного в жидкое состояние методом охлаждения смеси воздуха с углеводородами. Основным недостатком данной технологии является то, что она имеет недостаточную степень улавливания. Существующая аппаратура обеспечивает осаждение паров нефтепродуктов до 40%. Причина в том, что пары нефтепродуктов конденсируются на стенках охлаждающего элемента, что приводит к ухудшению теплоотдачи и снижению эффективности холодильной установки [2].

Метод абсорбции. В отличие от адсорбции процесс абсорбции — это поглощение газа жидкостью (абсорбентом). Пример абсорбции — это поглощение кислорода из атмосферы водой морей и водоемов. При данном методе газ удерживается в жидкости, и что самое ценное — это именно методом абсорбции задерживаются практически все компоненты углеводородов при нормальных температурах и давлении. Процесс абсорбции — это молекулярный процесс проникновения молекул газа, находящихся в контакте с жидкостью, в межмолекулярное пространство жидкости. В качестве абсорбента газов углеводородов могут быть применены практически все жидкие смеси углеводородов, которые имеют малое содержание абсорбируемых углеводородов в растворенном состоянии.

Абсорбентом может быть жидкость, из которой выделяется газ, который необходимо абсорбировать. Для того чтобы процесс абсорбции шел быстрее, необходимо или снизить температуру абсорбента, или повысить давление в газе, а при увеличении вязкости процесс замедляется, так как при этом происходит замедление процессов диффузии.

Таким образом, критерием выбора абсорбента будет являться не только низкая температура абсорбента и высокое давление в газе, но и его вязкость. К таким критериям в качестве абсорбента наиболее подходят бензин, керосин, нефтяные масла и даже дизельное топливо.

При поглощении углеводородов специально подобранным абсорбентом (например, нефтяными маслами низкой вязкости, керосином и др.) абсорбент освобождается от поглощенных легких углеводородов в процессе десорбции и выделившиеся углеводороды могут сжигаться, например, в котельных, а могут использоваться в качестве товарной продукции. Очищенный от углеводородов абсорбент используется для поглощения новой порции газа.

Таким образом, наряду с достоинствами данного способа (абсорбции), имеются существенные недостатки — это увеличение степени взрывоопасности при повышении давления в газовой смеси и снижение эффективности метода при понижении температуры (ниже 0 °C).

Для интенсификации процессов абсорбции и десорбции используются специальные устройства — абсорберы и десорберы. ЗАО «Напор» г. Москва проводил лабораторные испытания для оценки дисковых абсорберов на модельном газе и абсорбенте. Данные испытания показали высокие результаты, которые дают возможность приступить к разработке и испытаниям опытных образцов.

Анализ современных способов защиты окружающей среды от паров углеводородов позволяет сделать вывод том, что наиболее перспективными на сегодняшний день является комбинированный метод, в основе которого лежит принцип абсорбции паров в охлажденном нефтепродукте.

С учетом вышеописанного, нами предлагается устройство для улавливания паров нефтепродуктов, схема которого представлена на рис. 1 [1].

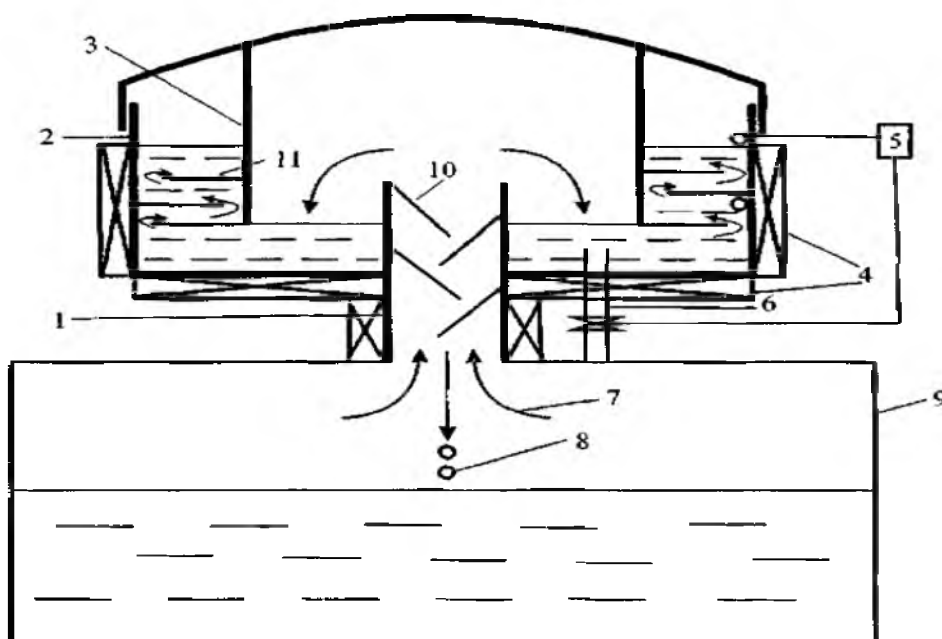


Рис.1. Устройство для улавливания паров нефтепродуктов: 1- патрубок, 2 - корпус, 3 - внутренний цилиндр, 4 - термоэлектрические элементы, 5 - регулятор уровня, 6 – сливной патрубок с клапаном, 7 – пар от нефтепродуктов, 8 – конденсат, 9 - резервуар, 10 – змеевик предварительного охлаждения, 11 - змеевик из дисковых колец.

Устройство работает следующим образом. Пары, поступающие из резервуара, проходят через змеевик предварительного охлаждения, частично конденсируются на нём и стекают обратно в резервуар. Более лёгкие фракции проходят через змеевик из дисковых колец в охлажденном нефтепродукте и конденсируются в нём. При достижении определенного верхнего уровня охлажденной жидкости в клапане автоматически открывается сливной кран, и часть избыточной холодной жидкости сливается обратно в резервуар. Для этого в устройстве оборудован двух позиционный регулятор уровня.

При заливке и сливе нефтепродуктов в резервуар предлагается соединить паровое пространство резервуара и транспортного средства, чтобы исключить излишнюю нагрузку на клапан. Таким образом, пары нефтепродукта будут возвращаться в резервуар в виде конденсата, и качество продукта будет сохраняться.

Экологическая обстановка и противопожарная безопасность в районе хранения ухудшатся не будут. В оборудованных такими клапанами резервуарах предлагается хранить продукты с высокой испаряемостью, например бензины.

Таким образом, данное устройство позволяет обеспечить улавливание паров нефтепродуктов и повысить эффективность экологической защиты на современных автозаправочных комплексах [2].

Список литературы

1. Яковлев В.С. Хранение нефтепродуктов. Проблемы защиты окружающей среды. - М.: Химия, 1987, 50 с.
2. Марцев Ю.П., Данилов В.Ф., Кузнецов А.С., Шепталов В.К. Проблемы защиты окружающей среды. - М.: Химия, 1987, 50 с.

ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ АВТОМОЕК НА СТАНЦИЯХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ПОДХОДЫ К ИХ РЕШЕНИЮ

Артамонова В.В.

Майкопский государственный технологический университет

(Майкоп, Россия)

E-mail: artamonova_mkgtu@mail.ru

Город – это живой, постоянно изменяющийся организм, сложная экологическая система с целым комплексом проблем. Загрязнение окружающей среды – одна из основных проблем экологии города. Меры, принимаемые по ее защите и сохранению городской экосистемы, недостаточны. Для сохранения жизнеобеспечивающих функций нужен экологический подход к городу, сущность которого заключается в рациональном использовании природной среды и ресурсов, что будет способствовать повышению устойчивости экосистемы города к технологическому и антропогенному воздействию. Одним из мощных источников загрязнения природной среды является автомобильный транспорт, увеличение численности которого в начале второй половины XX века привело к насыщению городов легковыми автомобилями и переключению на них большей части пассажирских перевозок. Это резко ухудшило санитарные условия проживания в крупных городах: автомобиль не только загрязняет воздушную среду и создает шум, но еще и негативно влияет на гидросферу. Каким же образом автомобиль загрязняет гидросферу? В качестве примера загрязнения водной среды транспортом обычно рассматривается загрязнение окружающей среды при транспортировке нефтепродуктов, забывая при этом о такой насущной проблеме, как сточные воды от мойки автомобилей [6].

Сточные воды от мойки автомобилей образуются на специализированных мойках автотранспорта в черте города, на постах мойки транспортных средств за городом, на передвижных установках для мойки автомобилей, на автотранспортных предприятиях, троллейбусных парках, городских автостанциях. Наибольшее количество загрязнений сточных вод образуется при мойке транспорта, входящего в регламент ежедневного технического обслуживания, а также агрегатов и деталей при осуществлении ремонта. Интенсивное загрязнение стоков нефтепродуктами и взвешенными веществами происходит в результате очистки и обезжиривания поверхностей деталей и узлов транспортных средств с помощью щелочных и кислотных растворов, синтетических моющих средств.

Основные загрязнители сточных вод, образующиеся при мойке автомобилей – механические примеси и нефтепродукты, представленные моторными маслами, различными видами топлива, частицами асфальта и песка, СОЖ, ПАВ, солями тяжелых металлов, а также моющими веществами

(ПАВ), используемыми при мойке. Концентрация углеводородов в сточных водах достигает 10 мг/л.

Повсеместно, как правило, в большинстве автохозяйств отработанные растворы моющих средств содержат нефтепродукты и взвеси в концентрации до 5 г/л, поверхностно-активных веществ (ПАВ) – до 0,1 г/л и щелочных электролитов – до 20 г/л, т.е. концентрация вредных примесей в этих растворах в 40 – 90 тыс. раз превышает санитарные нормы.

В настоящее время предъявляются очень высокие требования к строящимся автомойкам. Прежде чем начать свою работу, автомойка должна быть одобрена государственными экологическими службами и СЭС, после чего, казалось бы, безопасность для окружающей среды от работы автомойки гарантирована [5].

На бумаге все, как правило, выглядит замечательно, а на практике возникает еще множество проблем, как технического, так и финансового характера, что не позволяет должным образом обеспечить эту самую безопасность.

При этом следует отметить, что на рынке автоуслуг, наряду со строящимися мойками функционируют и те, что были построены много лет назад, и вот к ним то, еще больше вопросов в отношении безопасности с точки зрения экологии.

Проведенный мониторинг в рамках исследования проблемы загрязнения окружающей среды сточными водами от автомоек г. Майкопа показал, что проблема для нашего города достаточно актуальна, что обуславливает необходимость модернизации существующих предприятий в целях эффективной очистки сточных вод [5].

В качестве одного из подходов к решению этой проблемы нами был разработан проект участка мойки с применением системы оборотного водоснабжения в условиях ООО «Адыгея Лада» г. Майкоп.

Система оборотного водоснабжения мойки автомобилей позволяет использовать воду в замкнутом цикле, обеспечивая не только экономию водопроводной воды при мойке автотранспорта, но и снижение объема производственных сточных вод, загрязняющих окружающую среду.

Прогнозируемый срок возврата инвестиций предлагаемого проекта мойки равен два года, при нормативном сроке 7 лет, что имеет большое значение с точки зрения экономической эффективности внедрения подобных проектов на предприятиях автосервиса [4].

Список литературы

- 1.Бронштейн Л.А., Шульман А.С. Экономика автомобильного транспорта. – М.: Транспорт, 1986.
2. Денисова В.В. Экология. – Ростов: МарТ, 2002. – 640 с.
3. Напольский Г.М., Зенченко В.А. Обоснование спроса на услуги автосервиса и технологический расчет станций технического обслуживания легковых автомобилей. – М.: МАДИ, 2000.

4. Зубченко Г.В., Сулин Г.А. Рациональное использование водных ресурсов. – М.: Недра, 2004.

5. Колесников С.И. Экология. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2003.

6. Охрана производственных сточных вод./ Под редакцией В.Н. Соколова. - М.: Стройиздат, 1992.

7. Экономическая экология / Под ред. Аникеева Р.О. – М.: Просвещение, 1999.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА УРОЖАЙНОСТЬ ЦИТРУСОВЫХ КУЛЬТУР В АБХАЗИИ

Ахсалба А.К., Экба Я.А.

*Абхазский государственный университет,
Институт экологии Академии наук Абхазии
(Сухум, Абхазия)
E-mail: asida_cen@mail.ru, ekba-yan@yandex.ru*

Цитrusоводство в Абхазии относится к одному из приоритетных направлений сельского хозяйства. Это связано, в первую очередь, с экспортом данного товара в соседнюю Российскую Федерацию. История цитrusовых в Абхазии начинается с XVIII века, когда здесь впервые появляются насаждения лимона. Выращивать апельсины начали с 40-х гг. XIX века, а мандарины около ста лет назад, завезены они были из Турции [1,161 с].

Помимо мандаринов, апельсинов и лимонов в республике растут лаймы, грейпфруты, клементины и вилкинги – по сути, гибриды цитrusовых.

Основной вклад в сборе цитrusовых плодов, как в хозяйствах населения, так, и общественном секторе вносят: Гулрыпшский, Гагрский и Галский районы. На настоящий момент в общественном секторе находится 1500 га цитrusовых насаждений. Общий размер цитrusовых плантаций достигает 6,2 тыс. га. Свои насаждения имеются и у небольших заводов, занимающихся производством и консервированием мандаринового сока, а также у ряда хозяйств, находящихся под контролем у государства. Сбор урожая цитrusовых в Абхазии начинается со второй половины ноября, однако ранние сорта созревают ещё в середине октября. Сбор цитrusовых продолжается до конца января. Цитrusовые, выращиваемые в республике, обладают высокой приспособленностью к разнообразным местным почвам и выносливостью к холоду. Хорошо известно, что цитrusовые обладают широким спектром целебных свойств и большим запасом витаминов. В Абхазии также выращивается знаменитый сорт апельсинов «Вашингтон», ничем не уступающий по своим вкусовым качествам, ароматности и полезным свойствам своим марокканским и турецким собратьям.

По данным Министерства сельского хозяйства республики Абхазия (РА), цитrusовым в общей структуре экспорта принадлежит ведущее место (на экспорт идёт порядка 80% собранного урожая). Основной экспортируемый вид – мандарин, который пользуется большой популярностью, в особенности, на новогодние праздники.

Процентное выполнение сбора плодов цитrusовых колеблется из года в год, что связано и с погодными условиями, и с заболеваниями деревьев.

Объекты и методы исследований

Проведен анализ климатических изменений по температуре воздуха и атмосферным осадкам за период 1994-2012 гг. по данным метеостанций «Маяк» г. Сухум РА.

Изучена урожайность цитрусовых культур за рассматриваемый период по данным Министерства сельского хозяйства РА.

Выявлено влияние изменения климатообразующих элементов на цитрусовые культуры за рассматриваемый период.

Экспериментальные данные обрабатывали методами корреляционного анализа редактором Excel.

Результаты и обсуждения

Анализ многолетних данных по температуре воздуха за более чем вековой период, показал, что существенное повышение температур для прибрежной зоне Абхазии наблюдается с 1994 г. по настоящее время. Потепление климата привело к усилению контраста метеоявлений: т.е. увеличиваются периоды засухи в летнее время и период избыточных осадков осенью, что отрицательно влияет на интенсивность вегетации фитоценозов весной, созревание и уборке урожаев осенью [2, с.53, 3,с.12, 7,с.336, 8, 313, 9, 195].

Резкий прирост приземной температуры воздуха (особенно в теплый период года) с 1994 по 2012 г. выявлен в годовом ходе при сравнении с современной климатической нормой (1961-1990 гг.) (рис.2).

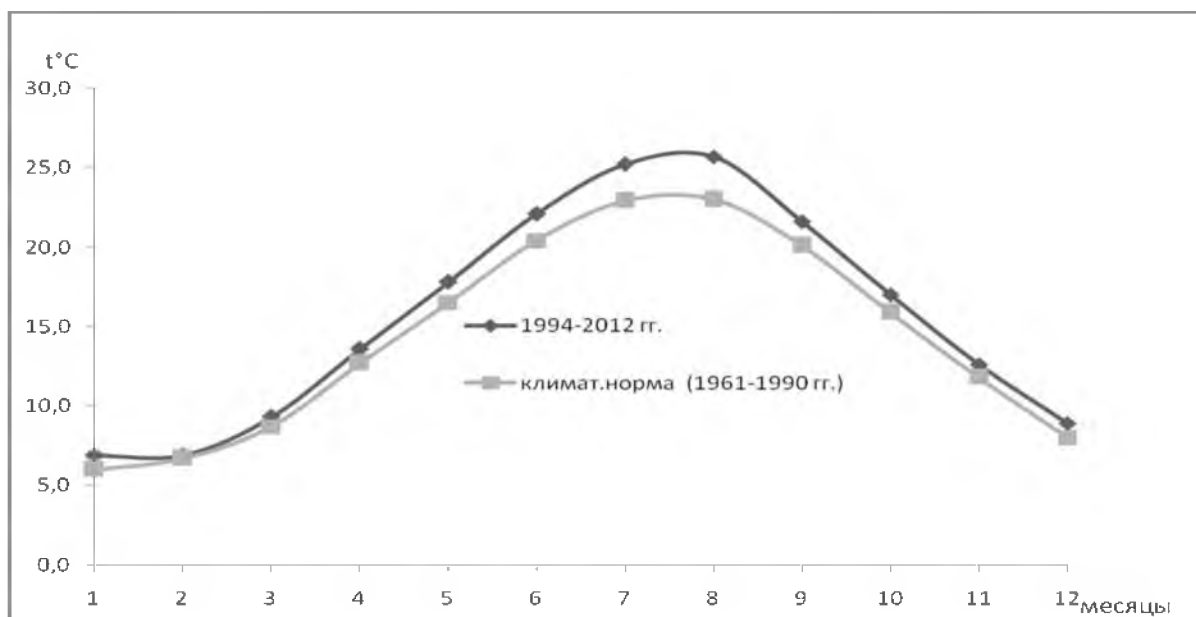


Рис.1. Сравнительный анализ годового хода приземной температуры воздуха г. Сухум за период 1994-2012 гг. с климатической нормой (1961-1990 гг.).

Из рисунка видно, что во все месяцы температура повысилась, с максимальным приростом в июле и августе месяцах на 2,3 и 2,7 °С соответственно.

Следует отметить, что прирост приземной температуры воздуха характерен для всех сезонов года (рис.2).

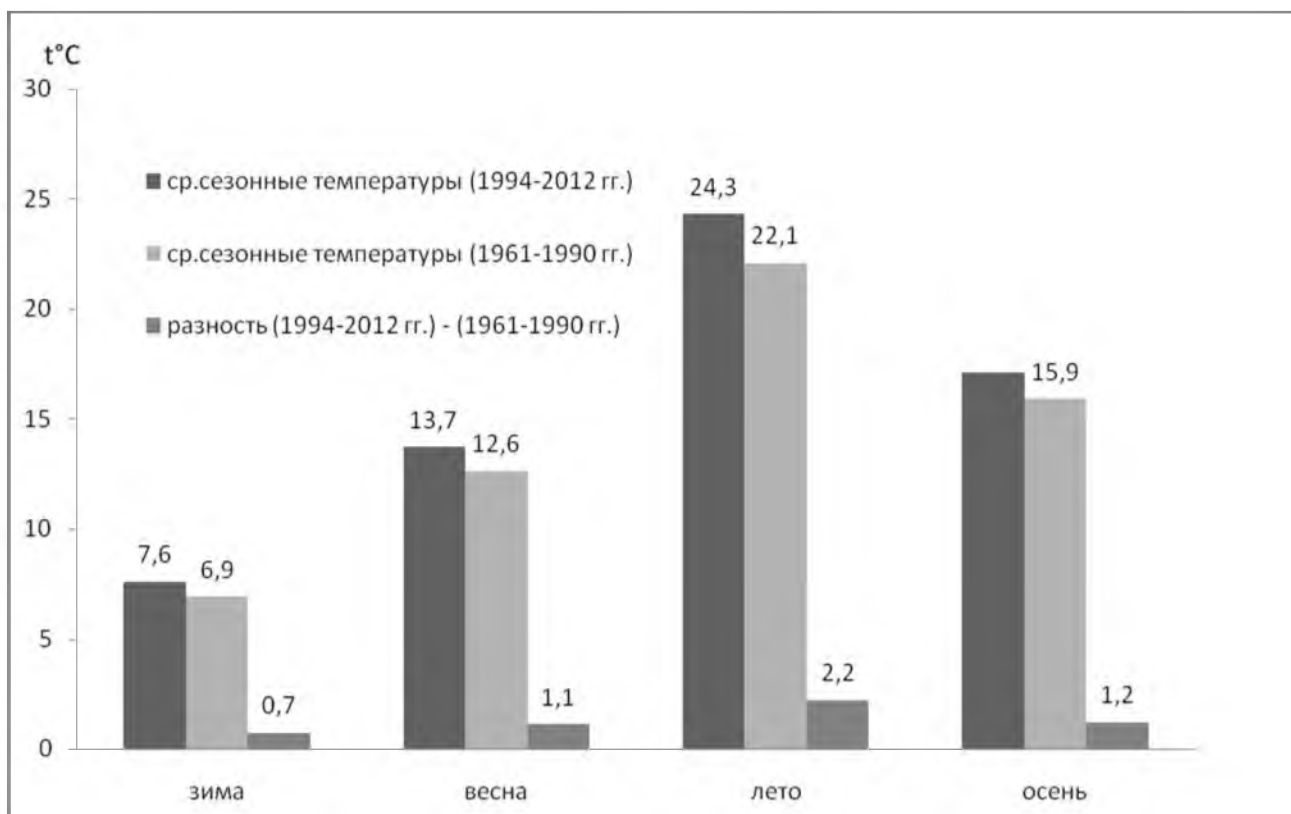


Рис.2. Динамика сезонных температур воздуха г. Сухум за период 1994-2012 гг. с климатической нормой (1961-1990 гг.).

Из рисунка следует, что повышение температур наблюдается во всех сезонах с максимумом в летний период на 2,2 °С.

Изменение температурного режима приземного слоя атмосферного воздуха в Абхазии приводит к увеличению годовых сумм осадков, а также к существенной трансформации в сезонном распределении осадков.

На рис. 3 представлен годовой ход атмосферных осадков за рассматриваемый период.

Максимум годовых сумм осадков приходится на 2004г.(2392 мм) и 2011 г.(2464 мм), минимум 2003г.(1547 мм), 2008г.(1554 мм)и 2010 г(1535 мм). Уравнение тренда описывает положительную тенденцию годовых сумм осадков.

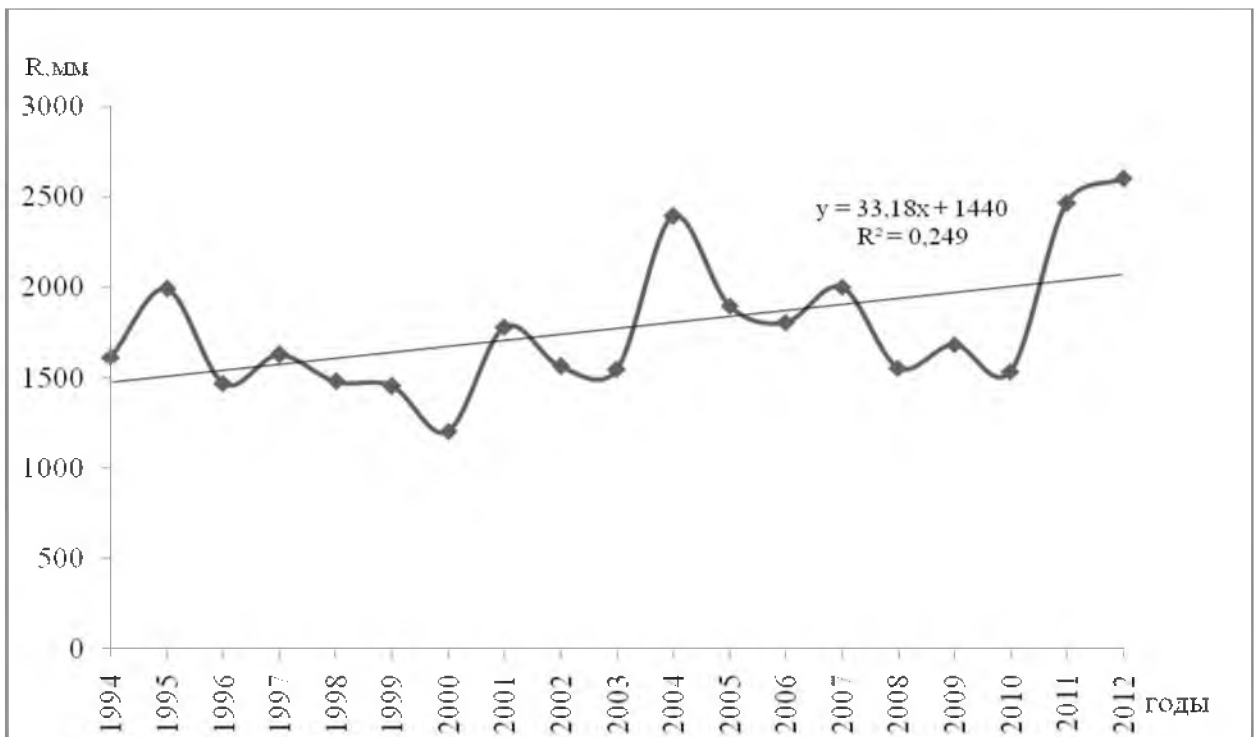


Рис.3. Межгодовая изменчивость атмосферных осадков г. Сухум.

В табл.1 представлены средние, минимальные и максимальные значения месячных сумм осадков. Видно, что средние значения хотя и высокие, но достаточно высок размах месячных сумм осадков летних месяцев.

Таблица 1. Средние и экстремальные значения месячных сумм осадков(мм) г. Сухум за период 1994-2012 гг.

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
среднее	138	153	155	129	124	138	112	124	166	201	163	155
минимум	66	54	90	66	62	14	22	9	91	59	56	38
максимум	284	311	339	171	253	350	229	497	388	383	285	212

Хотя, за вегетационный период на побережье выпадает почти половина годовых осадков (свыше 47%), они не могут создать благоприятный баланс влаги не только из-за усиленного притока в это время солнечной радиации и увеличения испарения, но и в связи с характером выпадения осадков. Большая часть летних осадков выпадает со значительными перепадами в виде кратковременных ливней, не успевающих в достаточной мере увлажнить почву. Недостаточная обеспеченность влагой на побережье часто наблюдается в июле и августе.

Засуху как метеорологическое явление можно характеризовать через выпадение осадков и температурный режим атмосферы. Как

агрометеорологическое явление, ее можно показать через реакцию культурных растений на различный режим влагообеспеченности почвы [4, с.4].

В этой связи прибрежная территория Республики Абхазия относится к зоне рискованного земледелия, и многие сельскохозяйственные культуры часто страдают из-за засух, недостатка почвенной влаги [10, с.78].

Следует отметить, что за последние десятилетия наблюдается существенный разброс месячных сумм осадков, причем минимальные суммы осадков характерны для летних месяцев, что связано с установлением антициклона. Для более углубленного анализа месячных сумм осадков за летний период нами изучены периоды бездождных дней (рис.4).

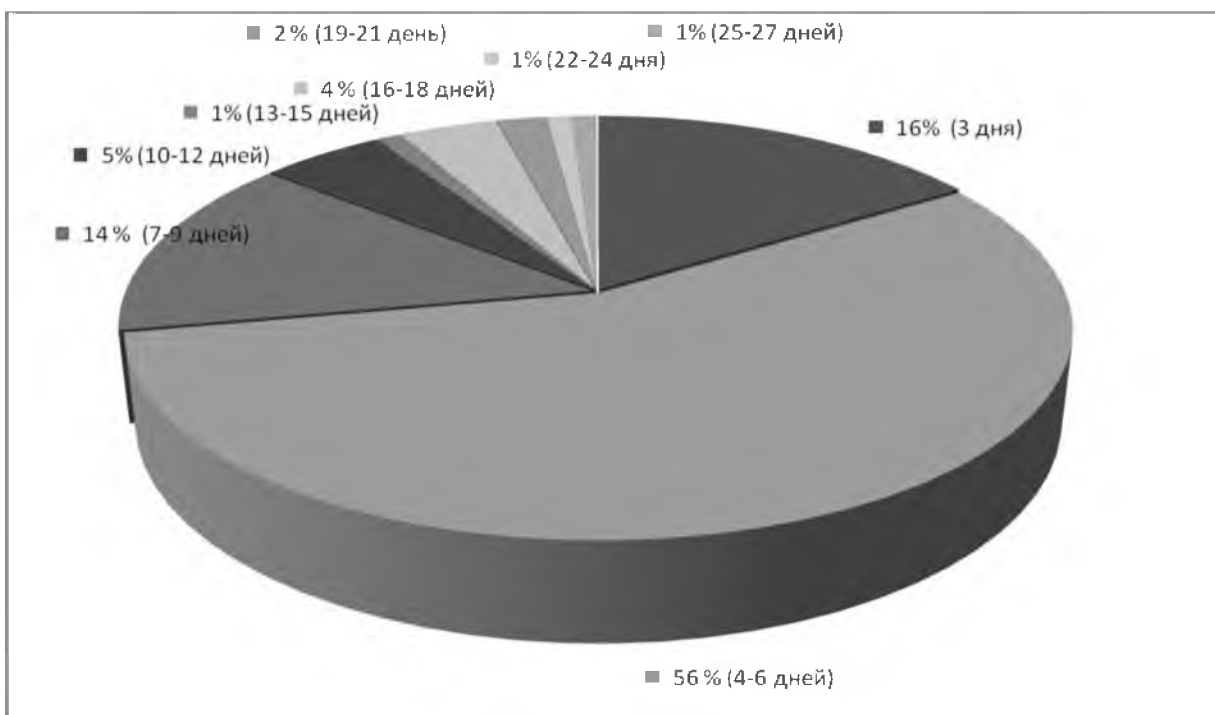


Рис.4. Число бездождных дней за летний период с 1994 по 2012 г. г. Сухум.

За рассматриваемый период в процентном соотношении доминируют число дней: 3, 6, и 9. Более длительные бездождные периоды (24, 27 дней) приходится на конец июля и начало августа.

Особенности распределения атмосферных осадков и изменчивость температуры воздуха на территории Абхазии вызывали интерес с точки зрения изучения влияния атмосферных осадков и приземной температуры воздуха на урожайность таких ценных для республики культур, какими являются цитрусовые.

Цитрусовые начинают вегетацию в конце марта – первой половине апреля, при устойчивых средних суточных температурах выше 10^0 [1, с.131].

Наступление фазы разворачивания первых молодых листьев у цитрусовых отмечается в среднем в пределах 20 апреля – 20 мая.

Образование бутонов наблюдается с 19 апреля по 19 мая, начало цветения - с 9 мая по 3 июня, полное цветение citrusовых культур, когда раскрыто большинство цветков на деревьях, наблюдается с 22 мая по 14 июня.

Обычно плоды citrusовых полностью формируются к 10 – 15 октября. Ускорение наступления фазы съемной спелости плодов citrusовых в основном зависит от погодных условий осеннего периода. Так, например, если наблюдается теплая и с небольшим количеством осадков погода и межфазный период проходит нормально, то съемная спелость плодов отмечается в первой половине октября. И, наоборот, когда наблюдается холодная с осадками осенняя погода, то созревание плодов значительно затягивается.

По средним многолетним данным созревание плодов citrusовых происходит с 22 октября по 10 ноября.

Расчет коэффициента корреляции R произвели по формуле:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})^2 \sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2}}$$

Статистическая значимость R определялась из условия $R \geq R^*$, где R^* - критическое значение коэффициента корреляции, определяемое по табл.2 при заданном числе степеней свободы (v) и уровне значимости (α). где $v = n - 2$, n- объем ряда, $\alpha = 5\%$.

Таблица 2. Критические значения коэффициента парной корреляции R^*

Число степеней свободы (v)	Уровень значимости (α)	
	5%	1%
17	0.456	0.575

Выводы по статистической значимости корреляции урожая citrusовых (ц/га) и атмосферных осадков (мм)

Т.к. коэффициент корреляции $|0.204239| < 0.456$ (критического значения) то с вероятностью 0.95 урожайность citrusовых культур не зависит от атмосферных осадков.

Выводы по статистической значимости корреляции урожайность citrusовых культур зависит от температуры воздуха.

Т.к. коэффициент корреляции $|0.481024| \geq 0.456$ (критического значения) то с вероятностью 0.95 урожай citrusовых культур зависит от температуры воздуха.

Чрезмерное увеличение влажности среды негативно влияет на рост и развитие citrusовых культур. Поскольку в условиях влажного климата citrusовые культуры поражаются меланозом.

Возбудитель меланоза-*Phomopsis cytospora* Penz. Конидиальная стадия гриба представлена пикнидами. Они образуются на пораженной

засохшей коре штамбов, ветвей побегов, а также на плодоножках после опадения плодов. Иногда пикниды встречаются на больных листьях и плодах.

Следует отметить, что в результате проведенных исследований в условиях Абхазии меланоз распространен практически во всех районах - Гагрском, Гудаутском, Сухумском, Гулрыпшском, Очамчырском, Ткуарчалском, и Галском. По данным экспертизы Государственной карантинной инспекции если в течение многих лет меланоз наблюдался на листьях цитрусовых культур, то в последнее десятилетие меланоз все чаще проявляется на плодах мандарина, апельсина, лимона [6, с. 101].

По данным Ю.В. Колужного [5, с.73], меланоз особенно большой вред наносит молодым насаждениям цитрусовых пород.

Основные мероприятия, направленные на повышение устойчивости растений к меланозу, это, прежде всего, соблюдение профилактических мероприятий, а именно:

- подбор сортов цитрусовых, хорошо приспособившихся к местным условиям;
- проведение дренажа на переувлажненных участках;
- правильное содержание почвы в междурядьях и своевременное внесение удобрений в соответствии с почвенными анализами;
- обрезка и удаление засохших и засыхающих частей растений, пораженной коры с обязательной дезинфекцией и покрытием мест среза замазкой;
- прореживание кроны сильно загущенных деревьев.

Выводы

Территория Республики Абхазия находится под влиянием атмосферной циркуляции умеренных и субтропических широт, условия погоды здесь более неустойчивы, чем в типичной субтропической зоне. Сезонное изменение атмосферной циркуляции зависит от перемещения областей высокого и низкого давления на обширной территории Европы и Азии.

За период 1994-2012 гг. по сравнению с климатической нормой, вычисленной за 30-летний период (1961-1990 гг.), наблюдается повышение среднемесячных температур с максимальным приростом в июле и августе на $2,3^{\circ}\text{C}$ и $2,7^{\circ}\text{C}$ соответственно.

Анализ месячных, сезонных и годовых сумм осадков за период 1994-2012 гг. показал, что максимальное количество осадков приходится на осенний - зимний периоды, минимум весенний – летний.

Расчеты коэффициента корреляции между урожайностью цитрусовых культур атмосферными осадками и температурой воздуха показали, что с вероятностью 0.95 урожай цитрусовых зависит от температуры воздуха.

Выявлено влияние избыточных сумм осадков на грибковое заболевание (меланоз) цитрусовых культур, если в течение многих лет меланоз наблюдался на листьях цитрусовых культур, то в последнее

десятилетие меланоз все чаще проявляется на плодах мандарина, апельсина, лимона.

Полученные эмпирические зависимости отражают особенности пространственно - временной изменчивости режима атмосферных осадков и температур. Результаты работы могут быть применены при планировании сельскохозяйственного производства.

Список литературы

1. Агроклиматический справочник по Грузинской ССР // Под ред. Г.В. Лежава. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 244 с.
2. Ахсалба А.К., Экба Я.А. Влияние изменений климата на сельскохозяйственное производство Абхазии. Геосистемы: факторы развития, рациональное использование, методы управления. Туапсе, 2008.- С.53-54.
3. Ахсалба А.К. Частота появления атмосферной засухи и ее влияние на биоценозы Абхазии// Тр. 3-ей Межд. конф.: "Биоразнообразии Кавказа". Нальчик. Изд-во КБНЦ РАН, 2004. - С. 12-15.
4. Власова Т.И. Засуха // Сельские узоры. – Республиканский аграрный журнал, 1999.- №2. – С. 4-6.
5. Калюжный Ю.В. Болезни цитрусовых культур. Киев, 1985. – 112 с.
6. Шинкуба М.Ш. Меланоз цитрусовых и меры борьбы с ним/ Труды Абхазского государственного университета /АГУ. Гварамия А.А., отв.ред. – Сухум: РИО АГУ, 2011. – С. 99-101.
7. Экба Я.А., Дбар Р.С., Ахсалба А.К. Атмосферные осадки, как экологический фактор лимитирующий продуктивность субтропических агроценозов// Тр. Межд. конф.: "Биосфера и человек".- Майкоп, 2001.- С. 336-338.
8. Экба Я.А., Дбар Р.С., Ахсалба А.К. О влиянии атмосферных осадков на продуктивность экосистем. - Сухум: АГУ, 2002. - С. 313-320.
9. Экба Я.А., Дбар Р.С., Ахсалба А.К. Экологическая роль атмосферных осадков и их влияние на продуктивность экосистем// Тр. Международной конференции "Проблемы экологии горных территорий".- Нальчик, 2003.- С. 193-200.
10. Экба Я.А., Дбар Р.С.. Экологическая климатология и природные ландшафты Абхазии. Сочи. 2007, -324 с.

ОБОБЩЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ВРЕМЕНИ ПОЛНОГО ЗАТВЕРДЕВАНИЯ КАПЕЛЬ ВОДЫ

Балкарова С.Б., Шогенова М.М.

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

E-mail: balkarova-07@mail.ru, shogenova_mar@mail.ru

Исследованию процессов тепло – и массообмена капель и частиц, находящихся в потоке воздуха, посвящено значительное число публикаций, в которых излагаются результаты как теоретических, так и экспериментальных исследований.

Для определения времени полного затвердевания капли и распределения температуры в затвердевшей частице в полном объеме, т.е. для определения распределения температуры и положения поверхности раздела фаз и выражения их в аналитической форме, был использован метод малого параметра (метод возмущений), изложенный в [1,304; 2, 21-39].

Время полного затвердевания капли воды определяется формулой

$$\tau^* = \frac{\rho_{ж} L_{пл}}{6\lambda(T_{пл} - T_m)} \cdot \left(R^2 + \frac{2\lambda R}{\lambda^*} \right) \cdot \left(1 + \frac{C(T_{пл} - T_m)}{L_{пл}} \right), \quad (1)$$

$\rho_{ж}$ – плотность воды (жидкой фазы); T_m – температура смоченного термометра потока воздуха; $T_{пл}$ – температура фазового перехода; $L_{пл}$ – теплота затвердевания; λ – коэффициенты теплопроводности; C – теплоемкость.

Или, приведя выражение (1) к безразмерному виду, получаем

$$F_0 = \frac{1}{6} \cdot \frac{\rho_{ж}}{\rho_T} \left(1 + \frac{2}{Bi} \right) \cdot \left(1 + \frac{1}{Sf} \right); \quad (2)$$

Эксперименты в аэродинамической трубе позволили определить время затвердевания капель в безразмерной форме:

$$F_0 = \frac{1}{6} \left(1 + \frac{2}{Bi} \right) \cdot \left(1 + \frac{1}{Sf} \right) \cdot \left(1 + \frac{c_{ж}(T_{пл} - T_n)}{L_{пл}} \right), \quad (3)$$

где $F_0 = \frac{a_l \tau_0}{R^2}$ – критерий Фурье (безразмерное время полного затвердевания

капли); τ_0 – время полного затвердевания капли; $Bi = \frac{\alpha^* R}{\lambda}$ – критерий Био;

$Sf = c_l (T_{пл} - T_m) / L_{пл}$ – критерий Стефана; $\left(1 + \frac{c_{ж}(T_{пл} - T_n)}{L_{пл}} \right)$ – комплекс,

учитывающий переохлаждение капли перед затвердеванием; T_n – температура переохлаждения капли.

Обобщение полученных экспериментальных данных по времени полного затвердевания капель воды представлено на рис. 1 в координатах

$$Fo = \left(1 + \frac{2}{Bi}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{Sf}\right) \cdot \left(1 - \frac{c_{жс}(T_{нл} - T_n)}{L_{нл}}\right).$$

При обобщении опытных данных уравнением (3) максимальное отклонение не превышает $\pm 15\%$.

Выбор системы координат, в которой производилось обобщение опытных данных, и соответственно вида данного уравнения подобия был определен из теоретического рассмотрения задачи затвердевания, т. е. из полученного уравнения (2) для определения времени полного затвердевания каплей воды. Влияние переохлаждения капли на продолжительность процесса затвердевания учтено множителем $(1 + c_{жс}(T_{нл} - T_n)/L_{нл})$, как это было сделано в [3, 468-482].

Уравнением (3) обобщены данные по времени полного затвердевания каплей, полученные при использовании термопар с различными диаметрами. Какого-либо влияния отвода теплоты по проводам термопары, которое оценивается выражением $Q \sim \sqrt{\lambda d^3}$, на продолжительность процесса затвердевания обнаружено не было.

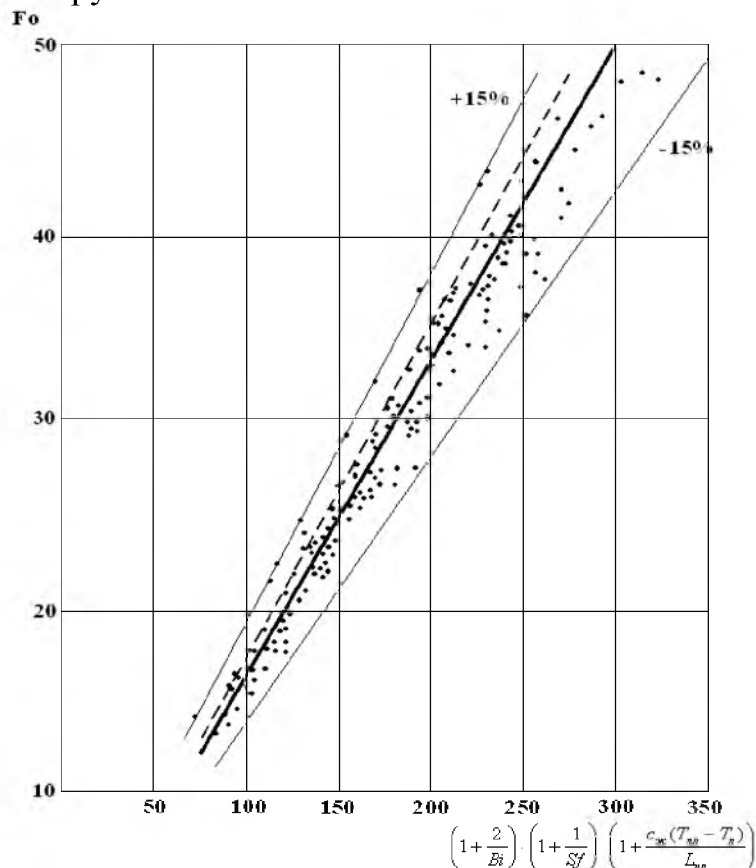


Рис. 1. Зависимость $Fo = f\left[\left(1 + \frac{2}{Bi}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{Sf}\right) \cdot \left(1 + \frac{c_{жс}(T_{нл} - T_n)}{L_{нл}}\right)\right]$
 ———— — уравнение (3); - - - - - — уравнение (2).

На рис. 1 штриховой линией нанесена зависимость, рассчитанная по уравнению (2). Расхождение между расчетными и опытными значениями

составляет 9%. Таким образом, для определения времени полного затвердевания капль воды следует использовать уравнение подобия (3) или, представив (3) в размерном виде, уравнение

$$\tau_0 = \frac{\rho_l L_{пл}}{6\lambda_l (T_{пл} - T_M)} \cdot \left(R^2 + \frac{2\lambda_l R}{\alpha^*} \right) \cdot \left(1 + \frac{c_l (T_{пл} - T_M)}{L_{пл}} \right) \cdot \left(1 + \frac{c_{жс} (T_{пл} - T_n)}{L_{пл}} \right) \quad (4)$$

В уравнение (4) входит общий (суммарный) коэффициент теплоотдачи α^* , который определялся экспериментально для стадии охлаждения затвердевшей частицы. Но так как вид формы и поверхности частицы образуется в основном за первые несколько секунд, можно принять, что данный коэффициент теплоотдачи присущ капле и на стадии затвердевания, что и использовано в представленных уравнениях (3) и (4). Следует особо подчеркнуть, что значения общего коэффициента теплоотдачи α^* найдены опытным путем для каждой капли и получены независимо от проводившихся измерений скорости потока.

Статистические расчеты проводились при помощи стандартных статистических программ S-PLUS 2000 и SPSS 10.00. [4,456]

Для построения линейно-регрессионной модели мы выбрали следующие характеристики воздушного потока и капли: τ_0 – время полного замерзания капль воды, T_M – температуру среды, d – размеры капль.

На основе статистической обработки экспериментальных данных получено уравнение множественной линейной регрессии, связывающее время полного замерзания левитирующих капль воды с температурой среды и размером

$$\tau_{\kappa} = -0,417 + 2,3 \cdot 10^{-2} d - 0,188T \quad (5)$$

при коэффициенте корреляции $R = 0,934$ и коэффициенте детерминанта $D_R = 0,869$.

Список литературы

1. Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы теории теплопроводности. В 2-х частях, Ч.2. – М.: Высш. Школа, 1982. – с. 304.
2. Tliso M.I., Filatkin V.N., Pilip I.I. Heat and mass transfer of drops and growth and melting of freely floating hailstones // J. Atm. Res., 28 – 1992- P, 21-39.
3. Johnson D.A., Hallett I. Freezing and shattering of supercooled water drops // Quart. I. Roy. Meteor. Soc. – 1968. – Vol. 94, № 402. – P. 468-482.
4. Сереб Дж. Линейный регрессионный анализ. – М.: Мир, 1980. – 456 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ГОР ПРОИЗВОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ И КЛИМАТ (КИСЛОВОДСК)

Беданок М.К., Берзегова Р.Б.

Майкопский государственный технологический университет

(Майкоп, Россия)

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

Взаимодействие движущейся атмосферы с неровностями земли есть явление, относящееся к среднemasштабным или локальным атмосферным процессам. Этот процесс имеет большое преимущество перед рядом других среднemasштабных процессов, т.к. при сохранении характеристик атмосферного потока перед горами источник возмущений- неровность земли- остается неизменным во времени.

Атмосфера типично стратифицирована устойчиво по отношению к быстрым вертикальным смещениям ее частиц, а неровности земли действуют на поток как вынуждающая сила в упругой среде, поэтому исследуемые возмущения носят волновой характер. Возникающие волны представляют пример внутренних гравитационных волн (вгв). Т.к. возмущения порождаются горами, то их можно классифицировать как вгв орографической природы. Причем они примечательны своей пространственной асимметрией, поскольку наблюдаются только над горами и ниже по потоку от них, из-за чего обычно называются подветренными волнами. Исследования данного природного феномена связаны с работами очень многих ученых таких, как Кочин, Дородницын, Кибель, Кене, Кюттнер, Лира, Скорер, Лонг, Лилли, Клемп, Смит, Хргиан и др.

Данную проблему начали с рассмотрения двумерных задач, т.е. с рассмотрения обтекания гор, имеющих цилиндрическую форму, с образующими перпендикулярными направлению натекающего потока. Решение такой задачи ищется в вертикальной плоскости $(x-z)$, ориентированной по направлению натекающего потока, а от координаты "y" ничего не зависит. Затем стали появляться и отдельные пространственные модели [3]. В последние годы вышли работы, посвященные моделированию реальных трехмерных гор [1,16]. Однако подавляющее число работ проводится в рамках двумерного приближения, т.к. только в рамках такого упрощения можно вскрыть важнейшие закономерности данного природного явления. К таким работам можно отнести работы профессора кафедры физики атмосферы МГУ Кожевникова В.Н.. Сначала им были созданы модель по обтеканию горы- полукруга и модель по обтеканию однородным натекающим потоком горы произвольной формы. Третья модель, учитывающая послойные разрывы устойчивости, сформулирована также им, но реализована его аспирантом Беданок М.К.. Кожевников В.Н. создал четвертую модель, направленную на учет плавучести плавных изменений скорости и устойчивости натекающего потока. Упомянутые модели нашли

применение при решении практических задач таких, как определение волнового сопротивления и энергетики, безопасности полетов над горами.

В данной работе рассмотрим нелинейную аналитическую трехслойную модель для изучения обтекания гор произвольной формы. Для такой модели используют следующую систему уравнений движения, адиабатичности и неразрывности:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}V = \frac{1}{\rho} \vec{\nabla} p - \vec{g}, \\ \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + (\vec{\nabla} \vec{V}) = \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla}(\rho \vec{V}) \right] = 0, \\ \frac{d}{dt}\Theta = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + (\vec{V} \vec{\nabla}), \quad \vec{V} = (u, v, w), \quad \vec{\nabla} = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right), \quad (1.1)$$

\vec{V} - вектор скорости, ρ и p - плотность и давление, \vec{g} - вектор силы тяжести, Θ - потенциальная температура, выражаемая через температуру T и давление по формуле:

$$\Theta = T \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}}. \quad (2)$$

В формуле (2) k - отношение удельных теплоемкостей, p_0 - эталонное давление (давление в основном состоянии на земле). В силу среднemasштабности движений, силы Кориолиса не учитываются, а силы вязкости опущены, т.к. они существенно меньше сил Архимеда в свободной атмосфере, на которую обращается основное внимание. Система уравнений (1) замыкается за счет использования предположения об адиабатичности. Последнее сужает применимость такой системы к реальной атмосфере (особенно в случаях высокой влажности), зато в таком случае задача существенно упрощается [7]. В целом система (1) неплохо описывает быстрые возмущения атмосферы в поле силы тяжести при невысокой влажности). Возмущения при этом определяются как отклонение атмосферы от ее основного состояния. *Основным состоянием атмосферы* считают состояние атмосферы на бесконечном расстоянии перед обтекаемыми горами, в той части пространства, где всюду поверхность земли имеет вид бесконечной плоскости. Это состояние называют **натекающим потоком**.

В данной работе в рамках стационарного приближения основной акцент делается на учет действия неровностей на движущуюся упругую атмосферу. Упругость определяется вертикальной стратификацией среды. Возникающие возмущения изучаются на основе гидродинамики стратифицированной жидкости, а неровности играют роль вынуждающих сил.

В системе уравнений (1) в полной производной по времени опускается частная производная, т.е.

$$\frac{d}{dt} = \left(\vec{V} \vec{\nabla} \right) \quad (3)$$

Натекающий поток считают не зависящим от времени и полностью определяемым вертикальными профилями скорости и одной из термодинамических величин. В предположении, что неровности земли локализованы в ограниченной окрестности начала координат, натекающий поток можно определить соотношениями:

$$\vec{V} \rightarrow U(z), \quad T \rightarrow \bar{T}(z) \quad \text{при } x \rightarrow -\infty, \quad (4)$$

где U - скорость натекающего потока, температура и остальные его термодинамические характеристики выделяются чертой сверху. Наличие гидростатически устойчивого распределения температуры в натекающем потоке определяет упругие свойства атмосферы по отношению к быстрым вертикальным смещениям ее частиц. Мерой этой упругости в атмосфере служит частота Брента- Вайсяля N , которая определяется формулой:

$$N^2 = \frac{g}{\bar{\Theta}} \frac{d\bar{\Theta}}{dz} = g \frac{\gamma_a - \gamma}{T_1}, \quad \gamma = -\frac{d\bar{T}}{dz}, \quad (5)$$

где γ_a - сухоадиабатический градиент температуры, T_1 - характерная (средняя) температура рассматриваемого слоя атмосферы.

Скорость и частота Брента- Вайсяля N определяют некоторый масштаб b , который пропорционален собственному волновому масштабу λ_c , впервые введенному Лира [18]:

$$b = \frac{U}{N}, \quad \lambda_c = 2\pi b = 2\pi \frac{U}{N}. \quad (6)$$

Взаимодействие атмосферы и неровностей имеет волновой характер, причем в возникающих возмущениях частота Брента- Вайсяля N и собственный масштаб λ_c всегда должны так или иначе проявляться.

Для построения конкретной гидродинамической модели Исходную нелинейную систему уравнений (1) можно свести по Буссинеску [5,19] к линейному уравнению без предположения о малости возмущений поля скорости за счет перехода к некоторому частному случаю свойств натекающего потока [8,11]. В частности, уравнение неразрывности после таких преобразований можно привести [2,5,21] к виду:

$$\vec{\nabla} \bar{V} = \sigma w, \quad \sigma = -\frac{1}{\rho} \frac{d\bar{\rho}}{dz} = \frac{1}{T} \left(\frac{k}{k-1} \gamma_a - \gamma \right). \quad (7)$$

В силу того, что величина σ в атмосфере достаточно мала, в качестве уравнения неразрывности можно использовать уравнение несжимаемости. Тогда с учетом всех указанных преобразований получается следующая система уравнений движения, адиабатичности и несжимаемости [5,6,8,12] для двумерного случая:

$$\begin{cases} (\overline{\nabla \nabla}) \overline{V} = -RT_1 \overline{\nabla} \frac{\rho'}{\rho} + \frac{T'}{T_1} \overline{g}, \\ (\overline{\nabla \nabla}) T' = -(\gamma_a - \gamma) w, \\ (\overline{\nabla \nabla}) = 0, \end{cases} \quad (8)$$

где штрихами отмечены возмущения соответствующих величин, а также используются обозначения системы (1) для двумерного случая.

Т.к. модель строится при условии несжимаемости, это позволяет ввести функцию тока с помощью формул

$$u = -\frac{\partial \psi}{\partial z}, \quad w = \frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (9)$$

При условии, что процесс стационарен, изолинии этой величины совпадают с траекториями движения.

На первый взгляд может показаться, что использование в стационарной модели совместно уравнений несжимаемости и адиабатичности некорректно: предположение о несжимаемости требует сохранения плотности вдоль траекторий движения, а тогда в силу адиабатичности и давление также должно сохраняться, а по уравнению состояния, значит, и температура. На самом деле обстоит по-другому. В силу малости в (7) величины σ в системе уравнений (8) динамические, кинематические и термодинамические факторы учитываются с одинаковой точностью. При этом соотношение адиабатичности, как легко видеть, управляет изменениями температуры в точном соответствии с законами физики: изменения T' вдоль траекторий пропорциональны $(\gamma - \gamma_a)w$. Ясно, что градиент давления и сила тяжести в системе уравнений (8) также учитываются с приемлемой точностью [7].

Введя функцию тока перекрестным дифференцированием первых уравнений из системы (8) можно исключить давление, потом, используя якобианы представить ее в виде:

$$\frac{\partial(\psi, \nabla^2 \psi)}{\partial(x, z)} = \frac{g}{T_1} \frac{\partial T'}{\partial x}, \quad \frac{\partial(\psi, T')}{\partial(x, z)} = (\gamma_a - \gamma) \frac{\partial \psi}{\partial x}, \quad (10)$$

где

$$\frac{\partial(A, B)}{\partial(x, z)} = \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial z} - \frac{\partial A}{\partial z} \frac{\partial B}{\partial x}, \quad \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}. \quad (11)$$

Согласно сказанному выше в натекающем потоке все возмущения отсутствуют, значит,

$$T' \rightarrow 0, \quad \frac{\partial \psi}{\partial x} \rightarrow 0, \quad \psi \rightarrow \psi_0(z), \quad \nabla^2 \rightarrow \frac{d^2}{dz^2} \quad \text{при } x \rightarrow -\infty, \quad (12)$$

где ψ_0 - функция тока в натекающем потоке. Таким образом, решение задачи сведено к решению двух уравнений (10) для двух искомым функций. Условие (12)- это одно из необходимых граничных условий. Уравнения (10) нелинейны, линеаризация осуществляется за счет перехода к рассмотрению

некоторых частных ситуаций. Однако перед этим необходимо использовать тот факт, что уравнения (10) имеют первые интегралы, которые имеют вид:

$$T' = f(\psi) - \int_0^z (\gamma_a - \gamma) dz, \quad \nabla^2 \psi = f_1(\psi) + \frac{g}{T_1} \frac{\partial f}{\partial \psi}. \quad (13)$$

Вид произвольных функций f и f_1 проще всего определять в натекающем потоке, свойства которого известны. Было установлено, что для определенных профилей скорости и устойчивости в натекающем потоке вид этих функций таков, что уравнение задачи становится линейным [7].

Согласно анализу [8,11,12], наиболее интересным для атмосферы вариантом является случай, когда

$$U = const, \quad \gamma = const. \quad (14)$$

Тогда решение проблемы сводится к решению уравнения Гельмгольца для возмущений функции тока:

$$\nabla^2 \psi' + K^2 \psi' = 0, \quad \psi' = \psi - \psi_0, \quad \psi_0 = -Uz, \quad (15)$$

$$K = \frac{N}{U} = b^{-1} = 2\pi\lambda_c^{-1}. \quad (16)$$

При этом возмущения температуры определяются через возмущения функции тока по формуле:

$$T' = -(\gamma_a - \gamma) \frac{\psi'}{U}, \quad (17)$$

Тем самым идет соответствие с требованиями адиабатичности изменений при вертикальных смещениях.

В данной модели изменения свойств атмосферы с высотой учитывались с условием, что вариации градиента температуры воспроизводятся переходом к рассмотрению трехслойного потока жидкости. При этом предполагается, что во всех слоях скорость натекающего потока U одинакова. Такое предположение необходимо, чтобы исключить ненужные разрывы скорости на поверхностях раздела слоев, а следовательно, исключить искусственные источники неустойчивости в основном состоянии атмосферы. Тем самым слои будут отличаться по величине коэффициента уравнения K (или по масштабам λ_c). В дальнейшем эти различия будем показывать с помощью нижнего индекса $j, j=1,2,3$. Таким образом, решение задачи сведется к отысканию поля возмущений функции тока ψ'_j , причем в каждом из слоев собственный характерный масштаб Лира λ_c будем обозначать $\lambda_j, j=1,2,3$.

Далее речь будет идти только о возмущениях функции тока, поэтому верхний штрих для простоты опускается.

Следует учесть, что на поверхности земли, заданной в виде

$$z = z_* + h(x), \quad (18)$$

граничное условие скольжения будет использоваться в виде:

$$\psi = -Uz_*, \quad \psi'(x, z) = Uh(x) \quad \text{при} \quad z = z_* + h(x). \quad (19)$$

Предполагается, что невозмущенный уровень земли в натекающем потоке равен z_* , а орографическое смещение относительно этого уровня есть $h(x)$, причем в окрестности точки $x = 0$ последнее отлично от нуля.

По аналогии с (18) поверхности раздела можно задавать в виде:

$$z = z_* + H_j + \zeta_j, \quad |\zeta_j| \rightarrow 0 \text{ при } x \rightarrow -\infty, \quad j = 1, 2, \quad (20)$$

где H_j - высота в натекающем потоке, ζ_j - смещение в зоне возмущений поверхностей раздела.

Естественно решение данной задачи должно удовлетворять условиям скольжения на земле и поверхностях раздела, а также условиям непрерывности давления при переходе через любую поверхность раздела. Эти условия при сделанных обозначениях, согласно исследованиям, проведенным в работах [9,10,11], можно записать в виде:

$$\psi_1(x, z_* + h(x)) = h(x), \quad (21)$$

$$\psi_j = \psi_{j+1}, \quad \frac{\partial \psi_j}{\partial z} = \frac{\partial \psi_{j+1}}{\partial z} \text{ при } z = z_* + H_j + \zeta_j, \quad j = 1, 2. \quad (22)$$

В качестве первого приближения строится решение в предположении, что величиной ζ_j можно пренебречь по сравнению с $(z_* + H_j)$, т.е. положить

$$\zeta_j = 0. \quad (23)$$

По методу Фурье производится разделение переменных, тогда решение задачи ищется в виде суперпозиции следующих частных решений:

$$\begin{cases} \psi_{jk} = E(k) [C_j(k)e^{im_j z} + B_j(k)e^{-im_j z}] e^{ikx} + E(-k) [C_j(-k)e^{im_j z} + B_j(-k)e^{-im_j z}] e^{-ikx}, \\ m_j = (K_j^2 - k^2)^{1/2}, C_{\pm} = 1, j = 1, 2, 3, \end{cases} \quad (24)$$

где E, C_j, B_j - коэффициенты, определяемые из граничных условий, k - действительное волновое число. Причем его использование в качестве второго нижнего индекса делается, только для того, чтобы подчеркнуть, что частное решение зависит от волнового числа. Возможность изменения знака перед нижним индексом j у выписанных коэффициентов используется тогда, когда необходимо подчеркнуть, что данный коэффициент стоит при экспоненте со степенью $(\pm ikx)$. Всего в решении задействовано шесть пар коэффициентов - по 2 пары на слой; выписанные граничные условия дают 5 пар соотношений для их определения. Для однозначного их определения требуется использовать условие о поведении возмущений при неограниченном увеличении высоты в верхнем слое. Это условие по-разному формируется для разных длин волн. Для волновых чисел, при которых m_3 становится мнимой величиной, это условие состоит в естественном требовании ограниченности возмущений. Отсюда получаем следующее условие для коротких волн:

$$B_{+3} = 0 \text{ при } k > K_3. \quad (25)$$

Таким образом, по физическому смыслу необходимо накладывать на решение условие «захвата» достаточно коротких волн в верхнем неограниченном слое [14]. Для остальных волновых чисел (более длинных волн) надо сформулировать другое условие. Согласно исследованиям [20] в

верхнем слое в формулах (24) «незахваченные» волны с одинаковыми знаками у показателей степеней экспонент соответствуют части решения, отвечающего за поток волновой энергии вверх, остальные – части решения, отвечающие за поток вниз. Положим для простоты, что в верхнем слое нет источников волновой энергии, в том числе никаких нарушений плавных изменений свойств среды, которые могли бы вызвать переотражения волновой энергии вниз. Тогда нужное граничное условие для длинных волн имеет вид:

$$B_3 = C_{-3} = 0 \quad \text{при } k < K_3. \quad (26)$$

Теперь достаточно условий для однозначного определения всех искомых коэффициентов решения.

При использовании (23) граничные условия (22), (25), (26) позволяют определить четыре пары искомых коэффициентов на основе сведения этих соотношений к двум системам алгебраических уравнений (по четыре в каждой):

$$\begin{cases} -\beta_{11}X_1 + \alpha_{21}X_2 + \beta_{21}X_3 + 0 = \alpha_{11}, \\ 0 + \alpha_{22}X_2 + \beta_{22}X_3 - X_4 = 0, \\ +m_1\beta_{11}X_1 + m_2\alpha_{21}X_2 - m_2\beta_{21}X_3 + 0 = m_1\alpha_{11}, \\ 0 - m_2\alpha_{22}X_2 + m_2\beta_{22}X_3 \pm m_3X_4 = 0, \end{cases} \quad (27)$$

где

$$\alpha_{vj} = \exp(im_v H_j) = \beta_{vj}^{-1}. \quad (27.1)$$

Первые два уравнений в системе уравнений (27) соответствуют требованию непрерывности функций тока на поверхности раздела, остальные- непрерывности их производных. Две системы (27) отличаются друг от друга только знаком перед последним слагаемым в четвертом уравнении. Из этого следует, что достаточно решить ее один раз, например, для верхнего знака, и получить четыре величины X_{+n} . Тогда для нижнего знака соответствующие X_{-n} можно получить простой заменой в полученных выражениях величины m_3 на $(-m_3)$. Варианты связи между $X_{\pm n}$ и коэффициентами можно выразить соотношением, в котором величина индекса n слева определяет номер выбираемого выражения в скобке справа и, кроме того, учитывается соответствие знаков:

$$X_{\pm n} = (B_{\pm 1}, C_{\pm 2}, B_{\pm 2}, (\alpha_{32})^{\pm 1}, C_{\pm 3}). \quad (28)$$

Детерминанты систем уравнений (27) можно представить в виде:

$$\begin{cases} D = \alpha_{32}\beta_{11} \{ +m_2[\alpha_{21}\beta_{22}(m_2 \pm m_3) - \alpha_{22}\beta_{21}(m_2 \mp m_3)] + \\ + m_1[\alpha_{21}\beta_{22}(m_2 \pm m_3) + \alpha_{22}\beta_{21}(m_2 \mp m_3)] \} \end{cases} \quad (29)$$

Результаты исследования детерминанта показывают, что он для фиксированных значений исходных параметров (z_*, K_j, H_j) обращается в ноль только при $k \rightarrow K_2$ (или $m_2 \rightarrow 0$), причем эта особенность сохраняется и при вариации значений исходных параметров. Эту особенность не изменяет даже предельный переход $H_2 \rightarrow H_1$. Появление этого свойства, вероятно, определяется наличием приподнятого над землей слоя и использованием

приближения (23). В численной реализации модели эту особую точку выбрасываем, контролируя при этом получаемую из-за этого погрешность.

Для получения конкретных выражений коэффициентов решения $C_{\pm j}$ и $B_{\pm j}$ в случае длинных, «незахваченных» волн ($k < K_3$) используются формулы (27) и (27.1), а для коротких, «захваченных» волн – только (27) (см. подробности в работе [9]). Используя найденные коэффициенты, общее решение задачи ищется как суперпозиция частных решений в виде:

$$\psi_j(x, y) = (2\pi)^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} E(k) [C_j(k)e^{im_j z} + B_j(k)e^{-im_j z}] e^{ikx} dk. \quad (30)$$

Далее, пользуясь известными преобразованиями

$$E(k) = (2\pi)^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(k) e^{-ikx} dx', \quad \varphi = (2\pi)^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} E(k) e^{ikx} dk,$$

общее решение задачи можем переписать в другом виде, заменив прежнюю неизвестную функцию $E(k)$ на новую неизвестную функцию $f(x)$:

$$\psi_j(x, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x') A_j(\tilde{x}, z) dx', \quad f = \frac{\varphi}{2\pi}, \quad \tilde{x} = x - x', \quad (31)$$

$$A_j(\tilde{x}, z) = \operatorname{Re} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{ik\tilde{x}} [C_j e^{im_j z} + B_j e^{-im_j z}] dk = \int_0^{+\infty} P_j(\tilde{x}, z, k) dk, \quad (32.1)$$

$$P_j = \operatorname{Re} \left\{ e^{ik\tilde{x}} [C_j e^{im_j z} + B_j e^{-im_j z}] + e^{-ik\tilde{x}} [C_{-j} e^{im_j z} + B_{-j} e^{-im_j z}] \right\} \quad (32.2)$$

Для определенности рассматривается случай, когда средний слой является наиболее гидростатически устойчивым, т.е. когда

$$K_3 < K_1 < K_2, \quad (33)$$

что в принципе, является наиболее типичной для тропосферы ситуацией. В решении остается определить неизвестную функцию f , которую следует определять из условия скольжения на поверхности земли (21), и поэтому ее будем называть **орографической**. Условие скольжения приводит к интегральному уравнению Фредгольма I рода:

$$h(x) = \psi_1(x, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x') A_1(x - x', z) dx' \quad \text{при} \quad z = z_* + h(x). \quad (34)$$

Решение такой проблемы может быть некорректным. Возникающие трудности при расчетах в тропосфере можно преодолевать на основе редуцированной процедуры [15].

Представим вариант исследования рельефа произвольной формы в районе Кисловодска.

Рельеф построен по топографическим данным Гидрометеоцентра РФ с использованием процедуры усреднения, разработанной Кожевниковым В.Н. [7]. Максимальная высота равна 1263 м над уровнем моря. В трехслойной модели изменения гидростатической устойчивости можно представить следующим образом. Нижний слой имеет толщину 10 км и $\gamma_1 = 6$ К/км, средний – толщину 18,5 км и $\gamma_2 = 0,545$ К/км, верхний слой в расчетах ограничиваем высотой 30 км, а градиент температуры $\gamma_3 = 0$ К/км. В модели, которая применяется, предполагается, что скорость потока не зависит от

высоты, хотя полученные данные зондирования показывают довольно заметное возрастание скорости ветра и изменение его направления с высотой. Но эту особенность атмосферы приходится оценивать лишь качественно. Для этого расчеты проводились для двух значений скорости потока U : 15 и 17 м/с. Каждый вариант представляется полем траекторий движения частиц во всем диапазоне пространственных координат. На рисунках высоты траекторий даны относительно фоновой высоты z_* [7]. В натекающем потоке эти высоты обозначаются как z_0 . Модельные расчеты дают поле возмущений функции тока, его полезно представить в виде поля функций $z_0(x, z)$. После этого положение траекторий определяется по стандартной программе как поле заданных изолиний z_0 . Каждый рисунок показывает движение в вертикальной плоскости (x, z) . В трехмерном пространстве все характеристики возмущений имеют вид цилиндров с образующими, параллельными оси y . Движение направлено слева направо. Поверхности раздела между слоями выделены двойными линиями, причем в натекающем потоке показаны штрихпунктирными горизонталями.

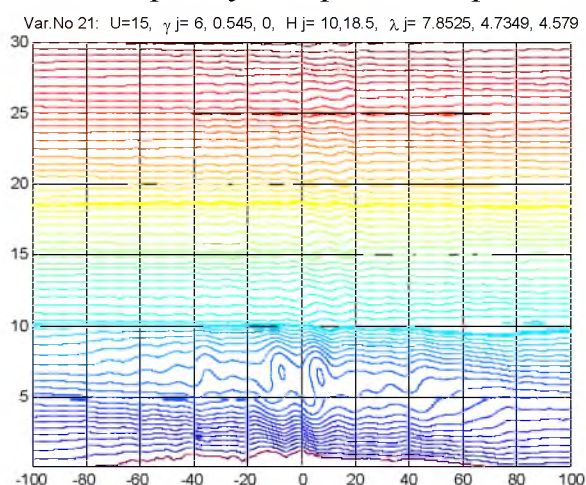


Рис. 1. Траектории движения частиц при обтекании рельефа воздушным потоком со скоростью 15 м/с.

Главная особенность поля возмущений состоит в том, что оно по своему характеру разделяется на две части. Над главной вершиной гор и подветренным склоном возмущения наиболее интенсивны и течение имеет роторный характер в смысле определения Лонга в [17]. В области ниже гребней появляются замкнутые роторы при учете слоя с повышенной устойчивостью. Располагаются они под высокими гребнями, в так называемой роторной зоне, причем оба ротора имеют вид замкнутых вихрей. По данным расчета, функция тока здесь достигает максимального значения. Оба ротора находятся на одинаковых высотах, в каждом из них циркулируют частицы с достаточно высоких уровней z_0 , характеризующихся меньшей влажностью. В соответствии с этим в зоне роторов условия должны быть благоприятными для облакообразования и выпадения осадков.

Иной характер возмущения имеют ниже по потоку роторной зоны. Здесь линии тока более скромные вертикальные смещения, что говорит о наличии периодических волновых движений воздушных частиц. Эту область можно назвать подветренно- волновой зоной. Здесь создаются условия для размывания облачности и уменьшения осадков.

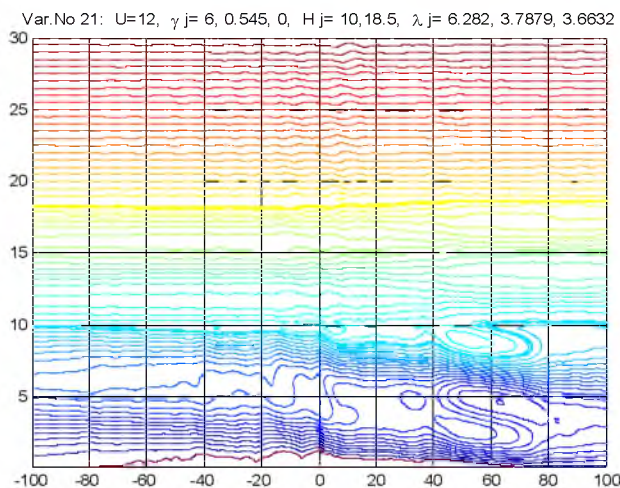


Рис. 2. Траектории движения частиц при обтекании рельефа воздушным потоком со скоростью 12 м/с.

При тех же характеристиках предыдущего расчета изменена скорость натекающего потока с 15 км/ч на 12 км/ч. Возмущения при этом более интенсивны, что привело к образованию большего числа роторов, а именно шести. Причем возмущения наблюдаются достаточно ниже по потоку роторной зоны. В пяти роторах циркулируют частицы воздуха с низких высот z_0 , характеризующихся большей влажностью. В соответствии с этим в зоне этих роторов условия должны быть неблагоприятными для облакообразования, тогда как в зоне шестого ротора с частицами воздуха более высоких уровней – наоборот благоприятными.

С явлением обтекания непосредственно связаны такие давно известные природные явления как фён и бора. Они определяются как явления катастрофического усиления ветра на подветренной стороне гор. По приведенной трехслойной модели можно провести расчеты, которые позволят высказаться по вопросу влияния среднего устойчивого слоя на ветер у поверхности горы. Наиболее известной в нашей стране является Новороссийская бора.

Знания об орографических возмущениях можно использовать для определения степени безопасности полетов над горными районами. Снижение уровня безопасности в установившемся горизонтальном полете из-за возмущений атмосферы может быть связано с двумя факторами [13]. Первый – потеря устойчивости вследствие резкого изменения угла атаки крыла самолета. При наихудшем сценарии развития подобной ситуации возможно увеличение этого угла выше допустимого значения, в результате чего будет происходить срыв потока на крыле и самолет начнет «сваливаться», т.е. произвольно двигаться и поворачиваться относительно

каких-то из его осей так, что остановить это невозможно без уменьшения угла атаки. Термин «сваливаться» можно понимать и в буквальном смысле. Вторым фактором является болтанка, вызванная попаданием самолета в зону резких изменений скорости ветра, особенно ее вертикальной компоненты. В этом случае увеличиваются нагрузки на несущие конструкции самолета, а пассажиры попадают в дискомфортные условия [7].

Данная модель еще нашла применение в исследовании распределения озона, других примесей, а также других термодинамических характеристик атмосферы.

Список литературы

1. Бибикова Т.Н., Журба Е.В., Кисельникова В.З., Кожевников В.Н. Подветренные орографические возмущения в Крыму. // Тр. ГМЦ, вып. 238, с. 93-111, 1981.
2. Гутман Л.Н. Введение в нелинейную теорию мезометеорологических процессов. Л.: Гидрометеиздат, 1969.
3. Дородницын А.А. Некоторые задачи обтекания неровности поверхности земли воздушным потоком. // Тр. ГГО, вып. 23, 1940.
4. Еланский Н.Ф., Кожевников В.Н., Кузнецов В.Н., Волков Б.И. Влияние орографических возмущений на перераспределение озона в атмосфере при обтекании Антарктического полуострова. //Изв. РАН, ФАО, т.39, № 1, 2003.
5. Кибель И.А. Введение в гидродинамические методы краткосрочного прогноза погоды. Гостехиздат, Москва, 1957.
6. Кибель И.А. Применение метода длинных волн в сжимаемой жидкости. ПММ, 8, 1944.
7. Кожевников В.Н. Возмущения атмосферы при обтекании гор. М.: «Научный мир», 1999, илл.
8. Кожевников В.Н. К одной нелинейной задаче об орографическом возмущении стратифицированного воздушного потока. //Изв. АН СССР, сер. Геофиз., № 7, 1963.
9. Кожевников В.Н., Беданов М.К. Нелинейная многослойная модель обтекания произвольного профиля. //Изв. РАН, ФАО, т.29, № 6, 1993.
10. Кожевников В.Н. Об учете стратосферы на орографические возмущения в тропосфере. // Изв. АН. СССР, ФАО, №8, 1975.
11. Кожевников В.Н. Орографические возмущения в двумерной стационарной задаче. //Изв. АН СССР, т.4, № 1, 1968.
12. Кожевников В.Н. Орографические возмущения воздушного потока. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. МГУ, физический факультет, 1965.
13. Николаев Л.Ф. Аэродинамика и динамика полета транспортных самолетов. М.: Транспорт, 1990.
14. Скорер Р. Аэрогидродинамика окружающей среды. М.: Мир, 1980.
15. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986. 288 с.

16. Dobrythman E.M., Granberg I.G. Numerical simulation of the three-dimensional orographic flow over the Karpathians. Research activities in atmospheric and oceanic modeling. Report WMO № 11, pp. 537-540, 1980.

17. Long R.R. Some aspects of the flow of stratified fluids. 3. Continuous density gradients //Tellus, v. 7, № 3, 1955.

18. Lyra G. Theorie der stationären Leewellenströmung in freier Atmosphäre //Z. angew. Math. Und Mech., 23, H. 1, 1943.

19. Oberbeck A. Über die Wärmeleitung der Flüssigkeiten bei Berücksichtigung der Strömungen infolge von Temperaturdifferenzen. Ann. Phys.Chem., Neue Folge, 8, № 6, 1879.

20. Rontu L. A finite-amplitude mountain wave model. Department of Meteorology University of Helsinki, Report № 26, 1986.

21. Queney P., Corby G., Gerbier N., Koschmieder H., Zieper J. The airflow over mountains. World Meteorol. organiz., Technical note, № 43, 1960 (Ed. M.A. Alaka).

РОССЫПНОЕ ЗОЛОТО АДЫГЕИ: ПРОБЛЕМЫ ПОПУТНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ

Волкодав И.Г.

Адыгейский государственный университет (Майкоп, Россия)

E-mail: geomuz@rambler.ru

Позднекайнозойские и современные россыпи Кавказа известны с незапамятных времен. Искусно выполненные изделия из золота и серебра в Майкопских курганах относятся к III тысячелетию до н.э. Общеизвестна легенда о «золотом руне», т.е. о бараньих шкурах, на которые древние старатели в начале I тыс. до н.э. намывали золотоносный речной песок. Этот способ старательской добычи сваны использовали даже в XX веке. Золотоносность водотоков Осетии и Чечено-Ингушетии установлена в 1767г. сотрудниками Российской бергколлегии. В 1830-40-х годах выявлены россыпи по р.Малке.

В 1929г. начато изучение золотоносности Северного Кавказа экспедицией особого назначения, которая открыла россыпи верховий р.Лабы и золотоносность пермских конгломератов.

В 1932г. начата разработка россыпей сначала р.Лабы, а годом позже – рек Белой, Зеленчука, Теберды и Кубани, которая продолжалась до начала войны.

После освобождения Кавказа в 1943г. геологоразведочные и добычные работы были возобновлены. Большая часть разведанного золота тут же добывалась обычно самими разведчиками. Разведка велась канавами, шурфами, бурением станками «Эмпайр» и «Кингстон», опробование – лотками и майнами (ковшами с плотов).

На р.Белой активная золотодобыча началась после организации в Гузерипле смотрительного участка и вольноприносительного пункта с конторой, которые впоследствии были преобразованы в «Прииск р.Белой».

Первым разведанным объектом в начале 30-х гг. XX века была россыпь балки Горелой, которую первооткрыватели застолбили и отработали. Максимальное количество учтенного золота (13,7кг) добыто в 1935г.

В 1945г. разведка и добыча силами старателей в пойме р.Белой были возобновлены. С 1945 по 1949гг. ежегодная золотодобыча составила от 1 до 3,2кг и велась по р.Белой в интервале от устья р.Бирюзовой до устья балки Майкопки (участок Подвесной), но большая часть (до 80%) получена в верховье между устьями левых притоков р.Белой – рек Бирюзовой и Киши. Наиболее богатыми оказались россыпи рек Бирюзовой, Горелой, Хамышинки и Липовой.

С 1932 по 1951гг. на Северном Кавказе добыто 1293,1кг золота. На р.Белой за этот же период задокументированная добыча составила 56,3кг.

В 1950г. старательская, а в 1952г. и госдобыча на Северном Кавказе были прекращены. Закончился важнейший период в истории изучения золотых россыпей региона.

Между тем поисково-разведочные и экспедиционные работы, доверенные старателям и госдобытчикам, в виду убогой технической оснащенности и стремления к освоению наиболее легкодоступных и богатых («фартовых») участков, не могли дать материал для объективной оценки золотороссыпного потенциала региона и бассейна р.Белой, в частности. Бурение велось в небольших объемах, малыми диаметрами, скважины и шурфы зачастую не достигали коренных пород, поисковые линии не перекрывали все элементы речных долин. Разведывались и разрабатывались лишь мелкозалегающие и малообводненные россыпи с достаточно высоким содержанием золота. После того, как все подобные участки были отработаны, старатели и прииски остались без запасов и работы были прекращены.

С 1953 по 1966гг. золотопоисковые работы не проводились. В нескольких камеральных сводках подытожены результаты 20-летнего периода золотодобычи и разведки и сделаны выводы о перспективности территории на россыпное золото.

В 1966г. начаты работы поисково-разведочной партии по золоту под руководством П.В. Прокуронова, в задачи которой входило выделение площадей с промышленными россыпями, пригодными для сплошной отработки, и составление прогнозной карты россыпной золотоносности Северного Кавказа масштаба 1:500 000. Методы работ: маршрутные исхаживания, шлиховое опробование аллювия русел и разновысотных террас, ударно-канатное бурение по профилям. Был выполнен огромный объем полевых работ. Итогом этих работ и глубокого анализа всех имеющихся и вновь полученных материалов явились отчет и диссертация П.В. Прокуронова, в которых сделаны выводы, касающиеся золотоносности бассейнов северо-кавказских рек, в том числе р.Белой и обозначены некоторые общетеоретические проблемы.

Эндогенные источники золота россыпей. Наиболее обычным, стандартным источником россыпей являются проявления малосульфидной золото-кварцевой формации. Жилы и минерализованные зоны оруденения этого типа распространены во всех геологических комплексах – от палеозойских до юрских включительно. Обилием жил отличаются Верхнепшехинское и Верхнебелореченское рудные поля, Атамажинское и Ассаринское поля минерализации в зоне Главного хребта (Самуро-Белореченская металлогеническая зона). В первых двух с кварцем ассоциируют сульфиды полиметаллической группы, в остальных – преимущественно сульфиды меди, мышьяка, железа, реже цинка. Золото в жилах установлено не повсеместно и обычно в малых количествах. Характерна ассоциация жил с роями диабазовых даек лаурского комплекса.

Жилы и жильные зоны арсенопирит-шеелит-кварцевого минерального типа той же малосульфидной формации, как правило, приурочены к

существенно амфиболитовым метаморфическим комплексам: дуппукскому – зоны Главного хребта и балканскому – зоны Передового хребта. Установленное золотосодержание невысокое – обычно до 1г/т. Золото обнаружено и в арсенипирите (Верхнесахрайское рудное поле).

Оруденение золото-лиственитового типа тяготеет к зонам региональных разломов с телами измененных гипербазитов в их полостях. Содержание сульфидов и золота невысокое, последнего до 2-5г/т (Белореченское месторождение, Шаханское рудопроявление).

Полисульфидные колчеданные руды тяготеют к вулканическим комплексам девона и юры.

Медно- и серно-колчеданные руды известны в метаморфических существенно амфиболитовых комплексах палеозойского возраста (Верхнебелореченская рудная площадь).

В полисульфидных пирротин-полиметаллических зонах и жилах отмечены наиболее высокие содержания золота – до 12г/т (Даховское рудное поле, Афонское проявление).

В последних трех типах золото обычно тонкодисперсное. Укрупнение его происходит в горизонтах вторичного обогащения зон окисления полисульфидных объектов.

Экзогенные источники золота россыпей. Одним из вероятных источников россыпей являются вкраплено-сульфидные рудные горизонты в черноцветных углеродистых породах, как слабо измененных, так и глубокометаморфизованных: графитистых сланцах и гнейсах, кремнисто-графитистых породах. Любая, наложенная на них гидротермальная (жильная или метасоматическая) минерализация, сопровождается высвобождением тонкодисперсного и химически связанного (в сульфидах или металлоорганических соединениях) золота и переходом в укрупненные россыпеобразующие модификации.

То же самое можно сказать о металлоносных красноцветных и пестроцветных отложениях, неизмененных и метаморфизованных.

Важными источниками являются вышеназванные промежуточные коллекторы: золотосодержащие конгломераты девона, карбона, перми, триаса, юры, мела, кайнозоя. Вклад каждого из этих уровней, за исключением пермского и юрского, не оценён.

В связи с установлением принципиальной золотоносности карбонатных и терригенно-карбонатных толщ юры и триаса и вероятной – девона и перми, а также развитием во всех карбонатных отложениях карстовых и гидротермокарстовых образований неизбежно встает вопрос о поисках карстовых россыпей и о карстовых россыпях как источнике золота в открытых речных системах.

Россыпи бассейнов рек Белой и Лабы. Все сколько-нибудь значительные россыпи золота Адыгеи принадлежат бассейну р.Белой. П.В. Прокуронов выделяет в этом бассейне (как, впрочем, и в других бассейнах): россыпи зоны Главного хребта, россыпи зоны Передового

хребта, россыпи Лабино-Малкинской зоны и россыпи зоны Передовых прогибов.

Россыпи р.Белой в зоне Главного хребта. В первую очередь это россыпь р.Бирюзовой, правого притока р.Белой (находится к югу от границы Адыгеи), и россыпь балки Горелой, и россыпь самой р.Белой – от устья Бирюзовой до устья р.Молчепы, примерно совпадающего с пересечением долины реки Пшекиш-Тырныузским структурным швом, разделяющим зоны Главного и Передового хребтов.

В этой зоне золотоносна вся масса аллювия, пустые отложения, именуемые «торфами», отсутствуют, если не считать локальных перекрытий аллювия коллювиальными осыпями и пролювиальными конусами выноса мелких притоков. Речные отложения характеризуются значительной валунистостью, составляющей от 40 до 70% при размерах валунов до 5-7м, и незначительной долей песчано-гравийной смеси – порядка 5-10%.

Содержание золота на массу в россыпи р.Бирюзовой в период её эксплуатации составляло 100-300мг/м³.

Россыпи р.Белой в зоне Передового хребта. Золотоносность прослеживается на всем интервале, вплоть до северных границ зоны. Особенно много золота на юге, вблизи Пшекиш-Тырныузского разлома. Содержания металла в долине р.Молчепы достигают 1067мг/м³. Следует, однако, отметить, что речка эта размывает породы Атамажинского и других блоков, принадлежащих зоне Главного хребта. Ниже Молчепы содержания в русловых отложениях снижаются (10-125мг/м³) и вновь возрастают дважды: после пересечения Пшекиш-Бамбакского горста с его золотоносными пермскими конгломератами и после пересечения Даховского горста и одноименного рудного поля. Среднее содержание золота в пределах Передового хребта составляет 127мг/м³.

Золотоносны валунно-галечные отложения (40-60% валунов и 10-15% – песчано-гравийной смеси) при незначительной примеси глинистого материала. При пересечении горстов валунистость повышается, как и размер валунов, максимальный – 2-3м в поперечнике. Металлоносен весь разрез руслового аллювия, «торфа» отсутствуют, если не считать пролювиальных выносов мелких притоков. Встречаются «подвешенные» пласты на более бедных глинистых. Мощность «песков» варьирует от 2-3 до 5м, но есть участки, где русло врезано в коренные породы. В русловых россыпях, лежащих на коренных породах, повышенные концентрации золота тяготеют к приплотиковым частям аллювия, к трещинам и «карманам» плотика, особенно, если породы легко разрушаются. Глубина плотика обычно не более 0,3-0,5м.

На р.Белой отрабатывались русловые, щеточные, косовые, террасовые (невысоких уровней) россыпи, нетронутыми остались долинная россыпь и аллювий высоких террас.

Источниками металла в данном интервале, помимо золота, перемещенного из зоны Главного Хребта, являются золото-кварцевые малосульфидные и сульфидно-кварцевые жилы и минерализованные зоны

дробления Хамышинского и Даховского рудных полей, многие более мелкие рассредоточенные объекты подобного типа и золотоносные конгломераты большелабинской свиты перми. Кстати, по данным шлихового опробования содержания золота резко уменьшились с 1250 до 46-55 мг/м³ ниже устья Тепляка и дают всплеск до 1300 мг/м³ ниже выходов золотоносных пластов перми, затем снижаются до 5-12 мг/м³ ниже устья Киши и Шаханского разлома, в полосе распространения неминерализованных юрских отложений с небольшим повышением (115-165 мг/м³) посреди полосы, после этого резко падают до 5 мг/м³ на всем продолжении Гранитного каньона, на выходе из которого, от краевой части Даховского горста и почти до устья Руфабго, фиксируются промышленные содержания от 146 до 650 мг/м³ с единичными понижениями до 10-35 мг/м³. Цвет золота золотисто-желтый с зеленоватым оттенком у плохо окатанных золотин и более темный красноватый – у хорошо окатанных, но внутри они – зеленоватые. Преобладает неокатанное золото. Включения в золоте обычно представлены кварцем. Особенно много кварца по рекам Белой и Молчепе, вблизи Пшекиш-Тырныузской шовной зоны. Иногда на золоте отмечаются корочки мелких кристалликов марказита.

Россыпи малых долин – притоков р.Белой. В данном интервале отрабатывались старателями в 20-40-х годах и продолжают интересоваться местных добытчиков металла и поныне. В небольших долинах объектами добычи являются русловые, косовые, небольшие долинные и щеточные россыпи на всю мощность: от долей до первых метров. Щеточные россыпи наиболее благоприятны в местах выхода тонкоплитчатых или тонкокливажированных аргиллитов и алевролитов черноцветных юрских и красноцветных пермских свит. Помимо руслового и долинного, золотоносным является аллювий разновысотных (от 0,6 до 18 м) террас малых водотоков, из которых разработке подвергались только наиболее низкие уровни (не выше 4 м). Мощность аллювия террасовых россыпей варьирует от 0,2 до 1,5 м, площадные размеры – десятки и сотни квадратных метров.

Разрабатывались россыпи левых притоков р.Белой: речек Хамышинки, Бзыхи и Липовой. Золото в них крупное, попадаются самородки. Наиболее крупный из них весом 127 г, по словам нашедшего его старателя, содержал остатки вмещающей породы – красноцветного песчаника. Различия в пробности (660-670, 840-850 и 900) дают основания для предположения о трех источниках поступления металла. Два из них известны: золото Хамышинского рудного поля и золото пермских конгломератов, – хотя в последних может присутствовать и разнопробный металл.

В крупном высокопробном золоте р.Хамышинки в небольших количествах присутствует мышьяк, медь, свинец, в низкопробном мелком медистом золоте р.Бзыхи установлена высокая (до 1%) концентрация ртути – аргумент в пользу неглубокого среза золоторудных жил Хамышинского рудного поля.

Содержания золота в отобранных россыпях, как правило, остались не известными. Шлиховое опробование в долинах Хамышинки, балках Бугаева,

Глубокой, Известковой, Станкевича, проведенное в 70-е годы, показало преобладание содержаний до 10мг/м^3 с редкими до 100 и 1000мг/м^3 . Промывка русловых, террасовых проб и проб со щеток балок Глубокой и Известковой, проведенная в 90-е годы, установила среднее содержание в россыпях 360мг/м^3 , при вариациях от 63 до 425мг/м^3 .

Прогнозные ресурсы россыпей малых долин Хамышинского участка оцениваются по категориям P_{1+2+3} в 76 кг.

Золотоносен крупный правый приток р.Белой – р.Киша, берущая начало, как и Белая, в ледниках зоны Главного хребта и косо пересекающая Пшекиш-Бамбакский горст, принадлежащий зоне Передового хребта. По данным старателей, содержания металла в щетках низовой реки достигали 20г/м^3 . В.П. Грицкевич указывает на отбор в русле 4-х шлиховых проб с содержаниями более 100мг/м^3 и одной с 8870мг/м^3 . По информации местных жителей, на реках Кише, Хамышинке и др. велась ранее и продолжается поныне хищническая потаенная добыча золота.

По расчетам ЦНИГРИ, на Хамышинском участке прогнозные ресурсы золота по категориям P_{1+2+3} малых долин составляют 76кг, террасовых россыпей – 250кг (те и другие для открытой добычи), прогнозные ресурсы долинной россыпи для дражной отработки оцениваются в 450кг металла.

Россыпи р.Белой в пределах Лабино-Малкинской зоны. Россыпной полигон р.Белой в интервале между двумя каньонами: Гранитным и Хаджохской тесниной – является северо-западным замыканием металлогенической зоны Североюрской депрессии, ограниченной с севера эскарпами Скалистого хребта, а с юга – высокогорными грядами Передового хребта. В эту зону входят Малка-Чегемский и Уруп-Лабинский золото-россыпные районы, а также россыпи Баксана, Кубани, Теберды, Б. Зеленчука и Белой.

П.В. Прокуронов считал эти россыпи аллохтонными, не имеющими местного источника золота, что поставками металла были зоны Главного и Передового хребтов, а транспортными средствами – долинные ледники и быстрые горные водотоки, особенно мощные в периоды паводков.

В упомянутых каньонах нет ни аллювия, ни золота. То и другое сконцентрировано в Даховском расширении, между выходом из Гранитного каньона и прорывом юрской куэсты.

Исключение представляет собой случай с водобойным колодцем под высоким водопадом правого притока р.Белой – ручья Золотого. По рассказам старателей, в извлеченном из колодца аллювии оказалось обильное золото с платиноидами. По этой причине ручей получил свое название, хотя в нем самом золото не зафиксировано. По всей вероятности, из колодца было извлечено золото самого каньона; удержанное ловушкой колодца.

В Даховском расширении известны и разрабатывались русловые и террасовые россыпи. На левой террасе р.Белой высотой 16-18м, между устьем р.Руфабго и входом реки в Хаджохскую теснину, отрабатывался бутарным способом аллювий мощностью до 5-7м с использованием водного потока из ручья. Содержание золота в аллювии колебалось от 100 до

1000мг/м³. Есть следы старательских разработок и на правых террасах р.Белой.

По данным П.В. Прокуронова (1969), при обследовании террасовой россыпной золотоносности по Даховскому и Хаджохскому участкам отмечено следующее. На террасах 3-4-метрового уровня установлено содержание 50-80мг/м³, на террасах 6-8-метрового уровня – до 100-352мг/м³ на мощность 0,5м, на 16-18-метровой террасе – до 100-1000мг/м³, на реликтах 230-метровой правобережной террасы, возле ст.Даховской установлено 36мг/м³ металла.

Результаты отработок русловой россыпи р.Белой не известны. Долинная россыпь не разведывалась и не вскрывалась.

Информация по золотоносности малых водотоков Североюрской металлогенической зоны на её западном окончании (в пределах Адыгеи) крайне ограничена. Оценивалась речка Дегуако, берущая начало в пределах минерализованного Даховского рудного поля. На протяжении 2000м среднее содержание золота составило 253мг/м³ на мощность песков в 30см. Золото в аллювии двух типов: крупное хорошо окатанное высокопробное (до 960 промилле) и мелкое плохо окатанное с пробностью 760-880 промилле, – вероятно, имеют разные источники.

К предположительно золотоносным отнесена долина р.Сахрая и её притоков, дренирующая поля золотоносной минерализации малосульфидно-кварцевого типа и несущая шлиховой золото-шеелитовый поток.

Шлиховые пробы с золотом и серебром отмечен по балке Бачурина, левому притоку р.Руфабго, в том месте, где он размывает принципиально золотоносные и сереброносные породы мезмайской свиты верхней юры.

Прогнозные ресурсы Даховского золотороссыпного участка, по расчетам ЦНИГРИ, оценивается по категориям Р₁₊₂₊₃ в 300кг металла, в том числе россыпей малых долин – 10кг, террасовой россыпи – 20кг и долинной россыпи р.Белой под дражную разработку – 270кг. Ресурсы малых долин и террасовых россыпей явно занижены.

Россыпи рек Белой и Лабы в зоне Передовых прогибов. Представляют собой золотоносные шлейфы, вынесенные из Лабино-Малкинской зоны за пределы Скалистого хребта.

В самом начале Хаджохского расширения установлено содержание золота в 310мг/м³. Значительная по масштабам террасовая россыпь предполагается на так называемой Хаджохской поляне, где выявлены следы старательской добычи. Её оценочные параметры: длина 1км, ширина – 50 метров, мощность песков 2 метра, среднее содержание в песках 0,5г/м³, – позволяют рассчитывать на запасы золота в 100кг.

Ниже Хаджохского расширения золото в аллювии прослеживается до г.Майкопа. Разработки велись вплоть до п.Тульского, особенно в устье балки Майкопки, на участке Подвесном.

По данным лоткового опробования (Прокуронов и др., 1969), содержание золота в русловых пробах не превышает 100-120мг/м³, обычно от 5 до 50мг/м³. Русловой аллювий рек Белой и Лабы обладает пониженной

валунистостью (15-5%) с содержанием песчано-гравийной смеси 20-70%. Мощность аллювия р.Белой, врезанной в породы Адыгейского выступа, не превышает 10-15м, и золотоносность её более значительна и стабильна, по сравнению с р.Лабой, где мощность аллювия измеряется десятками метров и содержание золота не превышает 20мг/м³.

Наряду с дисперсным золотом, в р.Белой довольно часты золотины размером 0,5-1мм. Окатанность его средняя, отмечаются плохо окатанные зерна. Форма золотины чаще всего пластинчатая, цвет золотисто-желтый, зеленоватые оттенки не наблюдались. В аллювии р.Лабы золото дисперсное (0,25мм и менее) и относится к мелкому и тонкому классам.

Долинные россыпи рек не разведаны, по отдельным неполным пересечениям глубина их залегания на р.Белой – 6-8м, на р.Лабе – 20-30м.

Отрядом, руководимым бывшим главой геологической службы Адыгеи П.Н. Вагановым в долине р.Лабы проведены опытные работы по определению возможной попутной добычи золота при отработке песчано-гравийных смесей. Работы производились на трех карьерах правобережья Лабы, у границы Адыгеи: Зассовском, Владимирском и Центр-Лабинском, – и на Кошехабльском левобережном, в пределах Адыгеи. Результаты работ таковы: на Зассовском – при содержании 14мг/м³, ресурсы золота составили 362кг, пробность 905 промилле; на Владимирском – при содержании 22мг/м³, ресурсы – 168кг; на Центр-Лабинском – при содержании 13мг/м³ ресурсы составили 70кг, пробность 930 промилле. Информация по Кошехабльскому карьере (Ваганов и др., 2000) такова: содержание золота в песковой фракции ПГС составило 35мг/м³, в некоторых продуктах переработки – 69-226мг/м³; золото на 35% представлено частицами менее 0,25мм, пробность 940-950 промилле, попутно в небольшом количестве установлена платина. Ресурсы не подсчитаны.

При миллионной годовой производительности карьера, попутное извлечение золота может составить до 20кг, что обеспечит дополнительный доход (по ценам 2012 года, равным 1655 рублей за грамм) в 33 млн. рублей.

Карьер на террасовой россыпи Хаджохской поляны, на р.Белой, где содержания золота составляют 500мг/м³, мог бы давать такие же прибыли при производительности в 50 раз меньшей.

Содержания золота в валунно-галечниковых и песчано-гравийных карьерах долины р.Белой не оценивались, но, предположительно, они существенно выше, нежели на р.Лабе, в связи с более благоприятными условиями, связанными с продолжающейся глубинной эрозией в зоне Адыгейского поднятия.

Поскольку верховья р.Белой, выше п.Гузерипля, рек Молчепы, Киши и балки Федорова находятся в пределах Кавказского биосферного заповедника, реально можно рассчитывать на проведение дополнительных изысканий и организацию добычи золота, в том числе попутного его извлечения при разработке строительных материалов, только в русле и долине р.Белой и по её левобережным притокам, а ниже устья р.Киши и далее – по всей долине реки, вплоть до её песчаных выносов в Краснодарское водохранилище.

Целесообразно изучить и возможность и рентабельность дражной добычи золота и платины из этих наносов.

По берегам и в донных осадках Краснодарского водохранилища реально обнаружение новообразованных россыпей косового золота с примесью платины, подобных виллюйским. Привнос металла обеспечивают река Кубань и все её основные притоки, берущие начало в высокогорье Большого Кавказа, в том числе реки Белая и Лаба. Дельта р.Белой уже перегородила водохранилище.

ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕУГЛЕВОДОРОДНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ АБХАЗСКОЙ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Гицба Я.В., Экба Я.А.

*Абхазский государственный университет,
Институт экологии Академии наук Абхазии
(Сухум, Абхазия)
E-mail: yana-love@mail.ru, ekba-yana@yandex.ru*

Загрязнение Мирового океана нефтепродуктами – наиболее яркий пример глобального антропогенного воздействия. В настоящее время в Черном море практически нет такой области, где не ощущалось бы нефтяное загрязнение. Согласно современным оценкам, ежегодно в Мировой океан из различных источников поступает 5–10 млн. т. нефти. Источники поступления нефтяных углеводородов в морскую среду можно разделить на природные и антропогенные.

Основными природными источниками нефтяного загрязнения морской среды являются естественные выходы нефти на дне моря и менее значительным источником – эрозионные процессы. Следует отметить, что природные потоки нефти в морскую среду составляют 0,025–2,5 млн. т. в год [7].

Мощным источником нефтяных загрязнений является морской транспорт. О возрастающем риске возникновения серьезных аварийных ситуаций техногенного характера наглядно свидетельствует серия кораблекрушений, произошедших во время сильного шторма в ноябре 2007 г в Керченском проливе и сопровождавшихся крупным разливом мазута.

Поступление со стоком рек, а также с балластными водами танкерного флота нефтяных углеводородов и других органических веществ вызывает значительные изменения микрофлоры прибрежных районов моря, что особенно заметно в бухтах и в лиманах северо-западной части Черного моря и на акваториях крупных портов. Важным фактором, регулирующим деструкционную активность специфической микрофлоры, которая окисляет нефтяные углеводороды и другие загрязняющие органические вещества, является температура воды водоема. При снижении температуры от 22-24°C летом до 3-7°C зимой интенсивность их бактериальной деструкции снижается более чем на порядок, поэтому поступление в прибрежные биотопы моря органических загрязнений и особенно нефтяных углеводородов в зимнее время особенно опасно, имея в виду возможность их накопления в донных осадках [6].

На побережье Черного моря расположены большие порты и крупные промышленные центры. Кроме этого, в акватории Черного моря обнаружены залежи нефти. В связи с этим нетрудно предположить возможность развития в недалеком будущем промышленной добычи в прибрежной зоне Черного моря. При разработке этих месторождений нефть перекачивается в порты на

суда для транспортировки, что создает угрозу нефтяного загрязнения бассейна. Следствием роста загрязнения могут быть не только подрыв его биологических ресурсов, но и снижение его рекреационной ценности вследствие ухудшения качества воды и пляжей.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Черное море является основным рекреационным объектом Абхазии от экологического состояния, которого зависит развитие курортной индустрии страны.

В данной работе представлены результаты наблюдений за содержанием нефтепродуктов в прибрежной акватории абхазского сектора Черного моря. Пробы отбирались в четырех точках акватории Сухума : ГИАНА (Сухумский мыс), Эльбрус, Большой причал, Айтар и п. Новый Афон (рис.1).

Мониторинг концентрации нефтепродуктов в сухумской акватории Черного моря проводится Абхазским государственным центром экологического мониторинга с 1998 г по настоящее время. С 1998 по 2000 гг. наблюдения велись как в прибрежной части Сухума, так и в некотором удалении от береговой зоны. С 2001 г. по настоящее время отбор проб морской воды проводится только в прибрежной зоне Сухума. Пробы берутся каждые две недели: в начале и середине месяца. За ПДК принята концентрация 0,05 мг/л [4].

В настоящее время основным методом контроля нефтепродуктов в водных объектах является инфракрасный (ИК)-спектрофотометрический, которому дано предпочтение не только в Абхазии и России, но и в странах Европы.

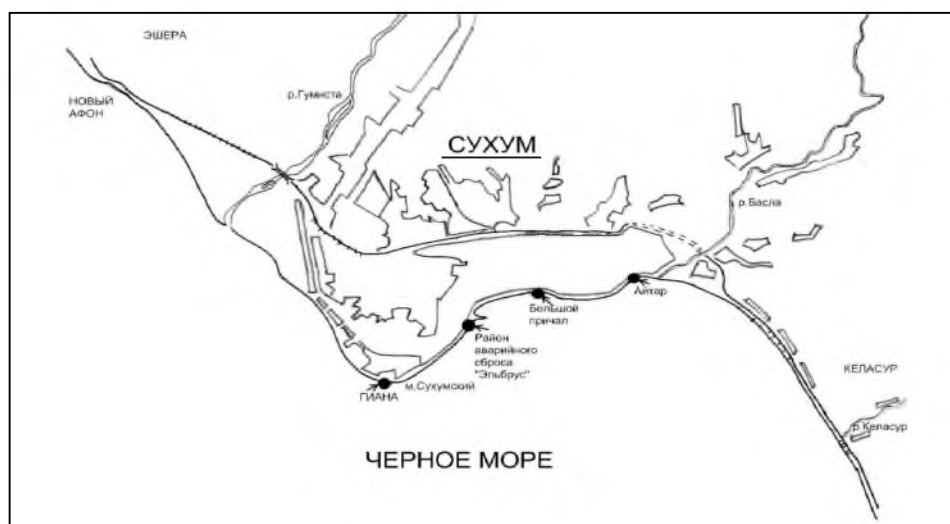


Рис.1. Карта отбора проб

Определение содержания нефтепродуктов по этому методу основано на выделении нефтяных компонентов экстракцией четыреххлористым углеродом, хроматографическом отделении углеводов от соединений других классов в колонке с оксидом алюминия и количественном их

определении по интенсивности поглощения С-Н связей метиленовых (CH₂) и метильных (CH₃) групп в инфракрасной области спектра (2930 ± 70) см⁻¹ (3,42мкм) [4].

Данный метод позволяет дать эффективную оценку нефтяного загрязнения, осуществлять непосредственный мониторинг загрязнений нефтяными углеводородами без потери каких-либо фракций и гарантирует достоверность и точность результатов измерений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Особенно велико влияние загрязнения в прибрежной зоне моря, т.е. зоне приема поверхностных вод. Воды, расположенные между береговой линией и внутренней границей Основного черноморского течения представляет собой область, в которой под влиянием целого ряда факторов формируется своеобразный гидролого-гидрохимический режим, отличающийся от режима глубоководной части моря.

По данным многолетних исследований, можно проследить территориальную неоднородность и временную изменчивость нефтяного загрязнения Черного моря. В пространственном отношении наиболее существенна загрязненность морской среды в районах судоходных трасс и портов. Из пространственного распределения нефтеуглеродов (НУ) в акватории Сухума следует, что наибольшая среднегодовая концентрация наблюдалась у береговой черты – 5 ПДК, наименьшая концентрация в более отдаленной от берега части, т.е. в 5 км к югу от сухумского морского порта и составляла 2,4 ПДК [1].

По полученным результатам наименее загрязненным участком сухумского побережья является п. Айтар (2,1ПДК), так как данный пункт находится на окраине города и менее подвержен антропогенному воздействию. За весь наблюдаемый период времени наиболее загрязненным участком сухумской акватории является п. Большой причал (4,3ПДК), где максимальные концентрации нефтепродуктов в отдельные сроки достигали 0,7-0,86 мг/л, что объясняется расположением в данном пункте Сухумского морского порта [8].

Среднемесячная концентрация НУ в прибрежных поверхностных водах сухумской и новоафонской акваторий Черного моря за 2001-2012 гг. превышает ПДК (рис.2)

Из рисунка следует, что концентрация НУ в сухумской акватории в среднем превышает концентрацию НУ в п. Новый Афон. Это объясняется тем, что наибольшей антропогенной нагрузке подвержен более густонаселенный и портовый город Сухум. Концентрация НУ в Сухумской акватории колеблется в пределах от 0,09 мг/л (1,8 ПДК) в декабре до 0,23 мг/л (4,6 ПДК) в июле. Значительное превышение НУ предельно допустимой концентрации в летние месяцы наблюдается в течение всего наблюдаемого периода, за исключением 2007г, когда концентрация НУ не превысила ПДК. Распределение НУ в новоафонской акватории имеет наибольшее значение в сентябре - 0,17 мг/л (3,4 ПДК) и наименьшее значение в июне – 0,06 мг/л (1,2

ПДК). Наибольшая концентрация НУ в новофонской акватории за весь наблюдаемый период зафиксирована в 2008 г в сентябре-октябре (0,27-0,63 мг/л), что повлияло на среднемесячную и сезонную характеристику загрязнения моря.

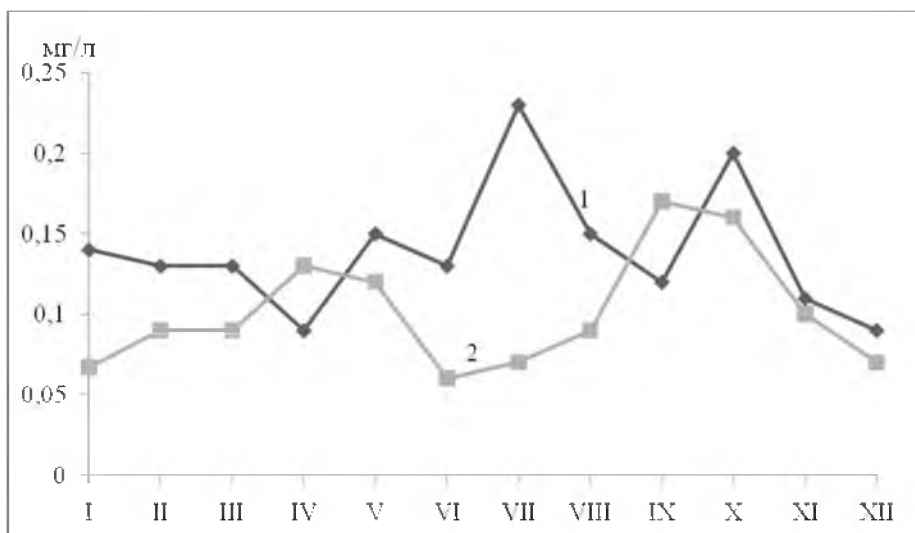


Рис.2. Среднемесячное распределение нефтеуглеродов в сухумской (1) и новофонской (2) акваториях Черного моря за 2001-2012 гг.

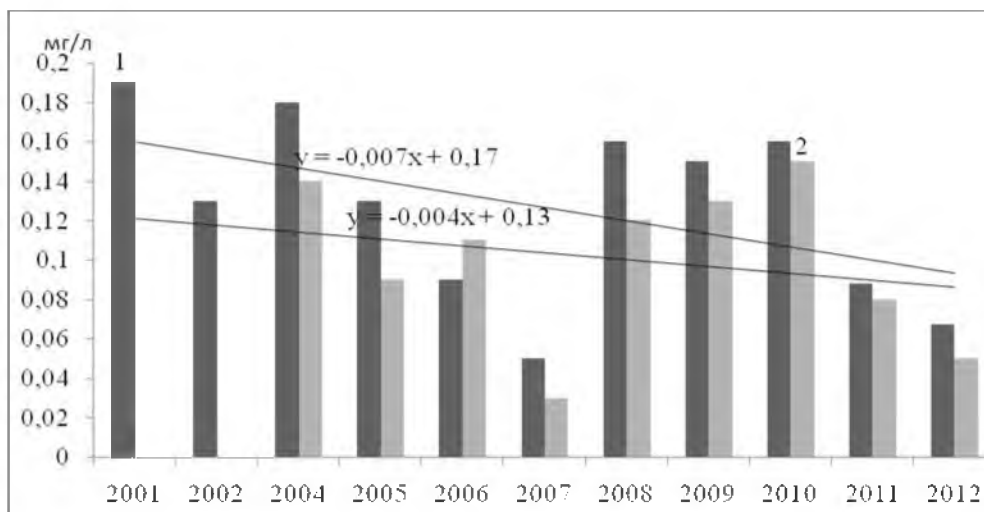


Рис. 3. Среднегодовое распределение нефтепродуктов в сухумской (1) и новофонской (2) акваториях Черного моря.

Если проследить за сезонным ходом концентрации НУ выявляется, что наибольшее загрязнение сухумской акватории наблюдается в летний период 0,17 мг/л (3,4ПДК), новофонской – в осенний 0,14 мг/л (2,8 ПДК). В летний период в связи с уменьшением процессов вертикального перемешивания вод и образованием устойчивого термоклина, происходит накопление НУ в прибрежной акватории. Минимальная сезонная концентрация НУ как в сухумской 0,11мг/л (2,2 ПДК), так и в новофонской акватории 0,07 мг/л (1,4 ПДК) наблюдается в зимний период, что объясняется интенсивными

гидродинамическими процессами, происходящими в море, за счет которых происходит пространственное рассеивание НУ.

В работе с целью выявления многолетней тенденции исследовано годовое распределение концентрации нефтепродуктов в сухумской акватории за период с 2001 по 2012 гг. и акватории Н. Афона с 2004-2012 гг. (рис.3).

Прямые уравнения линейной регрессии наглядно показывают тенденцию межгодовой изменчивости содержания НУ. Для сухумской и новоафонской акваторий наблюдается устойчивый отрицательный тренд со временем. Концентрация НУ в сухумской акватории Черного моря имеет тенденцию к снижению с 2001 по 2012 гг. на 0,08 мг/л (1,54 ПДК). За период 2005-2006 гг. были зафиксированы отдельные случаи, когда концентрация НУ в отдельные сроки не превышала 0,01 мг/л, но среднегодовая концентрация НУ за этот период превышает допустимую норму (2,6 ПДК и 1,8 ПДК соответственно). В течение всего 2007 г концентрация НУ колебалась в пределах от 0,01 до 0,09 мг/л, вследствие чего среднегодовая концентрация в отличие от всего периода в этом году не превысила ПДК.

В отличие от Сухума в п. Н. Афон концентрация за последние 9 лет снизилась на 0,04 мг/л (0,72 ПДК), за этот же период времени снижение концентрации НУ в сухумской акватории составило (1,1 ПДК). В 2007 и 2012 гг. концентрация НУ в новоафонской акватории не превысила ПДК. В отдельные сроки максимальные концентрации НУ в новоафонской акватории достигали 0,5-0,63 мг/л, но в сухумской акватории в эти же сроки концентрация НУ не превышала 0,19 мг/л, видимо в новоафонской акватории в эти сроки произошло локальное загрязнение антропогенного характера. В течение месяца произошло рассеивание НУ и концентрация в конце ноября снизилась до 0,12 мг/л.

Из результатов исследования распределения максимальных концентраций НУ в обеих акваториях следует, что зафиксированные в одни и те же сроки максимумы НУ (0,33–0,8 мг/л) наблюдались после ливневых осадков.

Вместе с тем, такие факторы как ветровая деятельность и гидродинамический перенос способствуют распространению НУ на значительные расстояния. Скорость перемещения нефтяных пятен составляет 60% скорости течения и 2-4% скорости ветра [3]. Концентрация НУ также существенно зависит от метеоусловий: сгонных и нагонных ветров. Коэффициент корреляции $r=0,79$ между концентрацией нефтепродуктов и скоростью нагонных ветров в сухумской акватории говорит о влиянии метеоусловий на аккумуляцию нефтепродуктов в прибрежной акватории (рис.4).

С повышением скорости нагонных ветров (южного, юго-восточного направления) концентрация нефтепродуктов увеличивается. Под влиянием ветра и волнения моря усиливаются нагонные процессы, препятствующие распространению НУ в открытое море, что приводит к накоплению их у береговой черты. В мае 2009 года «Роснефть» и министерство экономики

Абхазии подписали пятилетнее соглашение о геологическом изучении с целью поиска и оценки месторождений углеводородного сырья в пределах Гудаутского участка, расположенного на дне Черного моря.

Есть опасения, что разведка и возможная добыча нефти на шельфе абхазской акватории Черного моря негативно скажутся на экологии побережья. Поиски и возможная дальнейшая добыча нефти нанесут вред экологии Абхазии и отрицательно скажутся на курортной индустрии, сегодня являющейся главной опорой абхазского бюджета. За пять лет компания планирует пробурить две поисково-разведочные скважины у побережья города Гудаута.

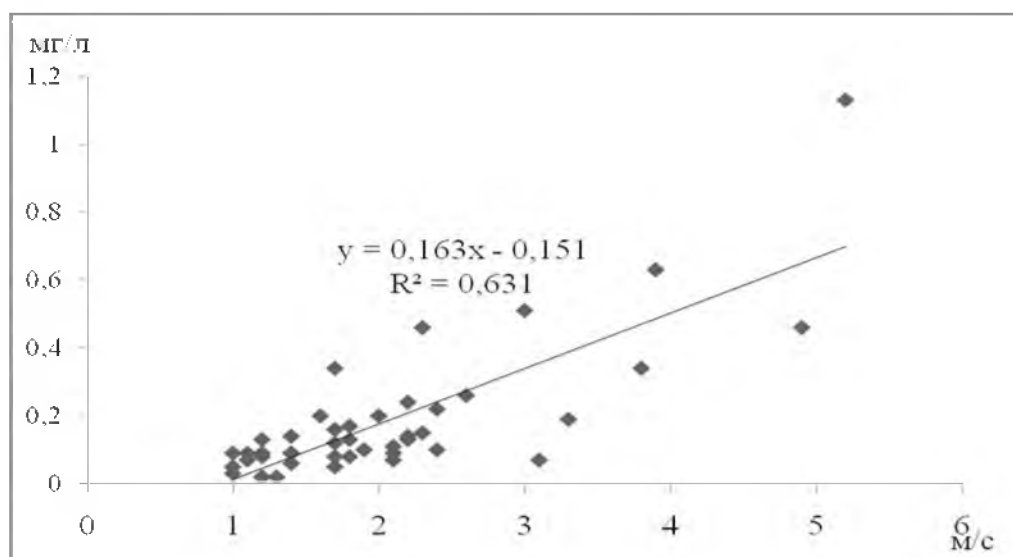


Рис. 4. Зависимость концентрации нефтепродуктов от скорости нагонных ветров.

До 2005 года главным фактором загрязнения абхазской акватории Черного моря являлся Супсинский нефтяной терминал. Интенсивность работы Супсинского терминала была снижена после ввода в эксплуатацию нефтепровода Баку-Тбилиси-Джейхан в обход Черного моря. В результате концентрация нефтепродуктов с 2005 по 2007 гг. заметно снизилась, но в связи с резким возрастанием количества морского транспорта за последние два года произошло повышение концентрации нефтепродуктов, что отразилось на среднегодовых значениях.

Сопоставление результатов мониторинга в акваториях Сухума и Сочи свидетельствуют о том, что концентрация НУ имеет тенденцию к снижению, средние концентрации НУ в порту Сочи колеблются в пределах 0,02-0,05 мг/л, т.е. не превышают предельно допустимую концентрацию [2].

В отличие от сочинской акватории в сухумской, концентрация нефтепродуктов превышает ПДК, так как квазистационарная циклоническая циркуляция вод юго-восточной части Черного моря, перемещает взвешенные фракции НУ с чрезмерно загрязненных портов Батуми и Поти к берегам Абхазии.

Несмотря на продолжающееся антропогенное воздействие море не деградирует, благодаря существующим механизмам самоочищения: сгонно-нагонные явления; ветровые течения; бризовая циркуляция, часто повторяющаяся в теплое время года, формирует теплые течения (до 10 см/с), которые направлены как от берега (ночной бриз) так и к берегу (дневной бриз); прибрежные антициклонические вихри и зимняя конвекция.

Как известно под действием микроорганизмов, солнечного излучения других природных факторов происходит естественная трансформация нефтяных агрегатов, которая сопровождается уменьшением содержания лабильных НУ и увеличением остаточной доли консервативных макромолекулярных соединений – смол и асфальтенов

Наряду с механизмами самоочищения моря необходимо выделить основной фактор, который ограничивает процессы вертикального перемешивания и способствует накоплению загрязняющих веществ в поверхностном слое в летнее время – сезонный термоклин.

Постоянный антропогенный пресс, который море испытывает, не может пройти бесследно. Благодаря механизмам самоочищения море способно только смягчить последствия загрязнения, но оно не в силах ликвидировать их.

ВЫВОДЫ

Основными источниками загрязнения морских вод абхазской акватории Чёрного моря являются промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды, морской и наземный транспорт.

Уменьшение процессов вертикального перемешивания вод и образование устойчивого термоклина в летний период способствует накоплению НУ в прибрежной акватории (3,4ПДК).

За последние 12 лет наблюдается тенденция снижения НУ в абхазской акватории на 1,54 ПДК.

Коэффициент корреляции между концентрацией нефтепродуктов и скоростью нагонных ветров $r=0,79$ свидетельствует о влиянии метеоусловий на аккумуляцию нефтепродуктов в прибрежной акватории

Разведка и возможная добыча нефти на шельфе абхазской акватории Черного моря могут нанести ущерб морским биоресурсам и отрицательно скажутся на курортной индустрии.

Список литературы

1. Гицба Я.В., Экба Я.А. Оценка загрязнения нефтепродуктами сухумской акватории Черного моря. Материалы всероссийской научной конференции «Экология 2011 – море и человек». – Таганрог, 2011. – С. 49-53
2. Герлах С.А. Загрязнение морей. Диагноз и терапия. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 264 с.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Черное море. Современное состояние загрязнения вод Черного моря /Под ред. А.И. Симонова, А.И.

Рябина. – Севастополь: ЭКОСИ – Гидрофизика, 1996. – Т.IV. – Вып.3. – 230 с.

4. Государственные стандарты Союза ССР. Вода питьевая. Методы анализа. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 239с.

5. Губанов В.И., Рябинин А.И., Симов В.Г. Проблемы балансовой оценки источников загрязнения Черного моря // Диагноз состояния экосистемы Черного моря и зоны сопряжения моря и суши: Сб. науч. тр. НАН Укр. МГИ: под ред. чл.-корр. НАН Украины В.Н. Еремеева. – Севастополь, 1997. – С. 23 – 24.

6. Кирюхина Л.Н. Физико-химическая и бактериологическая характеристика донных осадков береговой зоны шельфа Черного моря. – В кн.: Биология моря. – Киев: Наукова думка, 1979. – Вып. 50. – С. 15-23.

7. Сорокин Ю.И. Черное море. – М.: изд-во «Наука», 1982. – 216 с.

8. Экба Я.А., Дбар Р.С., Гицба Я.В. Загрязнение нефтепродуктами Сухумской акватории Черного моря. Труды третьей региональной конференции "Биоразнообразие Кавказа". – Нальчик, 2004. – С. 109-114.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю., Шакун В.П.

МГУ им. М.В.Ломоносова (Москва, Россия)

E-mail: k_sophia_v@mail.ru

Стремительное развитие геоинформационных технологий в последние годы дает возможность применять этот изначально чисто географический инструментарий для исследований и представления комплексных (сложных, структурированных) массивов информации в виде ГИС-продуктов. В настоящее время и для возобновляемой энергетики (ВЭ) становится актуальным помимо создания баз данных и карт распределения ресурсов, разрабатывать и применять геоинформационные системы которые позволяют интегрировать и комплексно анализировать тематически объединенные географически привязанные данные. Энергетические компании за рубежом широко используют ГИС-технологии для решения задач возобновляемой энергетики. В частности, недавно осуществленный выбор подходящего участка для размещения комплекса ветровых электростанций (ВЭС) на континентальном шельфе Нидерландов был проведен с использованием ГИС; она позволила интегрировать и комплексно проанализировать многие лимитирующие факторы: пути и интенсивность судоходства, территории, занятые разработкой нефтяных месторождений и пути прокладки нефтепроводов, маршруты миграции птиц, ограничения со стороны военных ведомств и т.д. При оценках учитывалось влияние каждого из лимитирующих факторов. Этот принцип позволил более точно проанализировать пригодность и экологическую чувствительность того или иного участка в процессе выбора мест для строительства энергообъектов.

Проведенное авторами в [1] исследование тематически близких геоинформационных ресурсов позволило выделить следующие виды ГИС в области ВЭ по охвату территории:

- локальные; (ГИС для выбора площадки шельфовой ВЭС, Нидерланды; см. выше);
- региональные (например, Атлас возобновляемой энергетики штата Вермонт, США);
- национальные (ГИС Национальной лаборатории возобновляемой энергетики США NREL);
- глобальные (ГИС-продукты 3TIER Renewable Energy; Solar & wind energy resource assessment SWERA).

Разработка ГИС «Возобновляемые источники энергии России» предусматривает сбор, обобщение и формирование (1) массивов географически привязанных данных о ресурсах возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на территории регионов РФ, (2) климатических данных,

необходимых для моделирования работы установок на ВИЭ; (3) информации о действующих объектах энергетики на ВИЭ; *визуализацию* информации в виде карт, таблиц, графиков, рисунков и фотографий; *создание* дополнительных массивов данных, тематически связанных с возобновляемой энергетикой (научно-технические и образовательные организации, специализирующиеся в области ВЭ; фирмы-производители оборудования, проектные организации; региональные программы и региональное законодательство в области ВЭ и т.д.).

Важнейшим начальным этапом создания ГИС «ВИЭ России» является разработка ее структуры. Структурная схема представляет собой систему циклов обработки информации, а также взаимодействия между участниками проекта, удовлетворяющую следующему сценарию:

- постановка конкретной задачи
 1. определение параметров
 2. выбор методики
- отбор данных
 1. поиск
 2. сортировка
- обработка
 1. применение IT-инструментов (прикладные пакеты)
 2. структурирование (промежуточных) результатов:
 - сопоставление;
 - присваивание;
 - агрегирование;
- визуализация
- обратная связь.

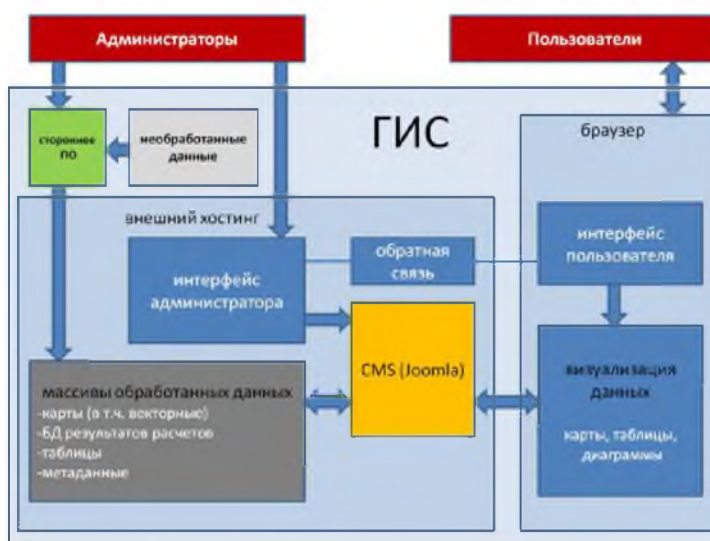


Рисунок 1 - Структурная схема ГИС

На текущем этапе проекта ГИС ВИЭ пользователи взаимодействуют с главным меню сайта проекта (<http://www.gis-vie.ru>) в рамках возможностей CMS. Для углубленной или специфической обработки информации в ГИС

ВИЭ, привлекается дополнительное программное обеспечение (ПО). В качестве такого ПО, могут выступать различные пакеты прикладных программ, в том числе для обработки изображений, их тематической интерпретации и т.д. На данном этапе выполнения структурная схема ГИС реализована в следующем виде (рис. 1).

В приведенной схеме рабочее место пользователя представляется как произвольная, не оборудованная никаким дополнительным программным обеспечением, рабочая станция, подключенная к интернету. Система отображения данных и результатов в реализованной схеме, интегрирована с WEB-интерфейсом и по существу представляет собой инструментал CMS с элементами API Yandex 2.0.

Хранилищем данных служит аппаратно-виртуальный ресурс по типу облачного хранения данных и частично конкретная рабочая станция администраторов.

В качестве инструментов обработки картографической информации используются различные пакеты прикладных программ, такие как MapInfo, ArcGIS, QuantumGIS и прочие. Для углубленной обработки пространственно-привязанных растров (в т.ч. космоснимков) используется специализированное ПО, позволяющее производить – помимо широкого спектра манипуляций с изображением – детектирование некоторых объектов, и тематическую интерпретацию.

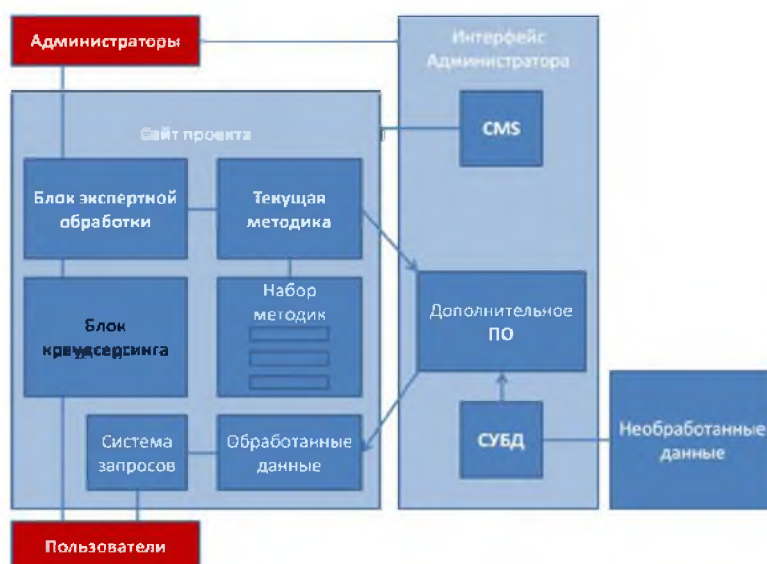


Рисунок 2 – Перспективная структурная схема ГИС

В процессе обработки информации могут возникать ситуации, не позволяющие автоматически интерпретировать некоторые результаты и затрудняющие формализацию процесса, а соответственно требующие экспертного решения. С этой целью в будущем схему планируется расширить блоком принятия экспертных решений и блоком краудсерсинга для выдвижения полезных идей и создания новых способов обработки информации (рис.2).

В перспективе ГИС ВИЭ – это аппаратно-программный комплекс, в котором пользователь не только является потребителем информационного

продукта, но и принимает непосредственное участие в некоторых аспектах его обработки, заменяя машину в «узких» для нее местах, где достаточно одного человеческого суждения вместо долгой и непродуктивной механической работы.

После разработки структуры и определения круга используемых программных продуктов важнейшим этапом создания ГИС является сбор первичной информации, которая должна составить основу тематических и атрибутивных баз данных. Поскольку по некоторым разделам (например, ресурсы солнечной и ветровой энергии; ресурсы биомассы и др.) существует целый ряд разнородных информационных источников, характеризующихся различной степенью полноты, достоверности и адекватности, оправданным является проведение аналитического исследования с целью создания иерархии доступных источников данных и выявления соответствия содержания этих источников задачам создания ГИС.

Рассмотрим кратко проблему получения исходных данных для оценки ресурсов *ветровой и солнечной энергии*. Известен существенный недостаток (с позиций энергетического использования) солнечной энергии – ее нестабильность (суточная, сезонная, погодная) и относительно малая плотность потока. Ветроэнергетический поток является также весьма нестабильным. Располагаемая мощность ветрового потока пропорциональна кубу скорости ветра, что обуславливает чрезвычайно высокую чувствительность производительности ветроэнергетических установок к условиям места их расположения. Такие особенности солнечного излучения и ветра как первичных источников энергии затрудняют создание эффективных энергетических устройств, поскольку обуславливают необходимость сооружения приемников солнечного излучения и ветроколес большой площади, а также создания аккумуляторов энергии. В результате, несмотря на бесплатность самих источников энергии, стоимость солнечных и ветровых установок оказывается значительной, что снижает их конкурентоспособность по отношению к традиционным энергоустановкам, особенно если последние используют дешевое органическое топливо. В этой ситуации надежность исходных данных о располагаемых ресурсах солнечной и ветровой энергии является одним из определяющих факторов энергетической и экономической эффективности разработки и практического использования таких установок. Для России с ее громадной территорией и широким набором климатических зон достоверная оценка потенциала солнечной и ветровой энергии в конкретном географическом районе является крайне важной задачей. Исследования в этом направлении в течение длительного времени основывались в основном на данных наземных метеорологических станций.

Результаты актинометрических наблюдений, получаемых на российских и иностранных метеостанциях, аккумулируются в мировом центре радиационных данных (МЦРД) при главной геофизической обсерватории им. А.Е. Воейкова. Сюда поступают результаты актинометрических наблюдений 500 наземных актинометрических станций

из 30 стран. Данные о составляющих радиационного баланса после обработки и архивации издаются. Открытый доступ к данным предоставляется на сайте МЦРД (<http://wrdc.mgo.rssi.ru/>).

Данные по ветровым параметрам гораздо обширнее и могут быть найдены в различных источниках, в том числе в архивах, опубликованных на интернет-сайтах с различной степенью доступностью (Мировой центр данных ВНИИГМИ-МЦД www.meteo.ru; www.meteocenter.net; сервер «Погода России» www.meteo.infospace.ru; www.rp5.ru; National Climatic Data Center www.ncdc.noaa.gov и др.).

Однако проведенный анализ показывает, что рассмотренные источники метеорологической информации часто не обеспечивают получение адекватных данных для моделирования работы и расчетов эффективности использования установок на ВИЭ, поскольку в метеостанции в принципе не ориентирована на нужды возобновляемой энергетики. В настоящее время число российских метеостанций, ведущих регулярные измерения интенсивности солнечной радиации – менее 130, причем их распределение по территории неравномерно, что не отвечает современным потребностям в оценке ресурсов и не обеспечивает возможности надежного расчета показателей разрабатываемых установок. Нетрудно подсчитать, что при площади территории России 17 млн. км² среднее расстояние между метеостанциями составляет около 500 км, а с учетом неравномерной плотности их размещения среднее расстояние между станциями в азиатской части России достигает 1000 км. В то же время, по результатам исследований ведущего Российского научного центра в области актинометрии – ГГО им. А.И. Воейкова, – данные измерений с приемлемой погрешностью могут экстраполироваться на расстояние не более 130 км от метеостанции. Ясно, что для получения надежных данных о поступлении энергии солнечного излучения для большей части территории страны имеющаяся в настоящее время сеть российских метеостанций явно недостаточна.

Метеорологические данные, с точки зрения ветроэнергетики, обладают рядом несомненных достоинств. Это, во-первых, длительность рядов наблюдений, что является важным для уменьшения статистической ошибки при расчетах. Во-вторых, сеть метеорологических станций, с той или иной степенью покрывает всю территорию России¹. Однако когда специалисты в области ветроэнергетики обратились к анализу результатов измерений скорости ветра на метеостанциях, выяснилось, что оценивать энергетические характеристики ветра по этим данным с необходимой достоверностью и с позиций современной ветроэнергетики мегаваттных мощностей в большинстве случаев невозможно [2]. Выделяются следующие неблагоприятные факторы:

- малая высота флюгерных измерений (для различных метеостанций она варьируется от 5 до 20 метров);
- затенённость флюгера деревьями, домами, возвышенностями и т.п.

¹ К началу XX века в России уже существовала регулярная сеть метеостанций.

Видно, таким образом, что для решения задач оценки ресурсов солнечной и ветровой энергии имеющаяся сеть метеорологических станций (или наличие доступных данных метеонаблюдений) часто недостаточна и не позволяет с высокой достоверностью определять параметры солнечного излучения и ветрового потока в заданной географической точке. Поэтому дополнительными источниками данных по ветровой и солнечной энергии могут служить современные базы данных, полученные на основе спутниковых наблюдений и математического моделирования, например, база данных NASA Surface meteorology and Solar Energy (<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>).

Методология проекта в целом разрабатывалась с участием: DOE National Renewable Energy Laboratory (NREL, США); World Radiation Data Center (WRDC, Санкт-Петербург, Россия); Swiss Federal Institute of Technology in Zurich (the Global Energy Budget Archive (GEBA), Швейцария); Natural Resources Canada (RETScreen, Канада); NOAA Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory (CMDL, США). В настоящее время база данных NASA оперирует массивом результатов спутниковых и наземных измерений за период 01.07.1983 – 30.06.2005. По результатам измерений с использованием различных моделей атмосферы рассчитываются значения месячных сумм солнечной радиации, падающей на различным образом ориентированные поверхности, и другие актинометрические и метеорологические характеристики. Учитываются особенности различных климатических зон земного шара, в том числе характер отражения излучения от земной поверхности (альбедо), состояние облачности, загрязнение атмосферы аэрозолями и т.д. Рассчитанные значения сумм солнечной радиации интерполированы на сетку $1^\circ \times 1^\circ$ по всему земному шару (измерения и расчеты выполнялись для сетки $2,5^\circ \times 2,5^\circ$). Массив данных структурирован по возможным потребителям (фотоэлектрические панели и солнечные коллекторы, солнечные кухни, системы с аккумуляторами энергии и тепла).

Характеристики скорости ветра, приведенные в этой БД, являются результатами расчетов на моделях общей циркуляции атмосферы (программа GEOS-5). Расчеты проводятся для двумерной системы, содержащей 72 слоя по вертикали, которые охватывают тропосферу и стратосферу Земли. Скорость ветра на малых высотах (10, 50, 100 м) получают на основе пересчета по степенным зависимостям скорости ветра от высоты. Показатель степени определялся типом ландшафта территории. Массив данных о характеристиках скорости ветра, так же как и о падающей солнечной радиации, метеорологических параметрах и т.д. охватывает всю территорию Земли и имеет разрешение $1^\circ \times 1^\circ$ по широте и долготе.

Эти массивы информации все более широко используются в области возобновляемой энергетики, поскольку, с одной стороны, они основаны на длительном периоде наблюдений (1983 – 2005 гг.), а с другой стороны, дают возможность обойти проблему недостатка метеорологических станций, их удаленности друг от друга: указанная выше база данных предоставляет широкий набор ветровых характеристик с достаточным пространственным разрешением и доступна через сеть Интернет.

В ГИС «ВИЭ России» фактологической основой баз данных и карт по ветровой и солнечной энергии являются:

- Климатические справочники, в том числе по отдельным годам. В этом случае массивы данных географически привязаны к координатам мест наблюдений (метеорологическим станциям). Номенклатура данных по солнечной энергии содержит доступные данные радиационного баланса; по ветровой энергии — средние значения скоростей ветра и повторяемость скоростей ветра на высоте флюгерных измерений (средние многолетние и среднемесячные данные за отдельные годы); продолжительность затишья.

- База данных NASA SSE (данные для территории России). В этом случае массивы данных обладают географической привязкой с разрешением не ниже 1° по широте и долготы. Номенклатура массивов данных из базы NASA по ресурсам солнечной энергии охватывает среднемесячную и среднегодовую прямую и суммарную солнечную радиацию, поступающую на различным образом ориентированные поверхности (многолетнее осреднение) и производные величины. Номенклатура данных по ресурсам ветровой энергии содержит для каждой точки сетки: среднемесячные и среднегодовые скорости ветра на высотах над поверхностью земли 10, 50 и 100 м; среднегодовые значения повторяемости скорости ветра (для высоты 50 м); среднемесячное направление ветра на высоте 50 м, среднемесячные значения атмосферного давления, относительной влажности воздуха (многолетние средние значения).

В качестве первого этапа работы над ГИС ВИЭ на основе БД NASA SSE и данных метеонаблюдений [3,4] была создана локальная электронная база данных, содержащая климатологическую информацию для различных регионов России [5].

В отличие от разделов ГИС «ВИЭ России» по ветровой и солнечной энергетике, которые уже получили свое реальное воплощение в виде баз данных и картографического материала, для разделов по *малой гидроэнергетике* и биоэнергетике осуществляется формирование массивов данных. Для определения гидроэнергетического потенциала любого водотока необходимы данные об изменениях стоковых характеристик вдоль течения разной степени обеспеченности и данные о русловых характеристиках (уклоны, разрез поперечного сечения русла и долины). В рамках работ по созданию электронной базы данных по водным объектам России для автоматизированной информационной системы государственного водного реестра (АИС ГВР) во ВНИИГМИ-МЦД в 2008 году было произведено занесение на цифровой носитель сведений по водотокам и водоемам. На сегодняшний день база данных основных гидрологических характеристик (ОГХ) содержит информацию по всем гидрологическим постам СССР с начала наблюдений на посту по 1985 год. Однако проблема расчетов стоковых характеристик осложнена тем, что расположение в России гидрологических постов с длительными рядами наблюдений приурочено обычно к средним и крупным рекам, и не в их верховьях. Водосборы же участков рек, которые могут рассматриваться как потенциальные места для

строительства малых ГЭС, составляют менее 2000 кв. км, что затрудняет расчеты основных гидрологических характеристик для малых рек.

Основы использования ГИС при расчетах и моделировании стока были изложены еще в 1996г. в книге V.P.Singh и M. Fiorentino (Национальный гидрологический институт США), которая в дальнейшем ежегодно дополнялась и обновлялась авторами [6]. В 2001г. в Центре исследований водных ресурсов Техасского университета совместно с фирмой ESRI было разработано руководство по использованию программных продуктов линейки ArcGIS для оценок речного стока – «Arc Hydro» [7]. В России важные результаты в разработках методик расчетов гидрологических характеристик при отсутствии данных наблюдений с использованием ГИС-технологий получены В.А.Лобановым (НПО «Гидротехнологии»), Е.В.Орловой и сотрудниками лаборатории цифровой картографии Государственного гидрологического института. Отработана методика создания цифровой модели бассейна реки для автоматического очерчивания водоразделов реки и ее притоков, нахождения площадей и координат центров водосборов гидрологических постов. Все оценки проходят проверку на натуральных и расчетных данных путем сравнения найденных величин с опубликованными ранее данными, полученными традиционными способами [8, 9]. Именно этот подход к определению гидрологических характеристик при расчетах ресурсов малой гидроэнергетики для создания ГИС представляется нам наиболее перспективным.

Если вопросы оценок и расчетов гидрологических данных на неизученных реках могут быть частично или даже в полной мере решены с привлечением методик, основанных на региональных гидрологических ГИС, то для планирования размещения МГЭС, оценок рельефа территории и поиска максимальных уклонов русла водотоков наиболее перспективным является привлечение крупномасштабных топографических карт, обновленных по данным дистанционного зондирования (ДДЗ) Земли (или же непосредственно данные ДДЗ, используемые для изучения рельефа при инженерных изысканиях и проектировании). Данные дистанционного зондирования имеют ряд преимуществ, которые представляются весьма важными, особенно при оценках возможностей сооружения МГЭС в горных районах.

На предварительных стадиях оценки энергетического потенциала малых рек достаточными данными являются:

- распределение расхода реки в течение года с 50% обеспеченностью;
- расход реки в маловодный и многоводные года;
- максимальные паводковые расходы;
- коэффициент вариации годового стока (C_v);
- модули стока;
- площади водосборных бассейнов;
- абсолютные высоты положения истоков рек, устьев и перегибов положения русла.

Перечисленные выше показатели малых рек регионов будут собраны из доступных источников и аккумулированы в виде баз данных. Картографической основой для определения гидрографических характеристик, выделения границ водосборных бассейнов рек, определения значений перепадов высоты русла по течению будут являться среднемасштабные топографические карты регионов/областей (М 1:500000 с возможными уточнениями по картам М 1:200000 и 1:100000). Для принятия решений по проектам малой гидроэнергетики весьма важным является информация о расположении в регионе особо охраняемых природных территорий, где строительство малых ГЭС может оказаться невозможным. Поэтому в блок картографических данных ГИС включены карты ООПТ.

В случае специального запроса пользователя может быть представлена следующая информация: продольный и поперечный разрезы по руслу реки (при наличии данных); распределение расходов по аналогам рек; связь расхода реки и ее уровня.

Для исследования пространственной дифференциации мощности водных потоков по территории регионов в ГИС будет предусмотрена возможность расчета удельной мощности рек с учетом длины водотока. Эти данные являются информационной базой дифференциации рек региона и создания соответствующих карт. Анализ карт позволит выделить малые реки, обладающие наиболее высокой мощностью и более перспективные для создания объектов малой гидроэнергетики.

При формировании перечня источников информации для создания баз данных по ресурсам сырья *для биоэнергетики* предполагалось, что в ГИС в качестве источников сырья будут рассматриваться предприятия лесной, деревообрабатывающей и пищевой промышленности, поскольку в настоящее время разработаны (и применяются) способы использования отходов этих отраслей в целях получения энергоносителей. Кроме того, в качестве источников биомассы как сырья для биоэнергетики в ГИС будут учтены сельское хозяйство (отходы животноводства и растениеводства) и органические отходы населенных пунктов. В настоящее время проведены расчеты валового, технического и экономического энергетического потенциала органических отходов населенных пунктов (ТБО и ОСВ) для всех регионов России, а также энергетический потенциал отходов сельскохозяйственного производства. Расчеты проведены по методике, приведенной в [10], однако расчеты были актуализированы с учетом статистических данных развития сельскохозяйственного производства за 2010-2011 гг. и результатов всероссийской переписи населения 2010 г. Полученные массивы данных представлены в работе [11] и на сайте проекта.

Помимо перечисленных выше баз данных и источников информации для них, в ГИС включены массивы атрибутивных данных, в частности по инфраструктуре возобновляемой энергетики России. Номенклатура массивов данных по объектам возобновляемой энергетики России включает в себя действующие, строящиеся и планируемые к введению объекты по всем отраслям возобновляемой энергетики (солнечная, ветровая, геотермальная,

приливная энергетика и использование биомассы для получения энергии), показатели их работы (установленная мощность, статистические данные о выработке энергии, иные характеристики). В составе ГИС будут представлены данные о научных и проектных организациях, высших учебных заведениях и иных организациях, специализирующихся в области возобновляемой энергетике; фирмам–производителям и поставщикам оборудования для возобновляемой энергетике, консалтинговым фирмам и т.д. Начальные этапы проекта были поддержаны министерством образования и науки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России». Представленная работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 13-08-01186).

Список литературы

1. Гридасов М.В., Киселева С.В., Нефедова Л.В., Попель О.С., Фрид С.Е. Разработка геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии России»: постановка задачи и выбор методов // Теплоэнергетика, 2011, № 11, С. 924-931.
2. Игнатъев С.Г., Киселева С.В. Развитие методов оценки ветроэнергетического потенциала и расчета годовой производительности ветроустановок//Альтернативная энергетика и экология. 2010, № 10.
3. <http://www.retscreen.net>
4. <http://wrdc.mgo.rssi.ru>
5. Попель О.С., Фрид С.Е., Киселева С.В., Коломиец Ю.Г., Лисицкая Н.В. Климатические данные для возобновляемой энергетике России (База климатических данных): Учебное пособие. М.: Изд-во МФТИ. 2010, 56 с
6. Geographical Information Systems in Hydrology edited by Vijay P. Singh & M. Fiorentino, Kluwer Academic Publishers, 2010
7. GIS in Water Resources//University of Texas at Austin//Fall 2001
8. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений//Санкт-Петербург.: ГУ ГГИ. 2009. 193 с.
9. Орлова Е.В. Определение географических и гидрологических характеристик бассейна Печоры с использованием ГИС-технологии // Метеорология и гидрология. 2008. №4. С. 81-88.
10. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям). Под редакцией Безруких П.П., М. «ИАЦ Энергия», 2007, 270 стр.
11. Андреевко Т.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю., Шакун В.П. К оценке энергетического потенциала органических отходов регионов России // Альтернативная энергетика и экология. 2012. № 10. С. 104-111.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА В БАЛЬНЕОЛОГИИ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ МЕДИЦИНЕ

Компанцев Д.В.¹, Хатко З.Н.²

*¹Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Пятигорский государственный научно-исследовательский институт
курортологии Федерального медико-биологического агентства»
(Пятигорск, Россия)*

*²Майкопский государственный технологический университет
(Майкоп, Россия)
E-mail: znkhatko@mail.ru*

В последние годы все больше внимание специалистов привлекают вопросы комплексного применения природных лечебных факторов для оптимизации физиотерапевтических воздействий и разработке на их основе новых высокоэффективных технологий, направленных на коррекцию протекающих в организме процессов [1].

Совместное использование природных минеральных вод и биологически активных веществ с установленным физиологическим действием (фармацевтических субстанций) направлено на решение следующих задач:

- усиление биоэффектов минеральной воды, основанное на синергичности их действия с БАВ;
- снижение побочных эффектов от применения фармпрепаратов [2].

Общеизвестные недостатки медикаментозной терапии, а также недостаточная эффективность монотерапии физическими факторами предопределили необходимость поиска новых высокоэффективных методов комплексного применения физиотерапевтических процедур, среди которых наиболее перспективным является изучение методов сочетанного воздействия с использованием факторов, обладающих синергичным действием и влияющих на различные патогенетические звенья заболевания.

В последние десятилетия стремительно развивается область молекулярной биологии и медицины, изучающая возможность широкого использования в качестве фармакологических средств различных наноматериалов. К наиболее изученным, в биологическом аспекте, наноматериалам следует отнести: серебро, золото и селен. Анализ литературных данных об исследовании физиологических эффектов от применения указанных наноматериалов в опытах на лабораторных животных показал перспективность их широкого использования в клинической практике.

Нанотехнологии – новое бурно развивающееся направление в науке и технологиях. Переход от «микро» к «нано» представляет собой не количественный, а качественный переход от манипуляции веществом к

манипуляции отдельными атомами и молекулами. Благодаря своим размерам наночастицы приобретают новые физико-химические свойства и функции, существенно отличающиеся от тех, которыми обладают составляющие их молекулы и атомы веществ в частицах большего размера. Особое внимание в последнее время уделяется разработке и тестированию биологически активных препаратов, содержащих наночастицы биогенных металлов, что открывает новые возможности применения наноматериалов в биологии и медицине [3, 4].

В США в 2005 г. на разных стадиях создания находилось 20 препаратов, включающих наноматериалы, для лечения онкологических, инфекционных, сосудистых заболеваний и диагностики [5].

Наносеребро - наноматериал, уже сегодня находящий применение в различных коммерческих продуктах.

Повышенный интерес к серебру возник вновь в связи с выявленным его действием в организме как микроэлемент, необходимого для нормального функционирования органов и систем, иммунокорректирующими, а также мощными антибактериальными и противовирусными свойствами.

Отмечено благотворное действие коллоидных ионов серебра на заживление трофических язв, развивающихся при нарушении кровообращения нижних конечностей. Ни в одном случае не было отмечено побочных эффектов лечения серебром [6].

В последние годы появились сведения о том, что серебро является мощным иммуномодулятором, сравнимым со стероидными гормонами. Установлено, что в зависимости от дозы, серебро может как стимулировать, так и подавлять фагоцитоз. Под влиянием серебра повышается количество иммуноглобулинов классов А, М, G, увеличивается процентное содержание абсолютного количества Т-лимфоцитов.

В малых дозах оно оказывает омолаживающее действие на кровь и благотворно влияет на протекание физиологических процессов в организме. При этом отмечается стимуляция кроветворных органов, увеличивается число лимфоцитов и моноцитов, эритроцитов и процент гемоглобина, а также замедляется СОЭ [7].

Установлено, что растворы серебра являются самым эффективным средством при непосредственном соприкосновении с поверхностями, гноящимися и воспалёнными вследствие бактериального заражения.

Результаты применения серебряной воды свидетельствуют об эффективности её действия при желудочно-кишечных заболеваниях, холециститах, инфекционных гепатитах, холангитах, панкреатитах, дуоденитах, любых кишечных инфекциях без опасения погубить собственную полезную микрофлору и вызвать дисбактериоз. С успехом лечится язвенная болезнь желудка и двенадцати перстной кишки, так как уничтожаются бактерии хеликобактер – пилори и кампилобактер – пилори, постоянно живущие на слизистых оболочках желудка и кишечника и активно поддерживающие эрозивные и язвенные процессы в ЖКТ.

Исследованиями А.А. Масленко показано, что длительное употребление человеком питьевой воды, содержащей 50 мкг/л серебра (уровень ПДК), не вызывает отклонений от нормы функции органов пищеварения. Не было обнаружено в сыворотке крови изменений активности ферментов, характеризующих функцию печени. Не выявлено также патологических сдвигов в состоянии других органов и систем человека и при употреблении в течение 15 суток воды, обработанной серебром в дозе 100 мкг/л, то есть в концентрациях, в два раза превышающих допустимые [8].

Типичные наночастицы серебра имеют размеры 25 нм. Они имеют чрезвычайно большую удельную площадь поверхности, что увеличивает область контакта серебра с бактериями или вирусами, значительно улучшая его бактерицидные действия. Таким образом, применение серебра в виде наночастиц позволяет в сотни раз снизить концентрацию серебра с сохранением всех бактерицидных свойств. Бактерицидная добавка на основе наночастиц серебра является одним из последних достижений отечественной науки в области нанобиотехнологий.

Следует отметить, что при внутри желудочном введении НЧ серебра в дозах 0,1 и 1 мг/кг массы тела в сутки не выявлено негативного влияния на динамику массы тела животных, относительные массы внутренних органов, активность ферментов I и II фазы детоксикации ксенобиотиков, уровень небелковых тиолов печени, показатели ПОЛ и системы антиоксидантной защиты, биохимические показатели азотистого обмена, гематологические показатели (содержание эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов), показатели апоптоза клеток печени [8, 9].

ЗАО «Вектор Бест» разработаны препараты нового поколения содержащие наночастицы серебра, «Арговит» и «Аргогель», имеющие ряд важных преимуществ по сравнению с другими серебросодержащими соединениями, такими как растворы нитратов серебра, коллоидные взвеси протеинатов серебра, металл-белковых композиции, которые применяются в медицинской практике в качестве неспецифических антимикробных средств наружного применения. В частности, использование водных растворов нитрата и протеинов серебра ограничено тем, что они оказывают цитотоксическим действие не только на микробные тела, но и вызывают аналогичные эффекты у клеток макроорганизма. Одной из причин цитотоксического эффекта является высокая реакционная способность таких препаратов, которая связана с быстрым взаимодействием с биологическими молекулами всех атомов серебра, находящихся в ионизированном химически активном состоянии. В отличие от них металл-полимерные композиции практически дозировано генерируют ионы серебра. Такой эффект возникает из-за изменения физико-химических свойств кластеров нуль-валентного металлического серебра за счет снижения потенциала ионизации и увеличения площади соприкосновения серебра с бактериальной флорой.

Применение нанопрепаратов серебра на этапе санации гнойных ран и при лечении остеомиелита позволяет в кратчайшие сроки уменьшить проявления воспалительного процесса [10].

Исследованы средства местного применения на основе природных сорбционно- и ионообменно- активных минералов, модифицированных ультрадисперсным серебром – Арголит – порошкообразный препарат и Гидропент – средство в мазевой форме. Цель внедрения в медицинскую практику данных средств – улучшение результатов подавления раневой инфекции за счет прямых антибактериальных, сорбционных свойств, способствующих ускорению процессов очищения ран и активизации регенераторных раневых процессов - купированию раневой инфекции и заживлению раны [11].

На модели резистентного туберкулеза у белых мышей изучена противотуберкулезная активность нанокомпозита на основе наночастиц серебра и изониазида. На основании индекса выживаемости, биометрических данных, бактериологических и патоморфологических показателей показана возможность преодоления резистентности возбудителя туберкулеза нанокомпозитом изониазида и наночастиц серебра. Экспериментально установленная эффективная терапевтическая доза для белой мыши – 25 мкг/кг, что в пересчете на человека составляет 2 мкг/кг. Проведенное исследование обосновывает перспективу использования наночастиц серебра в лечении лекарственно-устойчивого туберкулеза [12].

Таким образом, в свете современных представлений, серебро рассматривается как микроэлемент, необходимый для нормального функционирования внутренних органов и систем, а также как мощное средство, повышающее иммунитет и активно воздействующее на болезнетворные бактерии и вирусы.

Резюмируя выше приведенные материалы, можно отметить, что подход, основанный на придании специфических свойств бальнеосредствам путем модификации их наночастицами биогенных металлов, является перспективным. С использованием такого подхода могут быть получены профилактические и лечебные комплексные бальнеосредства с повышенной эффективностью при метаболических нарушениях различного генеза.

Поэтому разработка модифицированных бальнеофакторов нового поколения является актуальным вопросом современной курортологии.

Список литературы

1. Мамонова М.В. Сочетанное влияние минеральной воды и лекарственных растений на секреторную активность желудка и метаболическую функцию печени лабораторных животных: автореф. дис.... к.б.н. Томск, 2004.- 25 с.

2. Полушина Н.Д., Кожевников С.А., Гормональные эффекты сочетанного применения минеральных вод с витаминами и фармпрепаратами. Электронная библиотека ИТЦ Ставропольского края.

Режимдоступа: <http://www.stavintech.ru/library/menu/biotechnology/polushina.html> (датаобращения 11.03.13).

3. Дудакова, Ю.С. Влияние наноразмерных частиц на обменные процессы в почках / Ю.С. Дудакова, И.А. Клименко, В.Б. Бородулин // Материалы 69 научно-практической конференции студентов и молодых ученых СГМУ: «Молодые ученые – здравоохранению региона». Саратов. 2008. - С. 157-159.

4. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию. М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2007. С.134.

5. Наноматериалы. Регуляторные вопросы/ В.И.Масычева, Е.Д. Даниленко, А.О. Белкина и др. // Ремедиум. – 2008 - №9 – С. 12-16.

6. Мосин О. Нанотехнология и наночастицы серебра: воздействие на живые организмы // NanoWeek. Электрон.журн. 2008, No. 26.

Режим доступа: <http://www.nanonewsnet.ru/blog/nikst/nanotekhnologiya-nanochastitsy-serebra-vozdeistvie-na-zhivye-organizmy> (дата обращения 08.03.13).

7. Шевченко, И.М. Разработка технологии комплексного антимикробного препарата на основе наночастиц серебра для защиты поверхности варено-копченых колбасных изделий: дис... к.т.н. / И.М, Шевченко. – Ставрополь, 2011. – 123с.

8. Масленко, А. А. Влияние серебряной воды и воды, консервированной серебром, на органы пищеварения / А. А. Масленко // Врачебное дело. - 1976. - №5. - С. 88-90.

9. Гмошинский И.В., Смирнова В.В., Хотимченко С.А. Современное состояние проблемы оценки безопасности наноматериалов // Российские нанотехнологии. Т. 5, № 9-10.-2010. - С. 6-10.

10. Смирнова, В.В. Токсиколого-гигиеническая оценка некоторых наноматериалов, используемых в упаковке пищевых продуктов: автореф. дис... к.м.н. / В.В. Смирнова. – Москва, 2012. – 23с.

11. Лечение больных с остеомиелитами и гнойными ранами с использованием микрохирургической техники и нанопрепаратов серебра/ А.А. Ангельский, Т.В. Лаврикова, П.П. Родионов и др. //Нанотехнологии и наноматериалы для биологии и медицины: сборник материалов научно-практической конференции с международным участием: в 2 ч. – 11–12 октября 2007 г.– Новосибирск, 2007. – Ч. 2. – С. 7-12.

12. Результаты местного применения арголита и гидропента-серебросодержащих препаратов на естественной минеральной основе/ Е.М. Блажитко, Н.В. Бугайченко, Г.Н. Шорина и др. //Нанотехнологии и наноматериалы для биологии и медицины: сборник материалов научно-практической конференции с международным участием: в 2 ч. – 11–12 октября 2007 г.– Новосибирск, 2007. – Ч. 2. – С. 39-49.

РАЗВИТИЕ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВЕРХОВЬЯХ Р. МУТНЫЙ ТЕПЛЯК В 2012 ГОДУ

Кориневич Л.А.

Управление по недропользованию по Республике Адыгея

(Майкоп, Россия)

E-mail: adygea@rosnedra.com

В декабре 2011 года было отмечено резкое ухудшение качества питьевой воды по русловым водозаборам реки Белой в посёлках Гузерипль и Каменноостровский Майкопского района Республики Адыгея. Вода в реке представляла собой глинистый раствор с «радужной пленкой» на поверхности.

В январе 2012 года ситуация не улучшилась и среди населения стали распространяться слухи о радиоактивной природе загрязнения воды и немотивированный страх, связанный с таким загрязнением основной водной артерии предгорья. Весь 2012 год и первый квартал 2013 года река Белая оставалась «черной», что вызывало серьезные беспокойства в связи привлечением инвестиций в туристическую отрасль республики.

В конце декабря 2011 года и начале января 2012 годов горах и предгорьях Адыгеи прошли обильные снегопады и обследование территории на предмет поиска источника загрязнения реки происходило в очень сложных условиях. Адыгейским поисково-спасательным отрядом МЧС РФ пешими маршрутами обследовано устье р. Армянка и верховье р. Мутный Тепляк и установлено место схода селя.

Район схода селевого потока находится на юго-западном склоне г. Гузерипль и приурочен к долине безымянного левого притока р. Мутный Тепляк, характеризующейся крутосклонным расчлененным рельефом со средним уклоном тальвега 0,26. Перепад высотных отметок составляет более 520 м (отметки в верхней части составляют 1800-1840 м, в районе впадения в р. Мутный Тепляк – 1280 м). Водосборная площадь бассейна ручья - 1,2 км².

По запросу Управления по недропользованию по Республике Адыгея Южным региональным центром государственного мониторинга (г. Ессентуки) в январе 2012 года произведен сбор и обобщение информации о геологическом строении территории, включающей долину р. Мутный Тепляк и данных Гидрогеодеформационного мониторинга. Таким образом, было установлено, что долина р. Мутный Тепляк находится в ослабленной тектоническими процессами зоне, сложена нижнесреднеюрскими глинистыми отложениями и источники радиоактивного загрязнения воды в этом районе отсутствуют. По данным ГНЦ ФГУГП «Южморгеология» 19 декабря 2011 года, в районе плато Фишт зафиксировано сейсмическое событие магнитудой 3,183, глубиной 37,66 км.

В июне 2012 года произведен облет верховий р. Мутный Тепляк на вертолете группой с участием представителей органов исполнительной

власти Республики Адыгея, администрации Майкопского района, Главного управления МЧС РФ по Республике Адыгея и геологов Южного регионального центра государственного мониторинга Л.И. Синичкиной и С.П. Жуковой.

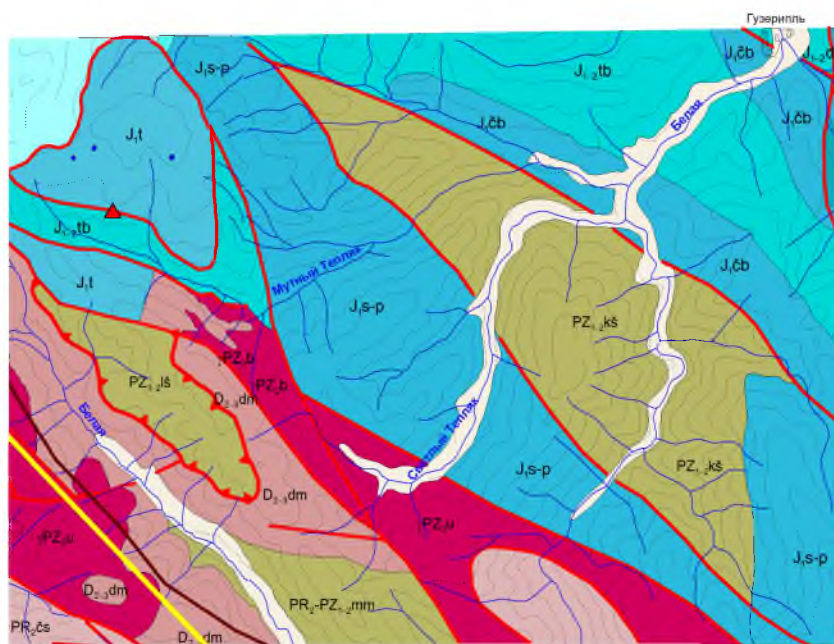
По результатам облета 09.06.2012 года геологами Южного регионального центра государственного мониторинга (ЮРЦГМСН) составлено Заключение [1], основные выводы которого приведу.

В тектоническом плане участок расположен в Архыз-Гузерицкой структурно-тектонической зоне, испытывающей большие тектонические деформации, зафиксированные в виде системы тектонических разломов, выраженные в рельефе узкими приразломными понижениями в интенсивно перемятых породах нижней-средней юры (J_{1-2}).

Кроме того, в верховьях левого притока зафиксирован тектонический разлом, проходящий по контакту Тоарского яруса ($J_1 t$) и Тубинской свиты ($J_{1-2} tb.$) (рис.1).

Геологическая карта в верхнем течении р.Белой

Масштаб 1 : 100 000



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

I Стратиграфия	II Другие обозначения
Нижний-средний палеозой	— Тектонические нарушения
 PZ _{1s} Кишинская толща Амфиболовые и слюдяные микрогнейсы и микро-лапцы, порфиroidы, амфиболиты, кварцеводные песчаники.	— Линнаменты, выделенные на основе данных ДЗЗ (по данным ГИЦ ФГУП "Южморгеология")
Интрузивные образования верхнего палеозоя	▲ Район обрушения пород
 PZ _{1u} Улукамский интрузивный комплекс Граниты и гранодиориты	
Нижний и средний отделы юрской системы	
 J ₁₋₂ Тоар-аалеский ярус Тубинская свита Аргиллиты, алевролиты, линзы известняков, песчаников	
 J ₁₋₂ cb Чубинская свита Аргиллиты, алевролиты и песчаники	
 J ₁₋₂ p Синемюрский и плинсбахский ярусы Отложения перазделенные.	

Рис. 1. Геологическая карта в верхнем течении р. Белой

Геологическое строение. Породы *Тоарского яруса* ($J_1 t$) представлены литифицированными аргиллитами, алевролитами, песчаниками, конгломератами и известняками. Породы интенсивно дислоцированы. Глинисто-сланцевый состав комплекса и интенсивная тектоническая раздробленность способствует формированию карстовых пустот, образованных в результате химического растворения соединений в породах.

Тубинская свита ($J_{1-2} tb$) представлена аргиллитами (80%), как правило, алевролитистыми с частыми прослойками алевролитов (15%), глинистых сидеритов (5%), единичными пластами песчаников. Мощность отложений – более 700 м.

Темно-серые аргиллиты Тубинской свиты характеризуются полосчатой и микрослоистой текстурой. Особенностью состава толщи является обогащенность органикой, которая образует микропрослойки (содержание *Сорг* достигает 3%). Высокое содержание органики придает увлажненным грунтам тиксотропные свойства, которые могут привести к их внезапному текучему состоянию при динамическом воздействии (сейсмические толчки, обрушение пород и др.). Окремнелые аргиллиты, глинистые сланцы и прослои песчаников имеют высокую степень литификации, что определяет их значительную прочность. Породы не размокают в воде, однако значительное содержание органики и пирита, быстро окисляющихся на поверхности, приводят к их интенсивному расслаиванию.

Избыточное увлажнение пород *Тоарского яруса* и *Тубинской свиты* в верховьях долины р.Белой при интенсивной инфильтрации выпадающих осадков и поверхностных вод способствует разуплотнению пород, потере устойчивости склонов (рис. 2).



Рис. 2. Стенка срыва обвала с намеченными трещинами откола в коренном склоне (09.06.2012г. ЮРЦГМСН)

Эти процессы играют определяющую роль в накоплении обломочного материала при формировании селей. В периоды выпадения интенсивных осадков в руслелевого притока за короткие промежутки времени образуются мощные водотоки, что в дальнейшем приводит к прохождению здесь селевых потоков.

Предполагаемые ориентировочные объемы селевых масс катастрофического селевого потока декабря 2012 года предварительно оцениваются более 1 млн. м³.

Скорость схода селевого потока была весьма значительна, отмечаются мощные заплески грязекаменного потока на бортах долины в углах поворота (рис.3).



Рис. 3. Заплески селевого потока в бортах долины левого притока р. Мутный Тепляк (09.06.2012 г. ЮРЦГМСН)

Оставшийся рыхлообломочный материал в верховьях ручья оценивается ориентировочно в 0,5 млн. м³ (рис.4), которые представлен водонасыщенным рыхлообломочным материалом с большим объемом тонких глинистых и крупнообломочных фракций, с включением крупных глыб светлых песчаников. Эти отложения интенсивно размываются поверхностным водотоком, который представляет в собой грязекаменный поток, несущий мелкообломочный материал.

На сход селевого потока в декабре 2011 года весьма вероятно оказало воздействие землетрясение магнитудой 3,183 балла, эпицентр которого зафиксирован в районе г. Фишт. Линеаментный анализ космоснимков, полученных в декабре, показал наличие устойчивого линеамента северо-западного простирания, проходящего через эпицентр события.



Рис. 4. Отложения селевого потока в верховьях левого притока р. Мутный Тепляк (09.06.2012 г. ЮРЦГМСН)

Отложения селевых масс левого притока р. Мутный Тепляк отмечены на протяжении всего русла ручья (около 2000 м), до самого устья (рис. 5).



Рис. 5. Вынос селевых отложений в нижнем течении левого притока р. Мутный Тепляк

Геологическая природа развития опасного природного явления была установлена, но требовался прогноз его развития, в том числе и катастрофического.

По поручению органов исполнительной власти Республики Адыгея группой сотрудников института ОАО «Севкавгипроводхоз» (г.Пятигорск) (Э.В.Запорожченко, Н.С.Каменев, В.С.Каменев, Д.Ф.Фатыхов) совместно с представителями Адыгейского поисково-спасательного отряда по МЧС РФ (С.А. Крупин, спасатель I класса) и Адыгейского Республиканского поисково-спасательного отряда (Е.Ю. Григоренко, спасатель II класса) в период 3-10 сентября 2012 года проведено обследование бассейна р.Мутный Тепляк, р.Армянка и р. Белой (от впадения в последнюю р. Армянка до г. Майкопа).

По результатам обследования была составлена Докладная записка [2]. Ниже приводятся в кратком изложении основные результаты этого обследования.

1. Во второй половине декабря 2011 года (точная дата не устанавливается, скорее всего – в последней декаде месяца) в верховом цирке 2 левого притока р. Мутный Тепляк со склонов южной и западной экспозиций произошло практически единовременное смещение по оползневому сценарию крупного массива пород глинистых сланцев тоарского яруса юрской системы и их дериватов, полностью перекрывших долину притока. До этого события средняя и верхняя часть долины (как и соседняя – 1 левого притока) представляла собой поля сплошного развития оползней различных генераций, вплоть до современных, характеризующихся, однако, мощностями ≤ 10 м; в западинах оползневых бугров и гряд повсеместно были распространены небольшие озера, а сползшие массивы насыщены грунтовыми водами.

2. Перекрытие долины оползневыми массами привело к формированию эфемерных водоёмов в верхнем бьефе, питаемых стоком командующих склонов. Поскольку оползневой массив изначально отличался высоким влагосодержанием и, в своей поверхностной части, взрыхленным сложением, озёрные новообразования стали быстро прорываться, давая начало (вовлекая водонасыщенные породные массы) процессам селевого характера (грязекаменным потокам).

3. Материал таких потоков, начиная с конца 2011 года, отлагался по руслу и нижним частям склонов притока до впадения его в р. Мутный Тепляк и далее по последнему на протяжении ~ 2 км, перемываясь речными поверхностными водами.

4. С конца декабря 2011 года по начало сентября 2012 года произошло по крайней мере два крупных селевых выброса с максимальным расходом до $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ в устье несущего селевого материала притока р.Мутный Тепляк.

5. Состав грязевой составляющей вторично перемываемых селевых отложений, основой которых являются легко дезинтегрирующиеся в мелкую фракцию глинистые сланцы (и аргиллиты) определяет «устойчивость» и долгоживучесть глинистой взвеси в речной воде по тракту: 2 левый приток

р. Мутный Тепляк – р. Мутный Тепляк – р. Армянка – р. Белая до г. Майкопа и далее.

6. На начало сентября 2012 года в верховье 2 левого притока р. Мутный Тепляк лежит ~ 1,5-2 млн. м³ оползших масс, и не менее 500 тыс. м³ вторичных отложений в русле этого притока и русле р. Мутный Тепляк.

7. Оползневые процессы после пика их активности продолжали развиваться и поныне происходят на склонах выше стенок отрыва основного контура деформаций конца 2011 года, но в существенно меньших масштабах. Тем не менее, фиксируемые разрывы дневной поверхности (на 06.09.2012 г.), свидетельствуют о возможности в будущем пополнения оползня 2011 года объёмом аналогичных пород (до 500 тыс. м³).

8. Разжиженные оползневые накопления ранних генераций по руслу 2 левого притока р. Мутный Тепляк приходят в движение в режиме пульсирующего грязекаменного потока. Условия для такого режима, в частности заторы, возникают при входе в скальный каньон, расположенный в 500-700 м от устья притока (возникновение движения по селевому типу связано и с выпадением атмосферных осадков); при продолжительных отрицательных температурах, как это имело место с конца января по начало марта 2012 года, процесс переноса материала вниз прекращается с соответствующим кратковременным осветлением речной воды.

Вышесказанное приводит к следующим выводам:

– Мощное проявление оползневых деформаций в верховьях 2 левого притока р. Мутный Тепляк в декабре 2011 года было подготовлено сформировавшимися условиями естественного фона и представляет собой закономерный природный процесс (стихийного характера).

– Возможно, что триггерной (непосредственной, «толчковой») причиной нарушений устойчивости склонов конца декабря 2011 года было зафиксированное 15.09.2012 г. «в районе г. Фишт» магнитудой в 3,2 балла землетрясение (обычно после крупных катаклизмов, связанных с гравитационными смещениями, прежде всего обращаются к поискам сведений о ближайших сейсмических событиях), но этот трудно доказуемый фактор мог лишь приблизить время разрядки напряжений и возникновение подготовленного предыдущей инженерно-геологической историей рассматриваемого события.

– Состояние (разжиженность) оползневого тела, перекрытие им долины в условиях «тёплых» дней начала зимы 2011-2012 годов, значительные уклоны русла транспортировки привели к возникновению и развитию последующего (за оползевым) процесса – селевого, продолжающегося в пульсирующем режиме по настоящее время (водная составляющая – поверхностные, грунтовые, родниковые воды и атмосферные осадки).

– Состав размываемой мелкозернистой составляющей селевых отложений 2011-2012 годов (исходная основа – глинистые сланцы) приводит к переходу во взвесь тонкой и устойчивой к осаждению глинистой фракции, способной удерживаться в водном потоке на длительных расстояниях, приводя эти потоки в непригодное состояние для прямого (или через

существующую систему отстойников) использования в системе питьевого водоснабжения по органолептическим характеристикам.

– Осаждающиеся взвеси коагулируют раздельнозернистые хорошо проницаемые аллювиальные отложения русел и пойм, что следует учитывать при проектировании скважинных водозаборов.

Прогнозы, сделанные сотрудниками ОАО «Севкавгипроводхоз» состояли в следующем:

1. Состояние речных вод р. Белой после стихийных событий конца 2011-2012 гг. в верховьях 2 левого притока р. Мутный Тепляк, в силу состава и объёма взвешенных и выпадающих в осадок наносов (коагулирующих отложения русла и пойм) не позволит в ближайшие годы ориентироваться на использование вод реки для целей водоснабжения. В очаге зарождения селевых режимов продолжается посткатастрофическое пополнение твёрдой составляющей для последующих потоков. Точный временной прогноз на нормализацию этой ситуации дать затруднительно. Экспертно неблагоприятное положение с органолептическими показателями в р. Белой ниже впадения в неё р. Армянки может затянуться на годы ...

2. В верховьях 2 левого притока р. Мутный Тепляк отсутствуют условия возникновения водоёма с объёмом, способным при прорыве привести к катастрофической ситуации на берегах р. Белой (с. Гузерпиль и ниже) – возможные выбросы селевых отложений в р. Мутный Тепляк не смогут поднять уровень р. Белой выше обычных паводковых (~ 1 м). Второго «Крымска» не ожидается.

3. Предпосылки геологического характера на содержание в речной взвеси опасных для здоровья элементов, превышающих предельно допустимые концентрации (в т.ч. и по радиационным показателям) не просматривается. «Радужная плёнка» на поверхности воды, принимаемая местным населением за «нефтяные разводы», создаётся, видимо, тонкодисперсными частицами минералов слюдяной группы, содержащихся в размываемой материнской породе селевых отложений – глинистых сланцах и аргиллитах.

В настоящем сообщении приведены две взаимодополняемые позиции различных специалистов. Но вопросы остались. Вопросы о том, как долго вода в реке Белой будет мутной и возможность повторения этого явления, остались без ответа. Также требует объяснения и изучения вопрос, почему при описанных геологических условиях, в долине р. Мутный Тепляк оказалось огромное количество гидрогенезированного глинистого материала.

И в завершении хочу отметить, что жители с. Хамышки Майкопского района вспоминают о том, что в конце сороковых годов прошлого столетия на поверхности воды реки Белой отмечались нефтяные пленки. «Радужная пленка», отмечаемая на воде в 2012 году, позволяет предположить, что подобное по масштабу явление в верховьях реки Мутный Тепляк (недаром ручей именуется «Мутный») происходило более 60 лет назад. При этом жители не свидетельствуют о длительности этого процесса.

Список литературы

1. *Синичкина Л.И.* Заключение по результатам обследования района схода катастрофического селевого потока в районе р. Мутный Тепляк 09.06.2012 г., Южный региональный центр государственного мониторинга, г. Ессентуки.

2. *Запорожченко Э.В.* Докладная записка по результатам обследования р. Мутный Тепляк от 11.09.2012 г., ОАО «Севкавгипроводхоз», г. Пятигорск.

ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ НЕКОТОРОГО КЛАССА АЛГЕБРАИЧЕСКИХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Куижева С.К., Паланджянц Л.Ж.

*Майкопский государственный технологический университет
(Майкоп, Россия)*

E-mail: s.kuigeva@yandex.ru, levonmgtu@rambler.ru

Рассмотрим алгебраическое дифференциальное уравнение

$$(1, u, u^2, \dots, u^n) A(u, u', u'', \dots, u^{(n)})^T + c = 0, \quad (1)$$

где $A = (a_{ij})$ – постоянная матрица $(n+1)$ -го порядка, $i, j = \overline{1, n+1}$, $u = u(x) \in C^\infty(R)$, $x \in R$; T – транспонирование; c – постоянная.

В работе [1] рассматривалось понятие характеристического уравнения для некоторого класса алгебраических дифференциальных уравнений. Было предъявлено преобразование, с помощью которого можно вычислить характеристическое уравнение для некоторого класса алгебраических дифференциальных уравнений. Был приведен пример уравнения Кортевега – де Фриза – Бюргерса, для которого характеристический многочлен вычислялся в явном виде как многочлен четвертой степени относительно одного из параметров, входящих в преобразование. Тем самым был получен класс несингулярных точных решений.

В данной статье понятие характеристического уравнения обобщается на понятие характеристической системы уравнений для алгебраического дифференциального уравнения типа (1). Приводятся примеры уравнения Бенджамина-Бона-Махони и уравнения пограничного слоя, решение которых предлагается с помощью построения характеристической системы уравнений.

Подвергнем уравнение (1) преобразованию:

$$u(x) = \sum_{s=0}^k m_s y^s, \quad (2)$$

где $m_s, s = \overline{0, k}$ – неизвестные параметры;

$$y' = \sum_{r=0}^l p_r y^r, \quad (3)$$

где $p_r, r = \overline{0, l}$ – неизвестные параметры, $y = y(x)$ – гладкая функция переменной $x \in R$.

Преобразования (2) и (3) приводят уравнение (1) к многочлену по переменной y с нулевыми коэффициентами, то есть имеет место алгебраическая система уравнений относительно постоянных параметров $m_s, s = \overline{0, n}$, $p_r, r = \overline{0, l}$, которую естественно назвать **характеристической системой уравнений** для исходного уравнения (1).

Вычислим характеристическую систему уравнения (1).

Лемма 1. Имеет место равенство:

$$u^i = \sum_{s \geq 0} \frac{i!}{l_0! l_1! \dots l_k!} m_0^{l_0} m_1^{l_1} \dots m_k^{l_k} y^{l_1 + l_2 + \dots + l_k}, \quad |l| = \sum_{s=0}^k l_s. \quad (4)$$

Доказательство. Введем обозначение $m_s y^s = a_s$. Тогда $u = \sum_{s=0}^k a_s$.

Воспользуемся полиномиальной формулой:

$$(a_0 + a_1 + \dots + a_m)^n = \sum_{s \geq 0} \frac{n!}{k_0! k_1! \dots k_m!} \cdot a_0^{k_0} a_1^{k_1} \dots a_m^{k_m}, \quad |k| = \sum_{s=0}^m k_s.$$

В наших обозначениях индексов полиномиальная формула примет вид:

$$(a_0 + a_1 + \dots + a_k)^i = \sum_{s \geq 0} \frac{i!}{l_0! l_1! \dots l_k!} \cdot a_0^{l_0} a_1^{l_1} \dots a_k^{l_k}, \quad |l| = \sum_{s=0}^k l_s.$$

Кроме того, $a_0^{l_0} a_1^{l_1} \dots a_k^{l_k} = m_0^{l_0} m_1^{l_1} \dots m_k^{l_k} y^{l_1 + l_2 + \dots + l_k}$, откуда следует равенство (4).

Лемма 1 доказана.

Лемма 2. Имеет место равенство:

$$u^{(j)} = \sum_{q_j=0}^{k+jl} a_{q_j} y^{q_j}, \quad (5)$$

где $a_{q_j} = \sum_{q_{j-1}, r=0}^{q_{j-1}+r=q_j} q_{j-1} a_{q_{j-1}} p_r$, \dots , $a_{q_2} = \sum_{q_1, r=0}^{q_1+r=q_2} q_1 a_{q_1} p_r$, $a_{q_1} = \sum_{s, r=0}^{s+r=q_1} s a_s p_r$.

Доказательство проведем индукцией по j .

Пусть $j = 1$. Тогда имеет место равенство

$$u' = \left(\sum_{s=0}^k s m_s y^{s-1} \right) \cdot \left(\sum_{r=0}^l p_r y^r \right). \quad (6)$$

Воспользуемся формулой перемножения многочленов

$$\left(\sum_{i=0}^n a_i y^i \right) \cdot \left(\sum_{j=0}^m b_j y^j \right) = \sum_{k=0}^{n+m} \left(\sum_{i, j=0}^{i+j=k} a_i b_j \right) y^k.$$

Тогда равенство (6) запишется в виде: $u' = \sum_{q_1=0}^{k+l} a_{q_1} y^{q_1}$, где $a_{q_1} = \sum_{s, r=0}^{s+r=q_1} s m_s p_r$.

Пусть $j = 2$. Тогда имеет место равенство

$$u'' = \left(\sum_{q_1=0}^{k+l} q_1 a_{q_1} y^{q_1-1} \right) \cdot \left(\sum_{r=0}^l p_r y^r \right) = \sum_{q_2=0}^{k+2l} a_{q_2} y^{q_2}, \quad \text{где } a_{q_2} = \sum_{s, r=0}^{s+r=q_2} q_1 a_{q_1} p_r.$$

Предположим, что имеет место равенство $u^{(j-1)} = \sum_{q_{j-1}=0}^{k+(j-1)l} a_{q_{j-1}} y^{q_{j-1}}$, где

$$a_{q_{j-1}} = \sum_{q_{j-2}, r=0}^{q_{j-2}+r=q_{j-1}} q_{j-2} a_{q_{j-2}} p_r. \quad \text{Тогда}$$

$$u^{(j)} = \sum_{q_{j-1}=0}^{k+(j-1)l} q_{j-1} a_{q_{j-1}} y^{q_{j-1}-1} \cdot \sum_{r=0}^l p_r y^r = \sum_{q_j=0}^{k+(j-1)l+l} a_{q_j} y^{q_j} = \sum_{q_j=0}^{k+jl} a_{q_j} y^{q_j}, \quad \text{где}$$

$$a_{q_j} = \sum_{q_{j-1}, r=0}^{q_{j-1}+r=q_j} q_{j-1} a_{q_{j-1}} p_r. \quad \text{Лемма 2 доказана.}$$

Теорема. Характеристическая система уравнения (1) имеет вид:

$$a_{ij} \sum_{q_j+|l|=q} \frac{i! \prod_{s=0}^k m_s^{l_s}}{\prod_{s=0}^r l_s!} a_{q_j} = \begin{cases} 0, q_j \neq 0, |l|_1 = \sum_{s=1}^k l_s, \\ -c, q_j = 0, i, j = 0, 1, \dots, n. \end{cases} \quad (7)$$

Доказательство следует из лемм 1 и 2 путем перемножения многочленов u^i и $u^{(j)}$ по формулам (4) и (5).

Вопрос о совместности характеристической системы уравнений (7) остается открытым. Для совместности характеристической системы уравнений для приведенных ниже примеров необходимо выполнение ряда обстоятельств:

1. Обозначим степень многочлена по u через $\deg(u^i u^{(j)})$. Необходимо выполнения условия $\deg(u^{i_1} u^{(j_1)}) = \deg(u^{i_2} u^{(j_2)})$ хотя бы для двух пар индексов (i_1, j_1) и (i_2, j_2) , соответствующих максимальным степеням многочлена по u .

2. Число параметров преобразования (2) и (3) равно $k+l+2$. Число элементов матрицы A , входящее в характеристическую систему уравнений, зависит от k и l , поэтому обозначим это число через $a(k, l)$. Число параметров преобразования должно быть не менее числа коэффициентов многочлена по u , то есть необходимо выполнения условия $k+l+1+a(k, l) \geq \deg(u^i u^{(j)})$.

В случае $l=2, 3, 4$ уравнение (3) в общем виде интегрируется в квадратурах. Однако при $l=3$ и $l=4$ функция $y = y(x)$ входит в интеграл уравнения (3) неявно. Например, при $l=3$ уравнение (3) имеет следующий интеграл:

$$\frac{|y - y_2|^{(y_3 - y_1)}}{|y - y_1|^{(y_3 - y_2)} |y - y_3|^{(y_2 - y_1)}} = e^{p_3 \Delta (x - x_1)},$$

$$\text{где } x_1 = x_0 - \frac{1}{p_3 \Delta} \ln(y_0 - y_1)^{y_2 - y_3} (y_0 - y_2)^{y_3 - y_1} (y_0 - y_3)^{y_1 - y_2},$$

$$\Delta = (y_3 - y_1)(y_2 - y_3)(y_2 - y_1) < 0, \quad y_1 < y_2 < y_3.$$

Это обстоятельство затрудняет записать в общем случае решение в явном виде, но дает качественную картину поведения решения при тех или иных начальных условиях. Отметим, что уравнения, рассмотренные в работе [2] с помощью теста Пенлеве, относятся к тем случаям, когда удается представить решение алгебраического уравнения в явном виде. В частности, для уравнения Кортевега – де Фриза – Бюргера $k=2, l=2$, для уравнения Курамото – Сивашинского $k=3, l=2$.

Пример 1. Уравнение Бенджамина-Бона-Махони (см., например, [3], с.261).

$$u_t + u_x = \varepsilon(3uu_x + \frac{1}{2}u_{xxx}), \quad \varepsilon > 0. \quad (8)$$

Будем искать решение уравнения (8) в виде бегущей волны $u(t, x) = u(x + v_0 t)$, где v_0 – некоторая постоянная. Введем обозначение: $\xi = x + v_0 t$. Тогда уравнение (15) запишется в виде

$$u_{\xi\xi\xi} + \frac{6}{v_0} u u_\xi - \frac{2(v_0 + 1)}{\varepsilon v_0} u_\xi = 0. \quad (9)$$

Интегрируя уравнения (9), получаем

$$u_{\xi\xi} + \frac{3}{v_0} u^2 - \frac{2(v_0 + 1)}{\varepsilon v_0} u + c = 0, \quad (10)$$

где c – постоянная.

$$\text{Обозначим } a_1 = \frac{3}{v_0}, \quad a_2 = -\frac{2(v_0 + 1)}{\varepsilon v_0}.$$

Сделаем следующую замену

$$u = m_2 y^2 + m_1 y + m_0, \quad y' = p_2 y^2 + p_1 y + p_0.$$

Вычислим u'' , u^2 :

$$u' = 2m_2 p_2 y^3 + (2m_2 p_1 + m_1 p_2) y^2 + (2m_2 p_0 + m_1 p_1) y + m_1 p_0,$$

$$u'' = 6m_2 p_2^2 y^4 + (10m_2 p_2 p_1 + 2m_1 p_2^2) y^3 + (8m_2 p_2 p_0 + 3m_1 p_2 p_1 + 4m_2 p_1^2) y^2 + \\ + (6m_2 p_1 p_0 + 2m_1 p_2 p_0 + m_1 p_1^2) y + 2m_2 p_0^2 + m_1 p_1 p_0,$$

$$u^2 = m_2^2 y^4 + 2m_1 m_2 y^3 + (m_1^2 + 2m_0 m_2) y^2 + 2m_1 m_0 y + m_0^2.$$

Подставим значения u'' , u^2 , u в уравнение (10). Получим следующую характеристическую систему уравнений для параметров $m_s, s = 0, 1, 2$; $p_r, r = 0, 1, 2$:

$$6m_2 p_2^2 + a_1 m_2^2 = 0, \quad (11)$$

$$10m_2 p_2 p_1 + 2m_1 p_2^2 + 2a_1 m_1 m_2 = 0, \quad (12)$$

$$8m_2 p_2 p_0 + 3m_1 p_2 p_1 + 4m_2 p_1^2 + a_1 (m_1^2 + 2m_2 m_0) + a_2 m_2 = 0, \quad (13)$$

$$6m_2 p_1 p_0 + 2m_1 p_2 p_0 + m_1 p_1^2 + 2a_1 m_1 m_0 + a_2 m_1 = 0, \quad (14)$$

$$2m_2 p_0^2 + m_1 p_1 p_0 + a_1 m_0^2 + a_2 m_0 + c = 0. \quad (15)$$

Из уравнений (11) – (15) получаем:

$$m_2 = -\frac{6}{a_1} p_2^2, \quad m_1 = \frac{6}{a_1} p_1 p_2, \quad m_0 = \frac{1}{2a_1} p_1^2 + \frac{a_2}{2a_1}, \quad p_2 p_0 = \frac{1}{2} p_1^2.$$

Параметр p_2 – произвольный. Для параметра p_1 получаем биквадратное уравнение:

$$p_1^4 + 4p_1^2 + 3a_2^2 + 4a_1 c = 0. \quad (16)$$

Решим уравнение $y' = p_2 y^2 + p_1 y + p_0$ в предположении, что характеристическое уравнение (16) имеет действительные корни. Найдем корни уравнения

$$p_2 y^2 + p_1 y + p_0 = p_2 \left(y^2 + \frac{p_1}{p_2} y + \frac{p_0}{p_2} \right) = p_2 \left(y^2 - y + \frac{1}{2} \right),$$

поскольку $\frac{p_1}{p_2} = -1$, $\frac{p_0}{p_2} = \frac{p_0 p_2}{p_2^2} = \frac{1}{2} \frac{p_1^2}{p_2^2} = \frac{1}{2}$. Тогда $y' = p_2 \left(y - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{1}{4}$, откуда получаем $y = \frac{1}{2} (1 + \operatorname{tg}(2p_2(x + c_1)))$, где c_1 – постоянная.

Таким образом, получаем решение уравнения (10)

$$u = -\frac{6}{a_1} p_2^2 \left(y^2 + y - \frac{1}{12} - \frac{a_2}{6p_2^2} \right),$$

где $y = \frac{1}{2} (1 + \operatorname{tg}(2p_2(x + c_1)))$.

Замечание. Уравнение (10) имеет солитонное решение вида

$$u(\xi) = \frac{k_1}{ch^2(\alpha\xi + \beta)}, \text{ где } k_1, \alpha, \beta \text{ – неизвестные параметры.}$$

В самом деле, подставив $u(\xi)$ в уравнение (10), находим неизвестные параметры:

$$k_1 = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{v_0 + 1}{3\varepsilon v_0}} - \frac{2(v_0 + 1)}{\varepsilon v_0} - \frac{c v_0}{v_0 + 1}, \quad \alpha = \sqrt{\frac{v_0 + 1}{3\varepsilon v_0}}, \quad \beta \text{ – произвольное число.}$$

Аналогично исследуется уравнение пограничного слоя [4].

$$u''' + a u u'' = 0,$$

где a – константа.

Список литературы

1. Куижева С.К., Паланджянц Л.Ж. О характеристических уравнениях для некоторого класса алгебраических дифференциальных уравнений. // Доклады АМАН, 2011, т. 13, № 2, с. 29-32.
2. Кудряшов Н.А. Аналитическая теория нелинейных дифференциальных уравнений. – Москва-Ижевск. Институт компьютерных исследований, 2004, 306 с.
3. Нахушев А.М. Уравнения математической биологии: Учеб. пособие для университетов. – М.: Высш. шк., 1995. – 301 с.
4. Куижева С.К., Паланджянц Л.Ж. О характеристической системе уравнений для некоторого класса алгебраических дифференциальных уравнений. Вестник Адыгейского государственного университета, серия «Естественно-математические и технические науки». – 2012. – Вып. 2. – С. 11-17.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА: СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ И ИНФОРМАЦИОННОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ

Курбатова И.Е.

Институт водных проблем РАН (Москва, Россия)
E-mail: irenkurb@yandex.ru

Создание равнинных русловых водохранилищ является самым кардинальным вмешательством человека в естественную жизнь реки и прилегающих территорий. Русловые водохранилища отличаются значительной площадью зеркала воды и большой долей мелководий, что обусловлено равнинным характером рельефа. Водоохранилища такого типа относятся к наиболее динамичным водным объектам искусственного происхождения, поскольку регулирование стока, вызывая резкие колебания объемов и уровней воды, приводит к значительным перемещениям береговой линии, затоплениям, осушениям и подтоплениям прилегающей территории (площадь зеркала воды может меняться до 2 раз и более). Чем крупнее водохранилище, тем значительнее его влияние на окружающую среду, а следовательно, тяжелее негативные последствия и сложнее комплекс природоохранных мероприятий. Чаще всего рассматриваются проблемы окружающей среды, связанные со строительством, формированием и многолетней эксплуатацией водохранилищ, и лишь в отдельных случаях – экологические проблемы самого водохранилища, спровоцированные негативными природными и антропогенными факторами воздействия водосборных территорий главной реки и боковых притоков водохранилища.

За последнее десятилетие активизировались исследования в этой области и достигнуты определенные успехи, но многие проблемы остаются нерешенными из-за отсутствия или недостатка данных натурных наблюдений. В такой ситуации возникает потребность в организации комплексного мониторинга водохранилищ на базе геосистемного подхода.

Водоохранилище может рассматриваться как водоем антропогенного происхождения внутри основной системы «водосбор–главная река–приемный водоем», а так же как самостоятельная подструктура, в которой оно само является приемным водоемом для боковых притоков с их водосборами.

Одновременно следует рассматривать эту систему как интегральную хозяйственно-экономическую структуру, формирование которой, как правило, не отвечает требованиям сбалансированного водопользования. Экологическое состояние водохранилища наряду с влиянием непосредственных водопотребителей связано с масштабами хозяйственного преобразования природных ландшафтов (или их составляющих) водосборной территории. Однако в природоохранной и водохозяйственной деятельности редко учитывается важность анализа пространственного распространения источников загрязнения и их нагрузки на водные ресурсы приемного

водоема. Между тем, выявление закономерностей распределения антропогенной нагрузки по площади водосбора и получение ее качественных и количественных оценок позволит выявить причины ухудшения качества воды и разработать программу мероприятий по его восстановлению.

Основными задачами геоэкологического мониторинга водохранилищ является инвентаризация, контроль и слежение за различными составляющими системы «водосбор-водоток-водоем» для последующего выявления их взаимосвязей, экологического состояния, решения экономических, водно-экологических и природоохранных проблем (рис. 1).

Основу информационного обеспечения мониторинга должны составлять три группы источников [1]:

- *натурные данные* стационарных наземных полигонов, пунктов наблюдений, расположенных на водотоке, водосборе, в прибрежной и открытой части приемного водоема (речных и устьевых гидрометеорологических и гидрохимических стационарных и передвижных постов), а также результаты различных сезонных полевых обследований;
- *фондовые картографические материалы* (топографические, батиметрические, навигационные, специализированные);
- *материалы дистанционного зондирования* разных масштабов и типов съемки, содержащие новые сведения о гидрологических, гидробиологических и других особенностях рек и акватории водохранилища, состоянии природной среды водосборов и степени антропогенного воздействия, обеспечивающие возможность пространственно-временной экстраполяции данных локальных наблюдений.

При изучении начального этапа формирования водохранилищ, массовое строительство которых в России относится к 1930-1940 гг. и 1950-1960 гг., особую ценность приобретают фондовые картографические материалы, которые позволяют восстановить информацию о природных и хозяйственных особенностях зоны предполагаемого затопления, оценить состояние берегов и динамику береговой линии водохранилища в первые годы его формирования. Последующие этапы формирования водохранилища и прибрежных природно-территориальных комплексов могут быть прослежены с привлечением архивного фонда космических изображений, который охватывает последние 40 лет. Самые ранние архивные изображения (с конца 60-х годов прошлого века) отличаются от современной космической информации невысоким качеством, мелким масштабом, низким разрешением. Тем не менее, они являются ценным документальным материалом для анализа динамических процессов.

Регулярно получаемые из космоса спектрзональные данные дистанционного зондирования различного масштаба и разрешения несут в себе огромный информационный потенциал и представляют объективную базу для проведения космического мониторинга водохранилищ и прилегаемых территорий в условиях дефицита наземных наблюдений.

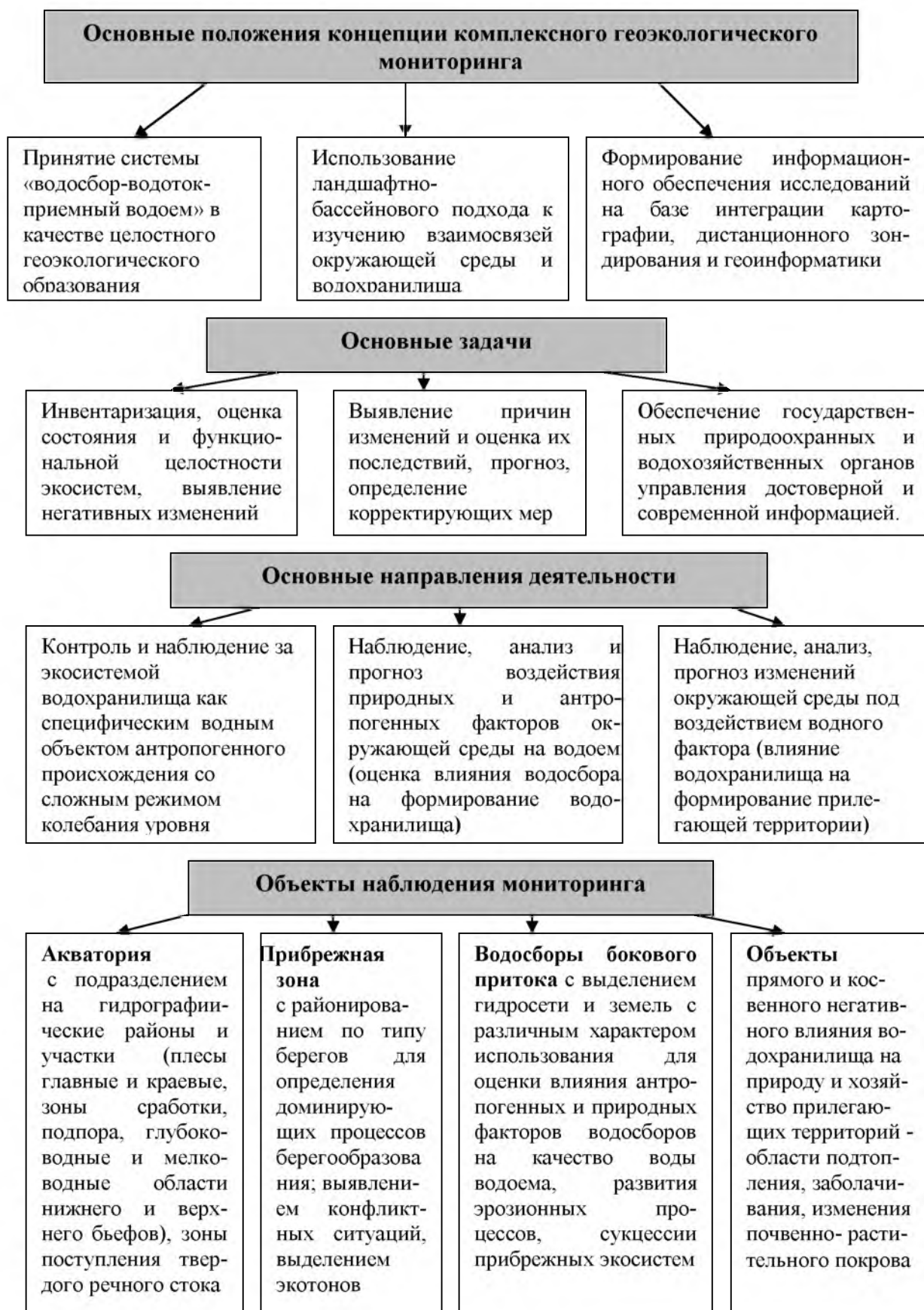


Рисунок 1. Геосистемный подход к организации комплексного мониторинга русловых водохранилищ

Космические изображения позволяют фиксировать многолетние, сезонные и эпизодические изменения в положении береговой линии водохранилища, динамику подтопления и осушения береговой зоны, области

развития аккумулятивных и абразионных процессов. Результаты дешифрирования, подтвержденные данными наземных наблюдений, обеспечивают получение сведений о пространственно-временных изменениях гидроэкологических характеристик в любой точке акватории и береговой зоны водохранилища и являются важной информационной составляющей в картографическом моделировании исследуемых процессов.

Обоснование выбора типов КИ, пространственного охвата и масштаба зависит от специфики геосистем бассейнов главных рек, их притоков и приемных водоемов разного ранга, их строения, динамики, функционирования в зависимости от природных и антропогенных особенностей (таблица 1).

Таблица 1. Основные задачи и уровни мониторинга при изучении негативных процессов водохранилищ и их водосборов [Курбатова, 2012]

Водные объекты, водосборы. Процессы и явления	Задачи мониторинга	Уровень,	Периодичность наблюдений	Наименование космических аппаратов, съемочная аппаратура	Характеристики съемочной аппаратуры	
					Диапазон (мкм)	Разрешение (м)
Водохранилища						
Подтопление, заболачивание берегов	Выявление конфликтных ситуаций на акватории и берегах	Детальный	Весна, 1-2 раза	Ресурс-ДК, Ikonos-2, Orbview-3, Quick Bird, IRS-PS, SPOT-5 EROS, GeoEye-1, WorldView-2	0.5-0.6 0.7-1.1	2-5 5-10
		Локальный	Лето-осень, 4-5 раз	Ресурс-ДК, Ikonos-2, Orbview-3, Quick Bird, IRS-PS, EROS, GeoEye-1, SPOT-5 WorldView-2	0.4-0.6 0.7-1.1	2-5
Обмеление и эвтрофикация, загрязнение	Наблюдение и районирование типов берегов по степени риска и интенсивности переработки	Детальный	Весна-осень, 1-2 раза	HRG, IRS-RAN, ALOS, Formosat-2 (RAN), Rapid Eye	0.5-0.7 0.7-1.1	5-10
		Локальный		HRVIR, Formosat-2 (MS), HRG		10-20
Водосбор						
Распашка водохранилищной зоны, рост оврагов, вырубка лесов на водосборе, промышленное загрязнение	Оценка влияния водосбора в результате его хозяйственного освоения на экологическую ситуацию водосема и побережья	Детальный	Весна-осень, 1-2 раза	Ресурс-ДК, Ikonos-2, Orbview-3, Quick Bird, IRS-PS, EROS, GeoEye-1, SPOT-5	0.4-0.7 0.7-1.1	2-5
		Локальный		HRG, IRS-RAN, ALOS, Formosat-2 (RAN), Rapid Eye WorldView-2		5-10
Поступление наносов с речных водосборов, их аккумуляция в прибрежной зоне		Локальный	Весна-осень, 5-6 раз	HRG, IRS-RAN, ALOS, Formosat-2 (RAN), Rapid Eye	0.4-0.5 0.5-0.6.	5-10

Опыт совместного использования дистанционных, картографических и гидрологических данных для реализации комплексного мониторинга геосистемы «водосбор-водоток-водоем» разрабатывался на примере изучения влияния р.Белой и ее водосборного бассейна на Краснодарское

водохранилище. Для выполнения исследования были поставлены следующие задачи:

- 1 - изучение динамики заиливания ложа водохранилища;
- 2 - изучение влияния водосбора р. Белой на загрязнение и экологическое состояние водохранилища.

Целесообразность использования дистанционных и картографических материалов для изучения данного региона обусловлена дефицитом современных сетевых натуральных наблюдений за гидрологическим и гидрохимическим состоянием вод водохранилища и р.Белой, возможностью единовременного непрерывного информационного охвата обширной территории водосбора. Для выявления динамики формирования берегов Краснодарского водохранилища были привлечены топографические карты (1962 - 1996 гг.) и разновременные материалы космической съемки (1984 - 2012 гг.) Таким образом, исходными материалами был охвачен 50-летний период существования водоема, в котором можно выделить три этапа (рис.2):

1. Начальный этап формирования берегов Краснодарского водохранилища 1973-1984 гг.
2. Промежуточный этап - выдвижение дельты р. Белой в акваторию водохранилища 1984-1996.
3. Современный этап - деление водохранилища перемычкой из наносов р. Белой на два самостоятельных водоема 1996-2012 гг.

В регионе в последние десятилетия складывается крайне неблагоприятная экологическая ситуация, угрожающая существованию Краснодарского водохранилища - крупнейшего руслового водохранилища бассейна р. Кубань, построенного в период с 1968 по 1973 гг. для устранения катастрофических наводнений в нижнем течении Кубани; обеспечения оросительных систем; улучшение условий судоходства, рыбоводства, водоснабжения и рекреации [2]. В результате создания водохранилища были затоплены нижние участки притоков Кубани - рек Белая, Пшиш, Марта, Апчас, Псекупс(рис 2а,б). На архивных космических снимках середины 80-х годов (через десять лет после окончания строительства водохранилища) хорошо видно, что нижние участки его боковых притоков - рек Пшиш, Марта, Апчас, Псекупс были подтоплены и образованы заливы типа эстуариев. Исключение составляло устье р.Белой, в котором уже начала формироваться выдвижная дельта (рис.2в,г). На космическом снимке, полученном спустя 20 лет, зафиксирована сформировавшаяся перемычка, площадью более 50 км² (рис. 2д).

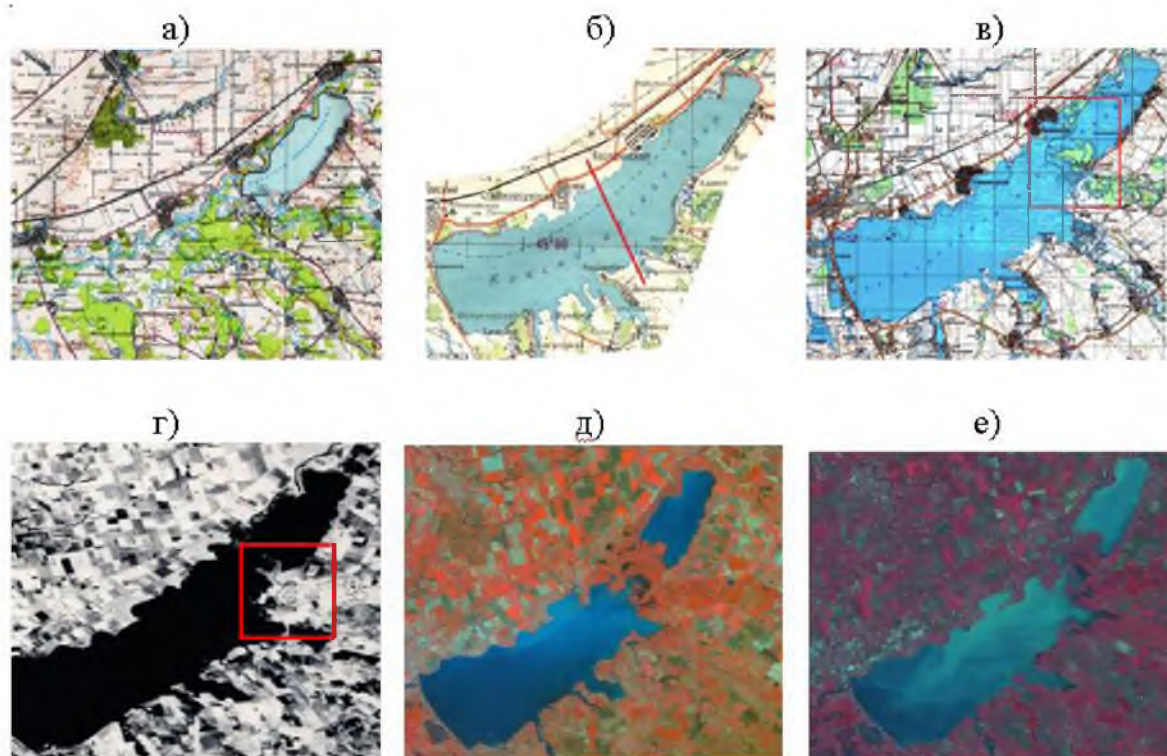


Рисунок 2. Этапы формирования Краснодарского водохранилища и дельты р. Белой:
 а) предварительный - природно-территориальные комплексы на месте будущего ложа Краснодарского водохранилища и вокруг уже существующего Тщикского (1962 г.);
 б) начальный – первые годы после заполнения водохранилища (1975-1978 гг.); в) начало выдвижения дельты р. Белой (1978-1984 гг.); г) продолжение роста дельты (1988 г.); д) образование сплошной перемычки (к 2000-2006 гг.); е) современное состояние водохранилища (2012 г.).

Активизации процессов заиления водохранилища способствовало снижение отметок нормального подпорного уровня Краснодарского водохранилища на 0,9 м (с 33,65 до 32,75 м абс.), выполненное в соответствии с «Соглашением Республики Адыгея и Краснодарского края о временном режиме эксплуатации Краснодарского водохранилища» для уменьшения негативного воздействия водохранилища на прилегающие территории. В результате чего Тщикское водохранилище оказалось практически полностью изолированным от западной части Краснодарского. Площадь перемычки резко увеличилась и осушившиеся ее части стали активно зарастать ивняком, и камышевой растительностью, а прирусловые валы реки Кубань закреплены ивово-тополевыми представителями древесных сообществ. По данным В.А. Неупкоева [3], средняя скорость выдвижения дельты, от зарождения до образования перемычки, составила 112 м/год, в том числе в период выдвижения в Тщикское водохранилище (1941-1972) скорость её выдвижения составляла 161 м/год, а в период выдвижения в Краснодарское водохранилище (1973- 2003 г.) – 66,6 м/год.

Анализ космических изображений высокого разрешения с ИСЗ QuickBird и WorldView-2, полученных с интервалом в 7 лет (рис 3а,б)

позволил выявить изменения площади осушения, оценить масштабы зарастания, проследить за формированием русла р. Кубань, которая «пробивает» себе дорогу в наносных отложениях до открытой воды. На снимке 2011 года четко видно выдвигание сформировавшейся дельты Кубани, уже закрепленной растительностью, до станицы Старокорсунская, практически отчленяя небольшой залив у берега. Граница области сплошного заиления продвинулась за эти годы почти на 14 км в сторону к приплотинному участку. Давно стало очевидным, что то через 15-20 лет большая его часть будет осушена полностью, если заиление водохранилища будет происходить такими же темпами.



Рисунок 3. Формирование берегов р. Кубань внутри Краснодарского водохранилища при прохождении перемычки и дальнейшем продвижении наносов к приплотинному участку (стадии накопления взвесей, размыва илистых отложений, осушения, зарастания). Космические изображения ИСЗ: а) QuickBird; 13 июня 2004 г.; б) WorldView-2; 8 сентября 2011 г.

Второй частью нашего исследования являлась оценка экологического состояния бассейна р.Белой и изучение его влияния на формирование и загрязнение Краснодарского водохранилища. Причины интенсивного заиливания водохранилища и дельтоформирования обусловлены

природными особенностями водосбора, расположенного в зоне легко размываемых пород, и содержанием большого количества твердых взвесей в речном стоке. Площадь бассейна р. Белой (второго по величине притока р. Кубань), составляет 5970 км², что почти в 15 раз превышает площадь Краснодарского водохранилища. По данным гидрологических наблюдений, годовой объем стока воды составляет 1.58 км³, а годовой сток наносов 760 тыс. тонн, что соответствует в среднем поступлению 24-29 кг/с [Лурье, 2005].

Материалы дистанционного зондирования при решении поставленной задачи были использованы для уточнения географо-гидрологического районирования территории; выявления современного состояния природно-территориальных комплексов водосбора, анализа антропогенной нагрузки на водосбор и ее распределения по территории. На схемах дешифрирования выделены – долины рек, границы лесов, вырубки, крупные населенные пункты, транспортная сеть, сельскохозяйственные угодья и т.д. Полученная информация дополнялась картографической и научно-справочной. Комплексная оценка роли водосбора р. Белой в загрязнении Краснодарского водохранилища в условиях отсутствия наземных гидрологических наблюдений в районе перемычки проводилась на основе использования географических и социально-экономических показателей.

Известно, что основная часть загрязняющих веществ (ЗВ) с водосбора поступает в реку и затем транспортируется частицами твердого стока в приемный водоем. Для выявления состава основных ЗВ, приносимых с наносами р. Белой и накапливающихся в акватории водохранилища, был проведен анализ хозяйственного использования водосбора реки, выявлены очаги антропогенного загрязнения. К ним относятся города и поселки городского типа, в которых сконцентрирована практически вся промышленность территории, локальные центры производственной специализации, сельскохозяйственные и животноводческие комплексы. В таблице 2 показаны основные источники загрязнения бассейна и сопутствующие им ЗВ. Поскольку населенные пункты всех типов исторически привязаны к водным артериям, промышленность также нуждается в больших объемах воды, а значительная часть полигонов твердых бытовых отходов, сельскохозяйственных объектов и животноводческих комплексов приурочена к дельтово-пойменным районам, то становится очевидным, что большая часть из перечисленных поллютантов «сплавляется» по реке и ее притокам и в конечном счете накапливается в образовавшейся дельте и донных отложениях водохранилища. Таким образом, Краснодарское водохранилище является мощным накопителем тяжелых металлов, нефтепродуктов, СПАВ, фенолов, пестицидов и азотных соединений.

Интенсивность происходящих изменений требует в дальнейшем организации регулярных наблюдений с помощью спектрально-аналитических

Таблица 2. Основные источники загрязнений водосбора р. Белая

<i>Основные источники загрязнения</i>	<i>Основные загрязняющие вещества</i>
промышленность	
Электро- и теплоэнергетика	сточные воды, золошлаки, отходы химводоочистки, шамот
Химическая и нефтехимическая	сточные воды, фосфогипс кислый, резиновые отходы (покрышки, камеры, выпрессовка резинотехнических изделий, отходы латекса), лигнин, отработанные катализаторы
Машиностроение и металлообработка, приборостроение	отходы черного и цветного металлов, сточные воды, гальваношламы
Лесная, деревообрабатывающая, мебельная	отходы деревообработки (опилки, стружки), в том числе формальдегидосодержащие, сточные воды
Промышленность строительных материалов	цементная пыль, сточные воды, выбраковка строительных материалов (железобетон, кирпич)
Легкая	сточные воды, макулатура, текстиль, отработанные катализаторы и реагенты
Пищевая	сточные воды, дефекат сахарной промышленности, отходы тары и упаковки
Мукомольно-крупяная и комбикормовая	сточные воды, продукция с истекшим сроком годности
Медицинская	упаковочные материалы, отработанные реагенты, специфические отходы ЛПУ
Полиграфическая	бумажные отходы (макулатура), сточные воды
Коммунальное хозяйство	
Хозяйственно-бытовые сточные воды	взвешенные органические и неорганические вещества, азот аммонийный, БПК ₅ , СПАВ
Сельское хозяйство	
Животноводство	органические вещества с высокой бактериальной загрязненностью
Земледелие	гербициды, минеральные удобрения, хлорорганические и фосфорорганические пестициды

космических снимков (не реже 1 раза в месяц для периодов максимальных, минимальных и средних расходов речной воды и твердого стока, периодов наибольшего наполнения и сработки водохранилища) и получение гидрохимических характеристик в эти же периоды для своевременной оценки остроты гидроэкологической ситуации.

Итогом проведенных исследований является эколого-географическая карта бассейна р.Белой в масштабе 1:500 000 (рис.4). На карте показаны водные объекты (реки постоянные и пересыхающие, водохранилища),

границы комплексных географо- гидрологических районов и их характеристика, транспортная сеть (с характеристикой величины выбросов),

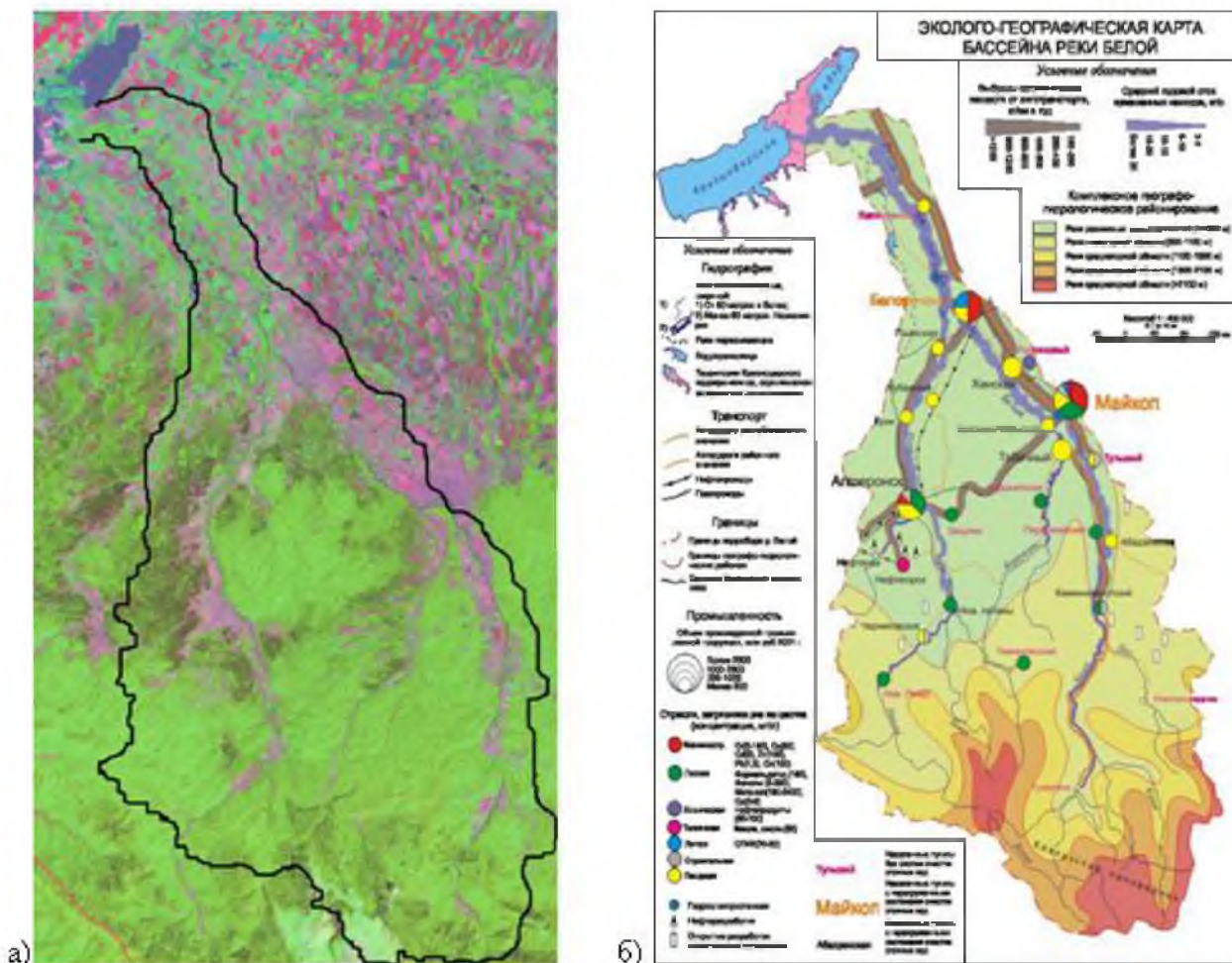


Рисунок 4. Бассейн р. Белой:
а) Космическое изображение Landsat–7 август 2006 г.;
б) эколого-географическая карта

промышленные центры (с указанием основных загрязняющих веществ и объема производимой продукции), места разработки полезных ископаемых, населенные пункты (с характеристикой состояния систем очистки сточных вод). Кроме того, вдоль всего русла р. Белой охарактеризован средний годовой сток наносов (кг/с) и показана территория Краснодарского водохранилища, осушившаяся за годы его существования.

Составленная карта может быть использована для дальнейших более детальных экологических исследований данного региона, выявления областей максимального и минимального хозяйственного загрязнения поверхностных вод и качественной оценки (по составу) загрязняющих веществ, накапливающихся в дельте Белой и соответственно, Краснодарском водохранилище.

Проведенные исследования показали высокую эффективность использования современных и архивных данных дистанционного

зондирования для осуществления мониторинга негативных ситуаций в труднодоступных районах в условиях дефицита наземных наблюдений

Список литературы

1. 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.

2. Лурье П. М, Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю. Река Кубань: гидрография и режим стока. Санкт-Петербург, Гидрометеоздат. 2005. 498 с.

3. Неупокоев В.А. Краснодарское водохранилище. Электронный ресурс http://погода-краснодар.рф/index.php?option=com_content&view=article&id=33&Itemid=37.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЙХОРНИИ ДЛЯ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ОСК ГОРОДА ЛАБИНСКА

Кучинская Е.А.¹, Финогенова Н.С.²

¹*Майкопский государственный технологический университет*

(Майкоп, Россия)

²*инженер – эколог ОСК (Лабинск, Россия)*

E-mail: anel-ka@yandex.ru

Традиционно применяемая технология очистки коммунальных стоков предусматривает механическое разделение загрязненных вод и искусственную биологическую очистку их жидкой фракции. Недоочищенные после аэротенков стоки вносят в водоемы токсичные вещества в концентрациях, опасных для водных экосистем и здоровья человека. Доочистка сточных вод по известным на сегодняшний день технологиям – дело не только непростое, но и экономически невыгодное. Одним из решений проблемы является применение для доочистки высшей водной растительности.

Целью проведённой работы являлось исследование эффективности очистки городских сточных вод г. Лабинска с помощью эйхорнии великолепной (водного гиацинта).

Системы водопровода и канализации города Лабинска в настоящее время находятся на грани возможностей, как по пропускной способности, так и по степени очистки воды. Проект, по которому построены очистные сооружения г. Лабинска, разработан ещё в 1972 г., в то время требования к сбросу в водоем и, следовательно, к очистке сточных вод предъявлялись более мягкие. В настоящее время требования очистки сточных вод при сбросе в водоёмы ужесточились, а возможности очистных сооружений остались прежними. Возникла острая необходимость поиска современных технологий доочистки сточных вод. Строительство сооружений по доочистке - мероприятие дорогостоящее и долгосрочное. МУП «Водоканал» г. Лабинска внедрил сезонную технологию доочистки сточных вод при помощи эйхорнии (водного гиацинта).

Проектная мощность очистных сооружений г. Лабинска 17 тыс. м³/сутки с полной биологической очисткой. Фактическое поступление сточных вод колеблется от 14 до 22 тыс. м³/сутки. Состав поступающих загрязнений отражен в таблице 1.

Классическая схема биологической очистки сточных вод ОСК включает аэрационные и отстойные сооружения, оборудование и коммуникации для подачи и распределения сточных вод по аэротенкам, сбора и подачи иловой смеси на илоотделение, отведения очищенной воды, обеспечения возврата в аэротенки циркуляционного активного ила и удаления избыточного ила, подачи и распределения воздуха в аэротенках [1; 2; 3].

Табл.1. Состав основных загрязнений в стоках, поступающих на ОСК г. Лабинска

Вид загрязнения	Единица измерения	проект	факт
Взвешенные вещества	мг/дм ³	311	90-110
БПКполн	мг/дм ³	258	32-75
Азот аммонийный	мг/дм ³	11	3-8
Фосфор фосфатов	мг/дм ³	1,2	0,8-1,1
Нитриты	мг/дм ³	-	0,1

Концентрация основных загрязнений в стоках после ОСК г. Лабинск при традиционной очистке достигает следующих значений (таблица 2).

Табл. 2. Состав основных загрязнений в стоках после ОСК г. Лабинск (традиционная очистка)

Вид загрязнения	Единица измерения	Количество
Взвешенные вещества	мг/дм ³	25-37
БПКполн	мг/дм ³	9,8-22
ХПК	мг/дм ³	35,5-40
Фосфор фосфатов	мг/дм ³	1,1-1,6
Азот аммонийный	мг/дм ³	2-4
Нитриты	мг/дм ³	0,1
Нитраты	мг/дм ³	2,5-5

Результаты расчёта эффективности очистки сточной воды по стадиям процесса показали, что особенно низкая степень очистки от фосфатов (12,5%), азота аммонийного (50%), взвешенных веществ (66,4%). Общая эффективность очистки сточных вод на ОСК при традиционной очистке не соответствует предъявляемым в настоящее время требованиям.

Общий экономический ущерб от сбросов очистных сооружений в реку Лаба при таком способе очистки составляет 48292 тыс. руб./год. Наибольший ущерб наносится окружающей среде по показателю азота нитратного и аммонийного. Ясна необходимость применения дополнительных способов глубокой доочистки сточных вод.

Гиацинт водный (эйхорния) представляет собой оригинальное растение с пучком курчавых ярко-зелёных листьев, собранных в крупную розетку. У каждого листа имеется пузыревидный черешок, удерживающий лист на поверхности воды. Цветет эйхорния великолепными цветками с голубыми или бледно-фиолетовыми лепестками (рисунок 1).

Было отмечено, что там, где растёт эйхорния, вода всегда очень чистая. Установлено, что она очень интенсивно поглощает из воды многие вредные вещества (инсектициды, фенолы, соединения тяжелых металлов), а также поглощает токсические примеси [4; 5; 6].

С целью постановки эксперимента по очистке сточных вод 500 луковиц эйхорнии были закуплены и высажены на очистные сооружения МУП «Водоканал» г. Лабинска (рисунок 2).

Поставленный эксперимент показал, что после очистки сточных вод эйхорнией содержание в воде ингредиентов, по которым проводился анализ, значительно уменьшилось.



Рис. 1. Гиацинт водный (эйхорния)

Рис. 2. Эйхорния во вторичном отстойнике ОСК г. Лабинска

При наличии оптимальной температуры воды и воздуха были получены следующие показатели (табл. 3).

Табл.3. Эффективность очистки сточной воды эйхорнией (лето)

Контролируемый показатель	Содержание в СВ		Эффективность очистки, %
	на день отбора	после 10 дней очистки	
ХПК, мг O ₂ /л	40,3	8,2	80
БПК, мг O ₂ /л	21,7	10,4	52
Щелочность, мг-экв/л	2,1	1,8	14
Жесткость, мг-экв/л	1,5	1,0	33
Хлориды, мг/л	29,7	12,1	59
Сульфаты, мг/л	68,0	28,4	58
Фосфаты, мг/л	1,6	0,35	78
Нитраты, мг/л	5,0	0,20	96
Аммонийный азот, мг/л	4,0	0,62	85
Общее микробное число	2,1 ¹⁰	0,4 ¹⁰	81
Coli - индекс	1559,0	412,0	74

Как видно из таблицы 3, наиболее эффективно эйхорния очищает воду от нитратов – в 25 раз; фосфатов, их содержание уменьшается в 5 раз; азота аммонийного – в 6,5 раз; поточных микроорганизмов – в 4 раза. Результаты очистки воды на протяжении всего эксперимента было видно «невооруженным глазом»: вода стала прозрачной, специфический запах нечистот исчез.

Предотвращенный экономический ущерб водному объекту от снижения сбросов от ОСК г. Лабинска за счет внедрения глубокой очистки

сточных вод с помощью эйхорнии составляет более 37 млн. руб. в год.

Себестоимость 1 растения - фильтра составляет около 100 рублей. При этом доочистка сточных вод с помощью эйхорнии в 10 раз дешевле, чем при традиционных технологиях.

Зеленая масса эйхорнии, после проведения химической экспертизы на соответствие СанПиН, может быть использована в качестве корма или добавки к кормам или может перерабатываться с конкретными коммерческими возможностями.

Список литературы

1. Яковлев, С.В. Водоотведение и очистка сточных вод / С.В. Яковлев, Ю.В. Воронов М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2002. – 652 с.
2. Попов, А.М. Природоохранные сооружения /А.М. Попов, И.С. Румянцев — М.: Колос, 2005. — 520 с.
3. Голубовская, Э.К. Биологические основы очистки сточных вод / Э.К. Голубовская. – М.: Высшая школа, 1978. – 368 с.
4. Синев, О.П. Интенсификация биологической очистки сточных вод / О.П. Синев. – Киев: Техника, 1983. – 110 с.
5. Тышкевич, Г.Л. Растения и проблемы века / Г.Л. Тышкевич. - М.: Наука, 1989. – 212с.
6. Пат. 2193532 Российская Федерация, МПК С02F3/32 Способ выращивания эйхорнии при гидрботанической очистке загрязненных вод / Лялин СВ.; заявитель и патентообладатель № 2002100311/12; заявл. 14.01.2002; опубл. 27.11.2002.

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ (ПОДСПУТНИКОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В СЕНТЯБРЕ-ОКТАБРЕ 2011 Г. В РАЙОНЕ ГЕЛЕНДЖИКСКОЙ БУХТЫ)

Лаврова О.Ю.¹, Серебряный А.Н.^{1,2}

¹*Институт космических исследований РАН (Москва, Россия),*

²*Акустический институт им. Н.Н.Андреева (Москва, Россия)*

E-mail: olavrova@iki.rssi.ru

ВВЕДЕНИЕ

Исследованием гидродинамических процессов в северо-восточной части Черного моря уже достаточно давно и успешно занимаются специалисты различных научных учреждений, таких как: Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН и его Южное и Атлантическое отделения, Институт космических исследований РАН, Институт прикладной физики РАН, Акустический институт им. ак. Н.Н. Андреева, МГУ им. М.В. Ломоносова и др. [1-9].

В связи с интенсивным развитием спутниковых методов исследования морской поверхности и относительной доступностью данных высокого пространственного разрешения открываются новые возможности более детального изучения динамических процессов, в первую очередь вихревых структур, масштаб которых составляет от нескольких сот метров до нескольких километров (меньше бароклинного радиуса деформации Россби или, в современной терминологии, субмезомасштабных вихревей). Необходимым элементом изучения динамики вод в шельфовой зоне остается проведение квазисинхронных со спутниковой съемкой натурных измерений параметров течений. Прибрежная акватория Черного моря в районе Южного отделения Института океанологии (г. Геленджик) стала своеобразным подспутниковым полигоном, где проводятся испытания новых приборов, выполняются регулярные наблюдения и измерения различных параметров морской среды. Это вызвано не только тем, что для данной акватории характерно большое разнообразие протекающих в ней процессов, в первую очередь вихревых, но и большим прикладным значением таких наблюдений. Изучение динамики вод в данном районе важно для прогноза экологического состояния одной из крупнейшей в России на Черном море рекреационной зоны, испытывающей огромные антропогенные нагрузки, увеличивающиеся год от года. К тому же в непосредственной близости к курорту Геленджик находятся крупнейшие российские порты на Черном море: Новороссийск и Туапсе, неподалеку проходят оживленные судоходные трассы. Большой вклад в загрязнение прибрежной зоны вносят и устаревшие, не справляющиеся с всё возрастающей антропогенной нагрузкой, коммунальные очистные сооружения.

Ученые лаборатории аэрокосмической радиолокации Института космических исследований РАН более 20 лет занимаются изучением процессов на поверхности океана и в приповерхностном слое атмосферы на основе данных дистанционного зондирования. Проведенные ими ранее исследования выявили закономерности, позволяющие с высокой точностью классифицировать и идентифицировать внутритропические и атмосферные процессы по их проявлениям на радиолокационных изображениях. Речь идет, в первую очередь, о таких явлениях, как течения и гидрологические фронты, внутренние волны в океане и атмосфере, вихри и вихревые структуры. Разработаны новые методики восстановления параметров процессов и явлений на поверхности океана и в приповерхностном слое атмосферы, позволяющие перейти от качественной интерпретации наблюдаемых явлений к восстановлению количественных зависимостей. Начиная с 2004 г. нами проводится многосенсорный спутниковый мониторинг состояния и загрязнения Черного, Балтийского и Каспийского морей [10-12]. Регулярные спутниковые наблюдения, проводимые в микроволновом и видимом диапазонах электромагнитного спектра позволяют не только выявлять загрязнения морской поверхности, но и отслеживать их распространение [13, 14]. Составление прогноза распространения загрязнения, естественно, невозможно без понимания тонкой структуры течения в прибрежной зоне, что требует проведение регулярных подспутниковых измерений.

Сотрудники Института космических исследований РАН и Акустического института им. академика Н.Н. Андреева уже более 10-ти лет совместно проводят регулярные подспутниковые измерения с маломерных судов и с пирса на базе Южного отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова [1, 5, 15]. Очередной этап этой работы состоялся в сентябре-октябре 2011 г. Отличительной особенностью проведенных исследований являлось то, что радиолокационная съемка осуществлялась не только с помощью ASAR Envisat, как это было в предыдущие годы, но и с помощью новейших радиолокаторов RADARSAT-2 и TerraSAR-X. Для адекватной интерпретации получаемых спутниковых изображений необходимо было проводить синхронные подспутниковые океанологические измерения всех возможных гидродинамических и метеорологических параметров, как дистанционными акустическими методами, так и in-situ.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПОДСПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

Рассматриваемые в данной статье подспутниковые измерения проводились с 28 сентября по 14 октября 2011 г. Работы велись на акватории шельфа Черного моря вблизи г. Геленджик в пределах границ от траверза Голубой бухты до мыса Толстого (рис.1). Подспутниковые измерения включали:

1. Съемки на разрезах поперек шельфа от берега до начала свала глубин акустическим доплеровским профилометром течений ADCP "Rio Grande 600 kHz". Этот тип ADCP хорошо зарекомендовал себя не только для

изучения течений, но и внутренних волн, вихрей и других динамических процессов в шельфовой зоне [16]. Регистрировались направление и сила течения, обратное рассеяние звука с глубиной (осреднение по глубине с дискретностью ячеек 0,5 м). Съёмки делались с яхты, двигавшейся равномерно со скоростью 2-2,5 м/с.

2. Съёмки на разрезах поперек шельфа от берега до начала свала глубин минизондом SVP фирмы “Vallerporte” (зонд измеряет температуру, скорость звука и глубину). Зондирования от поверхности до дна в 7-8 точках разреза.

3. Долговременные (двухнедельные) измерения на автономной буйковой станции гирляндой термисторов, расположенной на траверзе разреза в точке с глубиной 35 м. Термокоса состояла из 10 измерителей температуры Centi фирмы “Starr Oddi”, дискретность измерений 30 сек.

Эксперименты предыдущих лет показали, что для изучения динамических процессов в данном районе, в частности для определения пространственной структуры прибрежных антициклонических вихрей, наиболее целесообразно осуществлять измерения вдоль разрезов в виде «расходящихся ножниц», т.е. вдоль разреза от пирса Голубой бухты до свала глубин и вдоль разреза от свала глубин до Тонкого мыса. Спутниковое радиолокационное изображение района экспериментальных работ представлено на рис. 1. Желтой линией на фрагменте снимка схематично изображена стандартная траектория, вдоль которой проводились измерения с яхты.

Проведение всех подспутниковых измерений планировалось таким образом, чтобы в момент пролета спутника яхта находилась на максимальном удалении от берега, т.е. у кромки шельфа. В связи с этим выход на разрез начинался за 1,5-2 часа до момента спутниковой съёмки. На максимальном удалении от берега в момент пролета спутника проводилось гидрологическое зондирование, после которого яхта шла прямолинейно на пирс в Голубую или в Геленджикскую бухту, делая попутные короткие остановки для зондирований.

Помимо морских работ, производились визуальные наблюдения и оптическая съёмка с высокого берега. Во время пролёта спутников фиксировались и описывались все доступные параметры морской поверхности: волнение, наличие сликов, расположение судов; а также измерялись скорость и направление ветра. Наблюдения производились синхронно с выходами в море, что способствовало улучшению качества работ в море и анализа снимков в дальнейшем.

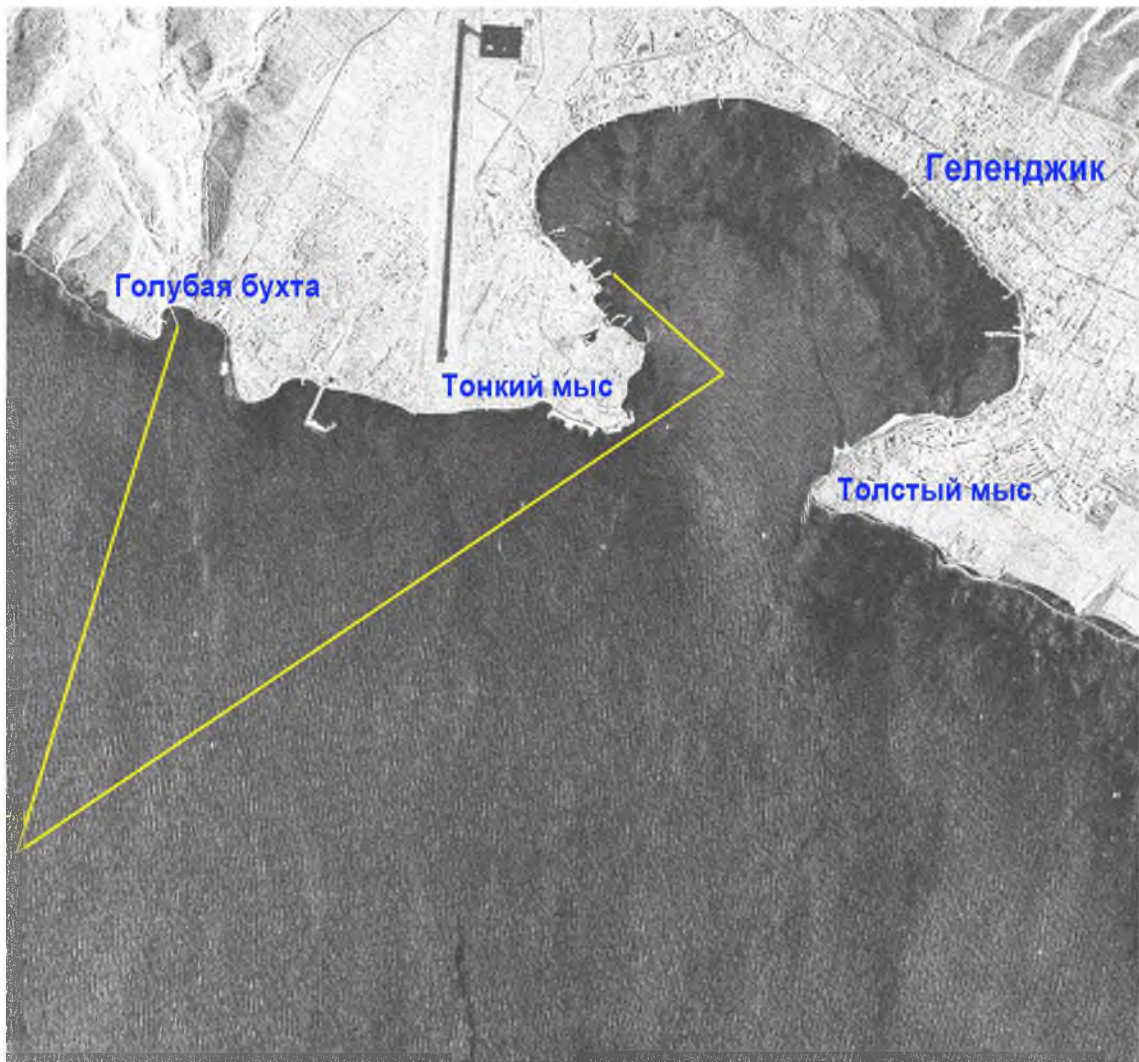


Рис. 1. Район проведения подспутниковых измерений.
Фрагмент радиолокационного изображения TerraSAR-X, от 30.09.2011;
пространственное разрешение 3 м. Желтой линией обозначена стандартная
траектория, вдоль которой проводились измерения с яхты

ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИЗ КОСМОСА

Основным источником данных дистанционного зондирования из космоса являются данные спутниковых радиолокаторов. Каждый раз на период проведения экспериментальных работ заказывалась радиолокационная съёмка района эксперимента. До апреля 2012 г. наиболее доступными и информативными для научных целей были данные европейского спутника Envisat. Для исследования тонкой структуры течений в районе экспериментальных работ использовались радиолокационные изображения (РЛИ) усовершенствованного радиолокатора с синтезированной апертурой (ASAR) и композиты различных спектральных каналов спектрометра MERIS. Начиная с осени 2011 г. нами стала заказываться съёмка акватории Черного моря в районе г. Геленджик радиолокаторами, установленными на искусственных спутниках Земли RADARSAT-2

(канадское космическое агентство) и TerraSAR-X (немецкое космическое агентство). Снимки предоставлялись в рамках совместного российско-германского проекта SOAR RADARSAT-2/TerraSAR-X Project #5074 “Detecting and Tracking Small-Scale Eddies in the Black Sea and the Baltic Sea Using High-Resolution RADARSAT-2 and TerraSAR-X Imagery” (DTEddie). В данной статье мы не будем останавливаться на технических характеристиках данных радиолокаторов и особенностях различных продуктов, ими поставляемых, информацию можно найти на официальных сайтах RADARSAT-2 (<http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat2/>) и TerraSAR-X (<http://www.infoterra.de/terrasar-x-satellite>). Наш опыт работы с различными продуктами этих радиолокаторов [17] показал, что для исследования динамических процессов в шельфовой зоне оптимальными являются съемка в маршрутном (Stripmap) режиме на вертикальной поляризации для PCA ИСЗ TerraSAR-X, которая обеспечивает возможность получения РЛИ с пространственным разрешением 3,3 м при ширине полосы обзора 30 км; и съемка в детальном (Multi-Look Fine) режиме съемки для PCA RADARSAT-2, которая обеспечивает возможность получения РЛИ с пространственным разрешением 8 м при ширине полосы обзора 50 км. Изображения более высокого пространственного разрешения имеют более узкую ширину обзора, что затрудняет проведение совместного анализа данных дистанционного зондирования и подспутниковых измерений, поскольку не весь район проведения экспериментальных работ попадает в узкий кадр.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В период проведения натурных измерений в 2011 г. (с 28 сентября по 14 октября) из-за неблагоприятных метеорологических условий несколько дней море было закрыто для выходов. Синхронные подспутниковые измерения были проведены только 30 сентября, 7, 8 и 11 октября. Наряду с сильным ветром преобладающего южного и юго-западного направлений часто шел дождь, временами сильный и продолжительный, вследствие чего на реках сформировался дождевой паводок, и в море попало большое количество взмученной речной воды. Как результат, цвет моря в прилегающих к берегу акваториях сильно поменялся по сравнению с обычным и стал сероватых оттенков, резко повысилось содержание взвешенного вещества. Сильные ливневые дожди, прошедшие 5 октября, когда выпало 26 мм осадков, привели не только к усилению стока мутных речных вод, но и, по всей видимости, переполнению резервуаров очистных сооружений г. Геленджик на Толстом мысу, и сбросу сточных вод в море. Следует заметить, что аварийные сбросы сточных вод на устаревших очистных сооружениях г. Геленджик явление не редкое [11, 18]. О резком повышении концентрации взвешенных веществ в районе Толстого мыса после ливней 5 октября свидетельствуют и данные, полученные из космоса. Так на карте концентрации взвешенного вещества, построенной по данным сенсора MERIS Envisat, от 7 октября 2011 г. видно, что значения концентрации превышают 6 г/м^3 (рис. 2а). Загрязнения разносятся на

большие расстояния от места сброса, захваченные антициклоническим вихрем, размеры которого составили: диаметр большой оси – 35 км; малой – 16 км. Прибрежную часть этого вихря удалось зафиксировать с помощью ADCP, во время проведения 3,3 километровой разреза по акватории шельфа до глубины 35 м (рис. 2б), на котором измерено довольно сильное, до 0,3 - 0,4 м/с юго-восточное течение в прибрежной километровой зоне, что свидетельствует о прохождении антициклонического вихря достаточно больших размеров.

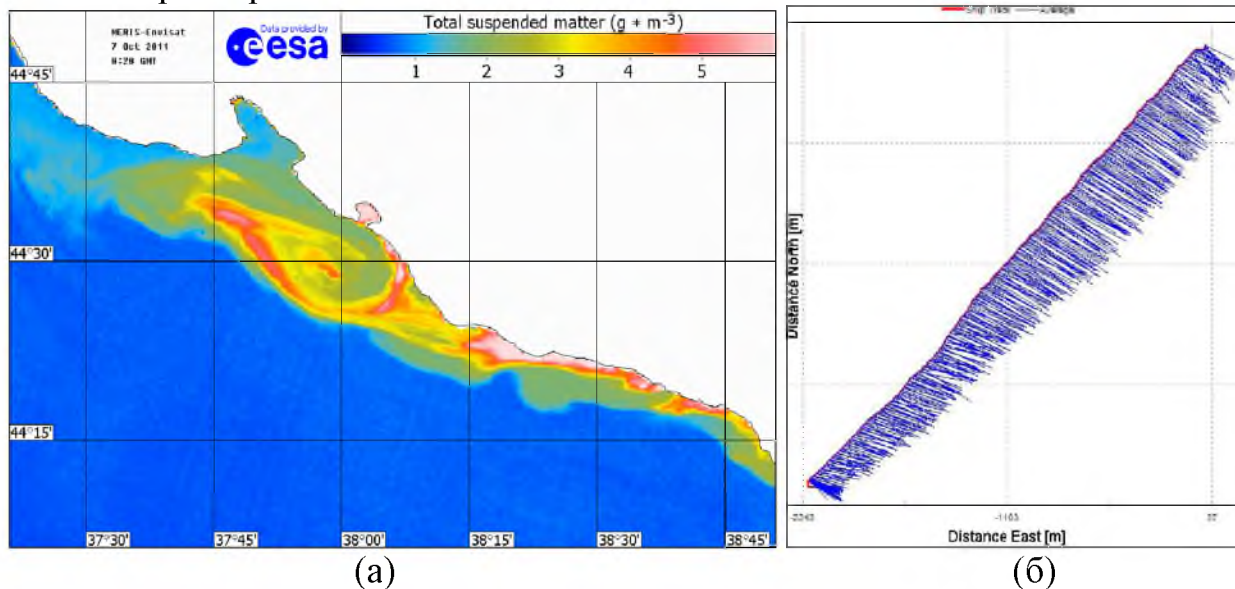


Рис. 2. Распространение загрязненных вод под действием антициклонического вихря 07 октября 2011 г. а) карта концентрации взвешенного вещества, построенная по данным сенсора MERIS Envisat; б) течения на разрезе по данным ADCP, юго-восточное направление свидетельствует о наличии антициклонического вихря

Данные ADCP позволили сравнить картины объемного обратного рассеяния на разрезах до начала периода штормовой погоды (съемка делалась 28 сентября) и после штормового периода (съемка от 8 октября). На рис. 3 приведены соответствующие разрезы. На разрезе до штормовой погоды хорошо различимо положение термоклина, находящегося на глубине 20-21 м, который разделяет толщу на две контрастные области – верхнюю, с относительно слабым рассеянием (значения коэффициента обратного рассеяния в пределах 46-50 дБ) и нижнюю со значительным рассеянием (56-59 дБ). После шторма картина обратного рассеяния акустического сигнала кардинальным образом изменилась. Положение заглубившегося термоклина до 22-27 м видно нечетко, в то время как зона максимума обратного рассеяния (со значениями коэффициента рассеяния 61-67 дБ) переместилась в приповерхностные слои моря, занимая горизонты от поверхности до глубин 8-10 м и простираясь непосредственно от береговой зоны на расстояние около 3 км в море. На большем удалении от берега зона повышенного обратного рассеяния заглубилась до 18-20 м, приняв пятнистый характер распределения коэффициента обратного рассеяния по разрезу. Ниже этой

зоны располагалась вода со значениями коэффициента рассеяния в пределах 55 - 57 дБ. На РЛИ, полученном радиолокатором ASAR Envisat 08 октября, район загрязненных вод проявляется в виде области пониженного рассеяния (темного цвета) вдоль береговой черты в районе Геленджикской и Голубой бухт и занимает площадь около 60 км² (рис. 4а). В то же время, основываясь на карте концентрации взвешенного вещества, построенной по данным MERIS Envisat также от 8 октября, можно сделать вывод, что загрязненные воды распространились на гораздо большее расстояние под действием Основного черноморского течения (рис. 4б).

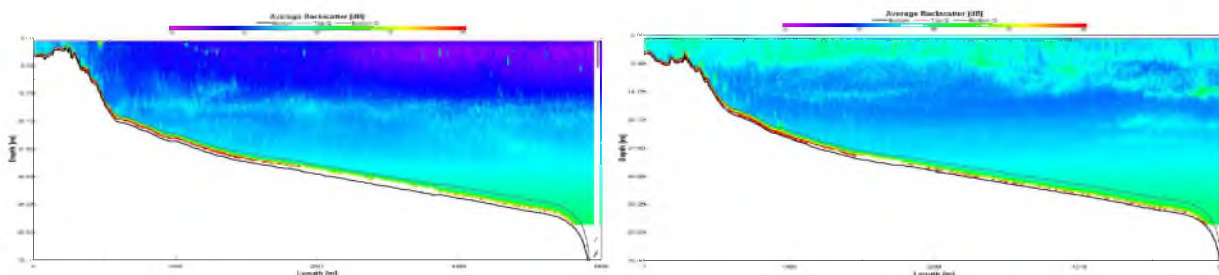


Рис. 3. Картины обратного рассеяния на сечениях поперек шельфа до шторма (28 сентября) – слева, и после шторма (8 октября) – справа

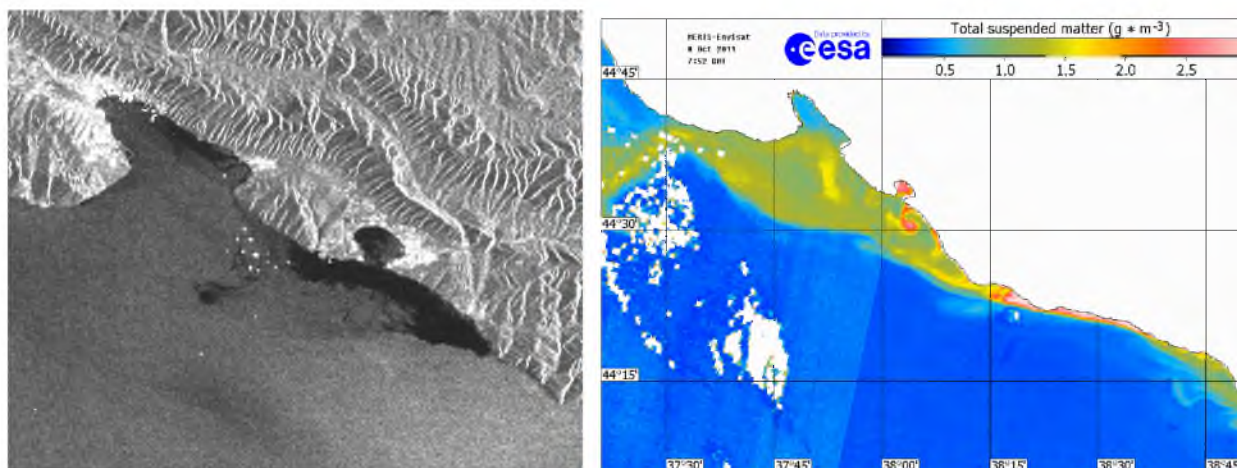


Рис. 4. Распространение загрязненных вод 8 октября:
 а) фрагмент радиолокационного изображения ASAR Envisat; пространственное разрешение 150 м. Темная область соответствует району повышенного загрязнения морской поверхности; б) карта концентрации взвешенного вещества, построенная по данным сенсора MERIS Envisat

Особый интерес представляют результаты, полученные 11 октября 2011 г. Подспутниковые измерения с яхты с помощью ADCP позволили сделать два разреза в виде расходящихся ножниц из точки у свала глубин. Характер течений на обоих сечениях в целом совпадает (рис. 5а). При движении от берега на разрезе встречается юго-восточное течение со средней скоростью около 0,2 м/с. На расстоянии около 2,4 км по галсу течение уменьшается и заворачивает по часовой стрелке, затем, снова набирая силу, увеличивается, достигая 0,15 м/с в дальней точке разреза, уже сменив

направленность на северо-западную. Характер течения, измеренного 11 октября, свидетельствует о прохождении антициклонического вихря, диаметр которого приблизительно равен 10 км.

Измерения с помощью ADCP показали, что данный мелкомасштабный вихрь существенно трехмерный – юго-восточное прибрежное противотечение сохраняет свое направление до глубины 20 м (рис. 5б). При этом вся водная толща достаточно сильно рассеивает акустический сигнал, что говорит об оставшейся после штормовой погоды и ливней загрязненности воды. Наибольшее рассеяние продолжает оставаться в приповерхностных водах, где коэффициент рассеяния составляет 60 дБ и больше.

Натурные измерения проводились одновременно с радиолокационной съемкой высокого пространственного разрешения с помощью RADASAR-2 (разрешение в точке 2 м) и TerraSAR-X (разрешение в точке 1,2 м). Разница во времени между пролетами составляла 6 минут. Спустя 4 часа была проведена съемка сенсором MERIS Envisat, на основе данных которого была построена карта концентрации взвешенного вещества. Совместный анализ спутниковых данных и натурных измерений показал, что мелкомасштабный антициклонический вихрь, выявленный с помощью ADCP являлся частью более крупной вихревой структуры, распространяющейся в юго-восточном направлении. Максимальные значения измеренной скорости прибрежного противотечения совпадают с положением сликовой полосы, наблюдаемой на обоих радиолокационных снимках (рис. 5 в). Темная область в районе Толстого мыса свидетельствует о том, что загрязненные воды продолжают поступать с коммунальных очистных сооружений.

Совместный анализ данных ADCP с данными спутникового зондирования выявил, что область, охваченная юго-восточным течением, является зоной пониженной концентрации взвешенного вещества и наоборот, северо-западное течение приходится на область повышенной концентрации взвешенного вещества, распространяющегося от Толстого мыса (рис. 5г).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подспутниковые измерения с яхты с помощью ADCP, проведенные в сентябре-октябре 2011 г. в северо-восточной части Черного моря в районе г. Геленджик в период до, во время и после сильных ливневых дождей, позволили оценить влияние динамических процессов, в первую очередь субмезомасштабных вихрей на распространение загрязнений в прибрежной зоне. Данные дистанционного зондирования из космоса в микроволновом и видимом диапазонах электромагнитного спектра позволили не только выявить акватории, загрязненные мутными речными водами и аварийными сбросами коммунальных очистных сооружений по радиолокационным данным ASAR Envisat, TerraSAR-X RADARSAT-2, но и оценить количественно концентрацию взвешенных веществ по данным сенсора MERIS Envisat.

Во время проведения экспериментальных работ удалось пронаблюдать формирование и перемещение прибрежного антициклонического вихря диаметром 20 км и субмезомасштабных вихрей диаметрами 5-7 км и измерены инициированные им течения в шельфовой зоне. Загрязненные воды под действием этих вихрей распространялись более чем на 30 км.

Данные ADCP позволили сравнить картины объемного обратного рассеяния на разрезах при разной степени загрязненности вод прибрежной зоны и оценить распространение загрязнений по глубине.

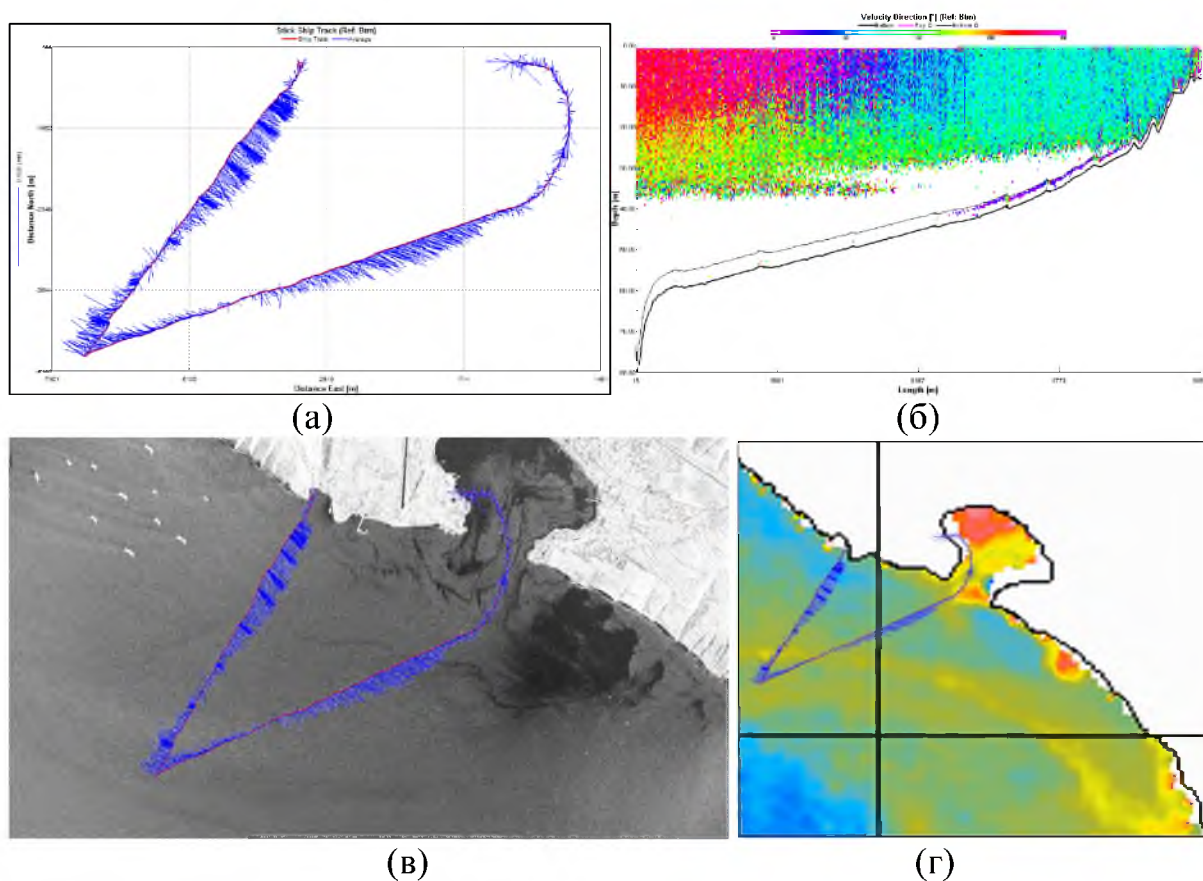


Рис. 5. Прохождение антициклонического вихря 11 октября 2011 г.
 а) течения на разрезе по данным ADCP; б) направление течения на втором разрезе; в) фрагмент RADARSAT-2 изображения, полученное 11.10.11 с разрешением в точке 2 м; г) карта концентрации взвешенного вещества, построенная по данным MERIS Envisat. Синим отмечена скорость и направление течения по данным ADCP в период спутниковой съемки

Работа выполнена в рамках проектов РФФИ 10-05-00428-а и ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009–2013 годы, госконтракт № 14.740.12.1342. Экспедиционные работы проводились при финансовой поддержке проекта РФФИ 11-05-10020-к. Авторы выражают глубокую благодарность Соловьеву Д.М. (Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь) за обработку данных MERIS Envisat.

Радиолокационные данные RADARSAT-2 и TerraSAR-X получены в рамках международного проекта "SOAR RADARSAT-2/TerraSAR-X Project

#5074". Спутниковые радиолокационные изображения ASAR Envisat предоставлены Европейским космическим агентством в рамках проекта С1Р.6342.

Список литературы

1. Булатов М.Г., Кравцов Ю.А., Кузьмин А.В., Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Раев М.Д., Скворцов Е.И. Микроволновые исследования морской поверхности в прибрежной зоне (Геленджик 1999–2002). М.: КДУ, 2003б. 143 с.
2. Зацепин А.Г., Корж А.О., Кременецкий В.В. Островский А. Г., Поярков С. Г., Соловьев Д. М. Изучение гидрофизических процессов на шельфе и верхней части континентального склона Черного моря с использованием традиционных и новых методов измерений // Океанология. 2008. Т. 48. №4. С. 510–519.
3. Зацепин А.Г., Баранов В.И., Кондрашов А.А., Корж А.О., Кременецкий В.В., Островский А.Г., Соловьев Д. М. Субмезомасштабные вихри на кавказском шельфе Черного моря и порождающие их механизмы // Океанология. 2011. Т. 51. № 4. С. 592–605.
4. Кривошея В.Г., Титов В.Б., Овчинников И.М. Новые данные о режиме течений на шельфе в северо-восточной части Черного моря 2001 // Океанология. 2001. Т. 41. № 3. С. 325–334.
5. Серебряный А.Н., Лаврова О.Ю. Антициклонический вихрь на шельфе северо-восточной части Чёрного моря: совместный анализ космических снимков и данных акустического зондирования толщи моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т.5.№2. С. 206-215.
6. Титов В.Б. О роли вихрей в формировании режима течений на шельфе Черного моря и в экологии прибрежной зоны // Океанология. 1992. Т. 32. № 1. С. 39–48.
7. Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., Nezlin N.P., Krivosheya V.G., Yakubenko V.G., Soloviev D.M., Stanichny S.V. Mesoscale eddies and related processes in the northeastern Black Sea // Journal of Marine Systems. 2002. V. 32. no 1-3. P. 91-106.
8. Lavrova O.Yu., Bocharova T.Yu. Satellite SAR observations of atmospheric and oceanic vortex structures in the Black Sea coastal zone // Advance in Space Research, 2006. 38 (10), P. 2162-2168.
9. Lavrova, O., Mityagina, M., Bocharova, T. and M. Gade., "Multisensor observation of eddies and mesoscale features in coastal zones," In the book Remote Sensing of the European Seas, Barale, Vittorio; Gade, Martin (Eds.) Springer, 463-474 (2008).
10. Лаврова О.Ю., Каримова С.С., Митягина М.И., Бочарова Т.Ю. Оперативный спутниковый мониторинг акваторий Черного, Балтийского и Каспийского морей в 2009-2010 годах // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2010. Том 7. № 3. С. 168-185.

11. 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. 472 с.

12. Mityagina Marina I., Lavrova Olga Yu., Satellite survey in the Black Sea coastal zone // International Water Technology Journal. 2012. Vol. 2. Issue 1. P. 67 – 79.

13. Литовченко К.Ц., Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Иванов А.Ю., Юренко Ю.И. Нефтяные загрязнения восточной части Черного моря: космический мониторинг и подспутниковая верификация // Исследование Земли из космоса, 2007. № 1. С. 81-94.

14. Бедрицкий А.И., Асмус В.В., Кровотынцев В.А., Лаврова О.Ю., А.Г. Островский. Спутниковый мониторинг загрязнения российского сектора Черного и Азовского морей в 2003-2007 г.г. // Метеорология и гидрология, 2007, № 11. С. 5-13.

15. Lavrova Olga; Andrey Serebryany; Tatiana Bocharova and Marina Mityagina. Investigation of fine spatial structure of currents and submesoscale eddies based on satellite radar data and concurrent acoustic measurements // Proc. SPIE 8532, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2012, 85320L (October 19, 2012); doi:10.1117/12.970482.

16. Сабинин К.Д., Серебряный А.Н. Применение акустических доплеровских профилометров течений для изучения пространственной структуры морской среды // Акустический журнал. 2012. Т.58. №3. С. 639-648.

17. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Каримова С.С., Бочарова Т.Ю. Применение радиолокаторов RADARSAT-2 и TerraSAR-X для исследования гидродинамических процессов в океане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. № 2. С. 312-323.

18. Лаврова О.Ю., Митягина М.И. Спутниковый мониторинг пленочных загрязнений поверхности Черного моря // Исследование Земли из космоса, 2012. № 3 С. 48–65.

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОД РОССИИ И ЭСТОНИИ

Лебедев С.А.^{1,2}, Костяной А.Г.^{3,4}

¹ *Геофизический центр Российской академии наук (Москва, Россия)*

² *Институт космических исследований Российской академии наук
(Москва, Россия)*

E-mail: lebedev@wdcb.ru

³ *Институт океанологии имени П.П. Ширшова Российской академии наук
(Москва, Россия)*

⁴ *Льежский университет, (Льеж, Бельгия)*

E-mail: kostianoy@gmail.com

Введение

Водосборные бассейны многих рек и озер, водоносные горизонты расположены на территории двух или нескольких стран. Устойчивое управление такими совместно используемыми водными ресурсами требует применения общих подходов к предотвращению, ограничению и сокращению загрязнения на основе совместных целей и институциональных рамок. Впервые принципы трансграничного сотрудничества были отражены в Конвенции Европейской экономической комиссии ООН по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер [1]. Согласно Конвенции «трансграничные воды означают любые поверхностные или подземные воды, которые обозначают, пересекают границы между двумя или более государствами или расположены на таких границах; в тех случаях, когда трансграничные воды впадают непосредственно в море, пределы таких трансграничных вод ограничиваются прямой линией, пересекающей их устье между токами, расположенными на линии малой воды на их берегах» [1].

Конвенции была принята в Хельсинки 17 марта 1992 г. (введена в действие Постановлением Правительства Российской Федерации от 13 апреля 1993 г. № 331) и вступила в силу в октябре 1996 г. Она затрагивает следующий круг тем: предупреждение, контроль и сокращение трансграничных воздействий; сотрудничество в области научных исследований и технологий для предупреждения, контроля и сокращения трансграничных воздействий; обмен экологической информацией и ее защита.

Трансграничные водотоки и международные озера Российской Федерации

Протяженность границ Российской Федерации (РФ) составляет 60 933 км, причем более половины границ проходит по водным пространствам (7 141 км - по рекам, 475 км - озерам и 38 807 км - по морям) [2]. Общая площадь бассейнов 37 трансграничных рек составляет $9\,231 \cdot 10^3 \text{ км}^2$ (табл. 1) соизмеримо с площадью

суши РФ $16\,377 \cdot 10^3 \text{ км}^2$ [3]. РФ принадлежит 56,4% (или 22,4%²) этой территории. Таким образом более 34,3% (или 56,0%¹) площади водосборных бассейнов трансграничных рек расположено за пределами РФ в 17 государствах (табл. 1).

Таблица 1. Трансграничные водосборные бассейны рек на территории Российской Федерации (по материалам [4-10]).

Река	Длина, км	Общая площадь бассейна, км ²	Пограничные страны	Площадь бассейна в погр. странах, км ²	Водный объект, принимающий сток
<i>Бассейн Карского моря</i>					
Енисей	3 487 ^{3,4}	2 580 000	Россия Монголия	2 261 700 318 300	Карское море, Енисейский залив
Обь	3 650 ⁵	2 990 000	Россия Монголия Казахстан Китай	2 192 700 200 752 050 45 050	Карское море, Обская губа
<i>Бассейн Баренцева моря</i>					
Паз (Патсойки)	142	18 403	Россия Норвегия Финляндия	2 782 1 109 14 512	Баренцево море, Варангер-фьорд
Ворьема (Якобсэльв)	45	400	Россия Норвегия	100 300	Баренцево море, Варяжский залив
Оуланкайоки	135	5 566	Россия Финляндия	651 4 915	оз. Панаярви
Тулома	64	21 140	Россия Финляндия	17 855 3 285	Баренцево море, Кольский фьорд
<i>Бассейн Балтийского моря</i>					
Кемийоки	483	51 127	Россия Норвегия Финляндия	1 633 27 49 467	Балтийское море, Ботнический залив
Оулуйоки	107	22 841	Россия Финляндия	332 22 509	Балтийское море, Ботнический залив
Янисйоки	95	3 861	Россия Финляндия	1 873 1 988	оз. Ладожское
Бассейн рек Китенйоки-Тохмайоки	80	1 595	Россия Финляндия	760 835	оз. Ладожское
Кокколанйоки	53	1 415	Россия Финляндия	386 1 029	оз. Вейяланьярви
Вуокса (озёрно-речная система)	156	68 501	Россия Финляндия	15 805 52 696	оз. Суходольское
Юустиланйоки		296	Россия Финляндия	118 178	Балтийское море, Финский залив
Селезнёвка (Ракколанйоки)	53	215	Россия Финляндия	59 156	Балтийское море, Финский залив
Серьга (Урпаланйоки)	100	557	Россия Финляндия	90 467	Балтийское море, Финский залив
Нарва (Наро́ва)	77	56 200	Россия Эстония Латвия	36 100 17 000 3 100	Балтийское море, Финский залив
Западная Двина (Даугава)	1 020	58 700	Россия Латвия Белоруссия Литва	9 500 20 200 28 300 800	Балтийское море, Рижский залив

² - Без учета бассейнов рек Енисей и Обь. Доля бассейнов этих рек на территории Российской Федерации составляет 87,7% и 73,3% соответственно

³ - 4287 км от истоков Малого Енисея.

⁴ - 4123 км от истоков Большого Енисея.

⁵ - 5410 км от истока Иртыша.

Таблица 1. (продолжение).

Река	Длина, км	Общая площадь бассейна, км ²	Пограничные страны	Площадь бассейна в погр. странах, км ²	Водный объект, принимающий сток
Неман (Неманец, Нямунас)	937	98 200	Россия	6 300	Балтийское море, Куршский залив
			Латвия	6 080	
			Белоруссия	34 650	
			Литва	42 970	
Преголя (Прегель, Приеглиус)	123 ⁶	15 500	Россия	7 915	Балтийское море, Калининградский (Вислинский) залив
			Литва	65	
			Польша	7 520	
<i>Бассейн Черного моря</i>					
Днепр	2 200	504 000	Россия	90 700	Черное море, Днепровско-Бугский лиман
			Беларусь	121 000	
			Украина	292 300	
Северский Донец	1 053	98 900	Россия	44 500	Дон
			Украина	54 400	
Псоу	53	421	Россия	189	Черное море
			Абхазия	232	
<i>Бассейн Каспийского моря</i>					
Сулак	144 ⁷	15 200	Россия	14 331	Каспийское море
			Грузия	869	
Андийское Койсу	192	4 810	Россия	3 941	Сулак
			Грузия	869	
Терек	623	43 200	Россия	7 800	Каспийское море, Аграханский залив
			Грузия	35 400	
Самур	213	7 330	Россия	6 990	Каспийское море
			Азербайджан	340	
Урал	2 428	231 000	Россия	83 200	Каспийское море
			Казахстан	147 800	
Илек	623	41 300	Россия	18 500	Урал
			Казахстан	22 800	
Малый Узень	638 (300)	13 200	Россия	5 980	оз. Сораджын
			Казахстан	7 220	
Большой Узень	650 (400)	14 300	Россия	9 660	оз. Айден
			Казахстан	4 640	
			Монголия	32 000	
			Китай	820 000	
<i>Бассейн Охотского моря</i>					
Амур	2 824 ⁸	1 855 000	Россия	1 003 000	Охотское море, Амурский лиман
Аргунь	1 620	164 000	Россия	49 100	Амур
			Китай	114 900	
Уссури	897	193 000	Россия	136 000	Амур
			Китай	57 000	
<i>Бассейн Японского моря</i>					
Раздольная (Суйфун)	245 ⁹	16 830	Россия	6 820	Японское море, Амурский залив
			Китай	10 010	
Туманная (Тумынцзян)	549	33 800	Россия	25	Японское море
			Китай	23 635	
			Северная Корея	10 140	
ВСЕГО					
Все реки	25 759	9 230 808	Россия	6 064 895	(65,7%)
	(25 171)		Другие страны	3 165 913	(34,3%)
Без учета рек Енисей и Обь	18 622	3 660 808	Россия	1 610 495	(44,0%)
	(18 034)		Другие страны	2 050 313	(56,0%)

⁶ - 292 км от истока Анграпой.

⁷ - 336 км от истока реки Андийское Койсу

⁸ - 4 444 км от истока реки Аргуни.

⁹ - 414 км от истока реки Сяосуйфэньхэ.

По акватории пяти озер и одного водохранилища проходит государственная граница РФ. Общая площадь акватории этих водных объектов составляет 69 245,65 км² из них 20,60% принадлежит РФ (табл. 2).

Выше перечисленные данные говорят о том, что задачи мониторинга и контроля трансграничных вод для РФ выходят на первый план.

Таблица 2. Трансграничные озера и водохранилища Российской Федерации (по материалам [4-11]).

Озера / Водоохранилища	Площадь бассейна, км ²	Общая площадь озера/вдхр., км ²	Пограничные страны	Площадь озера/вдхр. в погр. странах, км ²
оз. Пюхьярви	804,00	248,00	Россия Финляндия	41,00 207,00
оз. Сайма	69 500,00	61 054,00	Россия Финляндия	9 158,00 51 896,00
оз. Нуйямаярви	112,00	7,65	Россия Финляндия	4,92 2,73
вдхр. Нарвское	55 848,00	191,00 ¹⁰	Россия Эстония	40,00 151,00
оз. Чудско-Псковское (Peipsi)	47 815,00	3 555,00	Россия Эстония	1 993,87 1 561,13
оз. Ханка (Синкай)	17 500,00	4 190,00	Россия Китай	3 030,00 1 160,00
ВСЕГО	191 579,00	69 245,65	Россия Другие страны	14 267,79 (20,60%) 54 977,86 (79,40%)

Цели и задачи мониторинга состояния природной среды

В связи с необходимостью выявить антропогенные изменения состояния природной среды возникла потребность в организации специальной информационной системы - системы наблюдения и анализа состояния природной среды, в первую очередь загрязнений и эффектов, вызываемых ими в биосфере. Именно такую систему в 1974 г. Ю.А. Израэль предложил называть *мониторингом состояния природной среды*, а точнее, *мониторингом антропогенных изменений окружающей природной среды*. В соответствии с определением мониторинга в него включаются в качестве основных элементов наблюдения за факторами воздействия и состоянием окружающей среды, прогноз ее будущего состояния и оценка фактического и прогнозируемого состояния природной среды [12].

Понятие мониторинга в настоящее время широко используется в различных областях деятельности, поэтому смысл, вкладываемый в него, широко варьирует. Обычно под мониторингом подразумевается регулярная система наблюдений, имеющая целью получение информации, необходимой для осуществления и планирования тех или иных видов деятельности. Основой мониторинга, как правило, является программа, определяющая перечень наблюдаемых показателей, порядок производства наблюдений, содержание создаваемой информационной продукции. Опыт, накопленный в различных

¹⁰ - При штатном уровне бьефа 25 м.

областях деятельности, показывает, что при формировании программы мониторинга в обязательном порядке должны учитываться несколько обстоятельств. Во-первых, это правовые основы мониторинга, как общественно значимой информационной системы. Во-вторых, это цели и задачи мониторинга, в которых отражено предназначение информации, являющейся основной продукцией этой системы. В третьих, это специфические особенности, присущие явлениям и процессам, выступающим в качестве объекта наблюдений.

Согласно Постановлению Правительства РФ № 219 от 10 марта 2007 г. «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов»¹¹, Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды при осуществлении мониторинга поверхностных водных объектов:

- осуществляет регулярные наблюдения за состоянием поверхностных водных объектов в части количественных и качественных показателей состояния водных ресурсов, внутренних морских вод и территориального моря Российской Федерации, континентального шельфа и исключительной экономической зоны Российской Федерации на базе государственной наблюдательной сети¹²;
- проводит оценку и прогнозирование изменений состояния поверхностных водных объектов в части количественных и качественных показателей состояния водных ресурсов;
- обеспечивает сбор, обработку, обобщение и хранение сведений, полученных в результате наблюдений за водными объектами, и представление в Федеральное агентство водных ресурсов данных мониторинга поверхностных водных объектов с учетом данных мониторинга, осуществляемого при проведении работ в области гидрометеорологии и смежных с ней областях, в соответствии с установленными формами и порядком представления данных, а также порядком информационного обмена;
- обеспечивает предоставление федеральным органам исполнительной власти, органам государственной власти субъектов Российской Федерации, органам местного самоуправления, а также юридическим и физическим лицам данных мониторинга поверхностных водных объектов в порядке, установленном Федеральным законом «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».

Основные функции в области фонового мониторинга окружающей природной (в том числе морской) среды традиционно были сосредоточены исключительно у специально уполномоченных на то государственных органов. Это нашло отражение во введенном в действие в 2002 году Законе РФ «Об охране окружающей среды»: «Государственный мониторинг

¹¹ - В редакции Постановлений Правительства РФ от 22 апреля 2009 г. № 351, от 17 ноября 2009 г. № 830.

¹² - В редакции Постановления Правительства РФ от 22 апреля 2009 г. № 351.

окружающей среды (государственный экологический мониторинг) осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации и законодательством субъектов Российской Федерации в целях наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе за состоянием окружающей среды в районах расположения источников антропогенного воздействия и воздействием этих источников на окружающую среду, а также в целях обеспечения потребностей государства, юридических и физических лиц в достоверной информации, необходимой для предотвращения и (или) уменьшения неблагоприятных последствий изменения состояния окружающей среды».

В последующем развитие законодательства в этой сфере было связано с конкретизацией различных видов экологического мониторинга, а также с расширением прав и обязанностей хозяйствующих субъектов по его проведению. Наряду с осуществлением мониторинга источников антропогенного воздействия предприятия стали привлекаться к выполнению других видов экологического мониторинга.

В соответствии с Водным кодексом РФ (2006 г.) и Постановлением Правительства РФ № 219 от 10 апреля 2007 г. «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов»¹³, мониторинг включает в себя:

- регулярные наблюдения за состоянием водных объектов, количественными и качественными показателями состояния водных ресурсов, а также за режимом использования водоохраных зон;
- сбор, обработку и хранение сведений, полученных в результате наблюдений;
- внесение сведений, полученных в результате наблюдений, в государственный водный реестр;
- оценку и прогнозирование изменений состояния водных объектов, количественных и качественных показателей состояния водных ресурсов.

В соответствии с этими документами существенно расширились понятия о целях, задачах и субъектах реализации фоновый мониторинга морской природной среды. Перечень нормативно-законодательных документов, регламентирующих деятельность по организации и проведению такого мониторинга, представлен в отчете [13, 14].

Составной частью любой программы современного мониторинга экологического состояния суши или морей является спутниковый мониторинг, который обладает большими дополнительными возможностями и преимуществами по сравнению с наземными средствами. Прежде всего, это: глобальное покрытие земного шара; мгновенная съемка обширных территорий и акваторий; наивысшая оперативность в получении данных; возможность ежедневного повтора наблюдений; высокое пространственное

¹³ - В редакции Постановлений Правительства РФ от 22 апреля 2009 г. № 351, от 17 ноября 2009 г. № 830.

разрешение (от 1 км до 50 см); получение комплексных и мультисенсорных данных; возможность организации оперативного комплексного мониторинга для решения широкого круга вспомогательных и дополнительных задач как на море, так и на суше (наводнения, вегетация, водные ресурсы и пр.); существенно низкая стоимость спутникового мониторинга по сравнению с наземными и морскими наблюдениями.

Спутниковые методы давно, широко и активно используются для мониторинга природной среды [14]. Наиболее информативным методом для решения задач дистанционного исследования поверхности Земли из космоса является использование и тематический анализ изображений, полученных приборными комплексами различных частотных диапазонов, установленных на космических аппаратах. Спутниковый мониторинг трансграничных территорий должен стать важнейшим методом контроля их термогидрологического и экологического состояния.

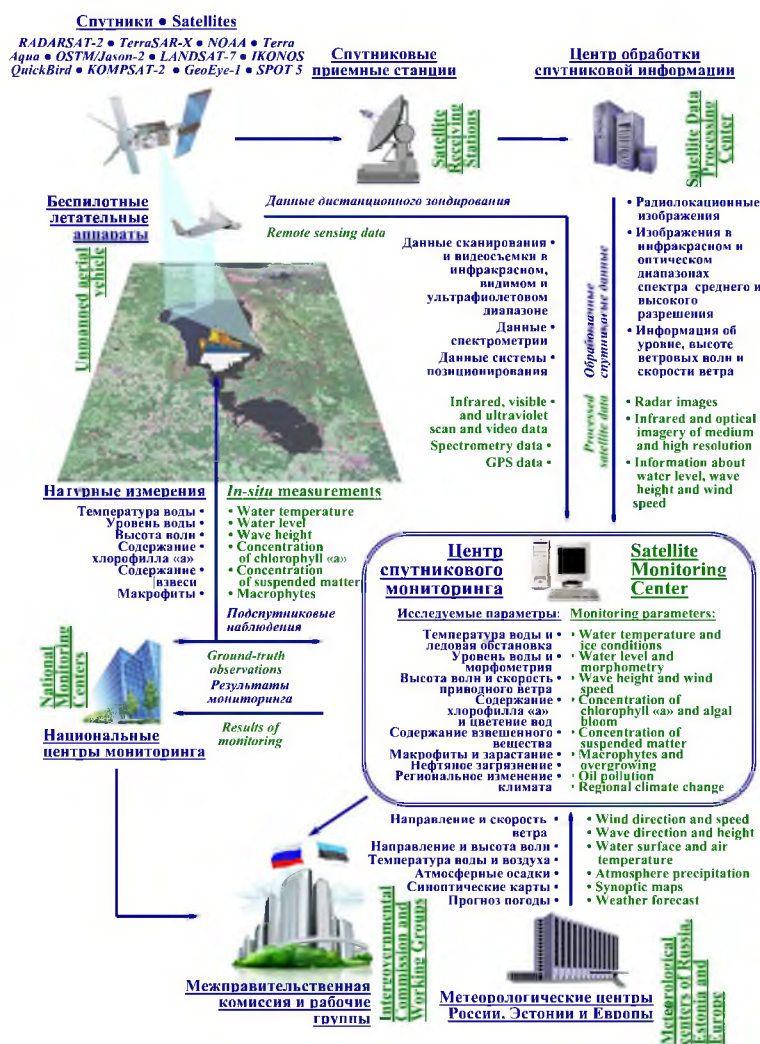


Рис. 1 Обобщенная схема спутникового мониторинга трансграничных водных объектов России и Эстонии [15].

Общая принципиальная схема спутникового мониторинга трансграничных территорий (рис. 1) включает в себя спутники, наземные приемные станции, центры обработки спутниковой информации, океанологические и гидрологические институты и метеорологические центры. Вместе с информацией с беспилотных летательных аппаратов,

самолетов и судов спутниковая, океанографическая и метеорологическая информация поступает в Центр мониторинга, где происходит комплексный анализ всей информации, идентификация загрязнений, делается прогноз на развитие ситуации. Эти данные поступают в Национальные центры мониторинга, Межправительственную комиссию и рабочие группы, которые контролируют состояние трансграничных объектов.

Трансграничные воды России и Эстонии

К трансграничным водным объектам РФ и Эстонии относятся *Чудско-Псковское озеро, река Нарва, Нарвское водохранилище и Финский залив* Балтийского моря. Они играют существенную роль в экономике РФ и Эстонии. Их использование регулируется международными конвенциями и двухсторонними соглашениями между Эстонской Республикой и Российской Федерацией. Среди наиболее значимых соглашений – Соглашение между правительствами Эстонии и России по сотрудничеству в области охраны и рационального использования трансграничных вод (касается водных объектов бассейна реки Нарвы, в том числе Чудско-Псковское озеро), подписанное в Москве 20 августа 1997 г. В целях реализации этого Соглашения в том же году была сформирована Совместная Российско-Эстонская комиссия по охране и рациональному использованию трансграничных вод, которая организует работу на международном уровне между правительствами двух государств и расширяет возможности для сотрудничества научных и общественных организаций с обеих сторон, а также поддерживает участие общественности в обсуждении проблем трансграничных водоемов

Чудско-Псковское озеро (эст. *Peipsi-Pihkva järv*) является четвертым по площади озером в Европе, крупнейшим озером в Эстонии и в Европейской части РФ [10, 11]. Расположено оно на Восточно-Европейской или Русской равнине в одноименной пологой впадине между краевыми образованиями последней ледниковой эпохи и лежит на 30 м выше уровня моря. Озеро имеет сложную конфигурацию и состоит из трёх частей (рис. 2, 3): северное Чудское озеро (эст. *Peipsi järv*), срединное Тёплое озеро (эст. *Lämmijärv*) и южное Псковское озеро (эст. *Pihkva järv*). Площадь его водной поверхности при среднем уровне воды равняется 3555 км², что меньше площади только двух, расположенных в Европейской части РФ озер - Ладожского и Онежского. Средняя глубина озера составляет 7,1 м. Максимальная глубина 15,3 м (табл. 3) находится в самом узком участке Теплового озера (рис. 2) [16].

Водосборный бассейн озера вместе с его акваторией имеет площадь 47 815 км², из которой 27 932 км² принадлежит РФ, 16 323 км² – Эстонии и 3 560 км² – Латвии (рис. 3). Более 240 рек впадает в озеро. Крупнейшими из них являются река Великая длиной 430 км и площадью водосбора 25 200 км², который расположен в основном в РФ и река Эмайыги (эст. *Emajõgi*), длина которой – 218 км, а площадь водосборного бассейна – 9 745 км² [16].

Таблица 3. Морфометрические показатели Чудско-Псковского озера при среднем уровне воды [10, 11, 16].

	Чудское озеро	Теплое озеро	Псковское озеро	Всего
Площадь, км ²	2611,00	236,00	708,00	3555,00
российская часть	1175,00	118,00	700,90	1993,90
эстонская часть	1436,00	118,00	7,10	1561,10
% площади	73,45	6,64	19,92	100,00
% российской части	45,00	50,00	99,00	56,09
% эстонской части	55,00	50,00	1,00	43,91
Объем воды, км ³	21,79	0,60	2,68	25,07
% объема	86,92	2,39	10,69	100,00
Средняя глубина, м	8,30	2,50	3,80	7,10
Максимальная глубина, м	12,90	15,30	5,30	15,30
Длина, км	81,00	30,00	41,00	152,00
Средняя ширина, км	32,00	7,90	17,00	23,00
Максимальная ширина, км	47,00	15,00	20,00	47,00
Длина береговой линии, км	260,00	83,00	177,00	520,00
% длина береговой линии	50,00	15,96	34,04	100,00



Рис. 2. Схематическая карта глубин Чудско-Псковского озера¹⁴.



Рис. 3. Водосборный бассейн реки Нарвы и Чудско-Псковского озера.

Река Нарва (Нарова; эст. *Narva jõgi*) берёт начало из Чудско-Псковского озера и впадает в Нарвскую губу Финского залива Балтийского моря (рис. 3). Длина реки 77 км. Площадь водосбора 56 200 км², собственно на водосборный бассейн Нарвы приходится лишь 8 232 км² или 14,6% от общей площади водосбора, в пределах России – 7 355 км² (в Псковской обл. – 5 786 км², в Ленинградской обл. – 1 569 км²). Ширина реки в основном составляет 200-300 м ниже Нарвской гидроэлектростанции - 300-400 м. В

¹⁴ - Пунктиром показана граница между Россией и Эстонией

верхнем течении реки у острова Пермискюла максимальная ширина реки составляет 900 м (вместе с островами), а в своем устье – 650 м (без островов).

Общее падение реки от истока до устья составляет 31 м. Наибольшее падение наблюдается на Омутских порогах, которые тянутся почти на 8 км с общим падением почти 5 м и на Нарвских водопадах вблизи города Нарва - Кренгольмский, высотой 3,5 м и Йоальский, высотой 7 м и шириной 125 м, что препятствует развитию судоходства на реке. Средняя глубина реки равняется 4-6 м. Наиболее глубокий участок расположен между гидроэлектростанцией и устьем, а самое глубокое место (15 м) находится в устье [17, 18].

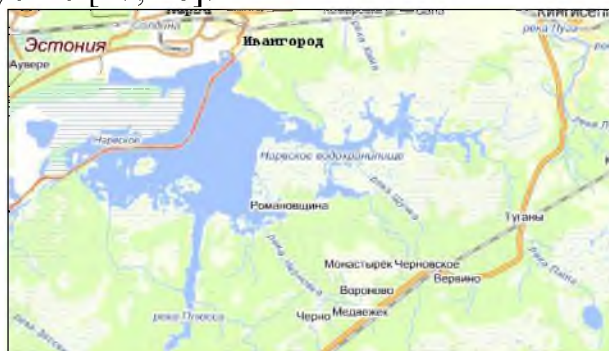


Рис. 4. Географическая карта Нарвского водохранилища



Рис. 5. Водосборный бассейн Финского залива.

В нижнем течении с помощью рукава Россонь река соединяется с рекой Лугой, образуя Лужско-Наровское раздвоение (бифуркацию). Россонь имеет медленное течение, причем направление его периодически меняется: при более высоком уровне в Нарве она течет в Лугу и, наоборот, при обратном соотношении уровней - из Луги в Нарву [10].

Нарвское водохранилище (эст. *Narva veehoidla*) – водохранилище озерного типа на реке Нарве и ее притоке Плюссе, расположено на границе РФ (Ленинградская область) и Эстонии (уезд Ида-Вирумаа) (рис. 4). Площадь водохранилища - 191,4 км², из которых более 150 км² принадлежит России и около 40 км² - Эстонии. Длина водохранилища 40 км, а наибольшая ширина 15 км. Объем водохранилища составляет около 0,365 км³. Оно образовано плотиной длиной 206 м, перекрывающей русло Нарвы (перепад высот 25 м), и водоподпорными сооружениями Нарвского гидроузла (земляные дамбы общей длиной 1 647 м). Гидроузел включает в себя здание Нарвской ГЭС мощностью 125 МВт, спроектированной институтом Ленгидропроект. Левобережная (западная) часть плотины и водохранилища находятся на территории Эстонии. Строительство и заполнение водохранилища происходило в 1950–1955 гг., при этом было затоплено 4 030 га сельхозугодий [18, 19].

Финский залив (фин. *Suomenlahti*, эст. *Soome laht*, швед. *Finska viken*) - залив в восточной части Балтийского моря, омывает берега Финляндии, России и Эстонии (рис. 5). Западной границей залива считается воображаемая линия между полуостровом Ханко и мысом Пыызаспеа (находится возле острова Осмуссаар). Финский залив занимает 7% площади Балтийского моря или $29,5 \cdot 10^3$ км². Длина залива от полуострова Ханко до Санкт-Петербурга – 420 км, ширина от 70 км в горле до 130 км в самой широкой части (на меридиане острова Мощный), а в Невской губе она уменьшается до 12 км. Финский залив мелководен. Профиль дна уменьшается по направлению от горла к вершине. Особенно резкое изменение происходит близ Нарва-Йыэсуу, из-за чего это место называют Нарвской стенкой. Средняя глубина – 38 м, максимальная глубина 121 м, глубина Невской губы – 6 м и менее, а в береговой полосе - до 1 м. Водосборный бассейн Финского залива составляет $421 \cdot 10^3$ км² [20, 21].

Спутниковый мониторинг

Опыт работы российских специалистов в проведении комплексного спутникового мониторинга юго-восточной части Балтийского моря и Финского залива, Каспийского, Азовского и Черного морей [14, 22-31] показал, что создание системы спутникового мониторинга трансграничных вод России и Эстонии должно помочь не только проводить мониторинг основных параметров состояния экологической системы, но и совместно управлять трансграничными водными объектами.

В настоящее время система спутникового мониторинга трансграничных вод России и Эстонии (рис. 1) находится на этапе формирования [15].

Различные активные и пассивные сенсоры способны детектировать видимую, инфракрасную и микроволновую области электромагнитного спектра, которые используются для измерения основных параметров подстилающей поверхности воды/суши.

Цветовые сканеры или *спектрометры* определяют спектральные свойства радиации, восходящей с подстилающей поверхности. Для водных акваторий она несет информацию о прозрачности вод, концентрации взвешенного вещества, содержании хлорофилла, цветении вод и пр. Оптический диапазон также позволяет наблюдать скопления и кромку льда, и при определенных условиях – нефтяные загрязнения. По снимкам в видимом диапазоне определяются границы суши и воды. Это позволяет не только уточнять морфометрические характеристики рек, озер и водохранилищ, но и оперативно следить за развитием паводков на этих водных объектах. Возможности этого типа датчиков дистанционного зондирования для мониторинга акватории Чудско-Псковского озера приведены на рисунках 6а, 6б. Пример комплексного использования этого типа данных для проведения мониторинга распространения взвешенных наносов при строительстве морского газопровода Nord Stream в российских водах Балтийского моря приведен на рисунке 7 [28].

Инфракрасные и микроволновые радиометры используются для измерения температуры подстилающей поверхности океана/моря. В отличие от инфракрасных радиометров и оптических сканеров, пассивные микроволновые сенсоры могут измерять поле температуры в условиях сплошной облачности, правда с меньшей точностью и пространственным разрешением. Инфракрасные радиометры позволяют также наблюдать скопления и кромку льда.

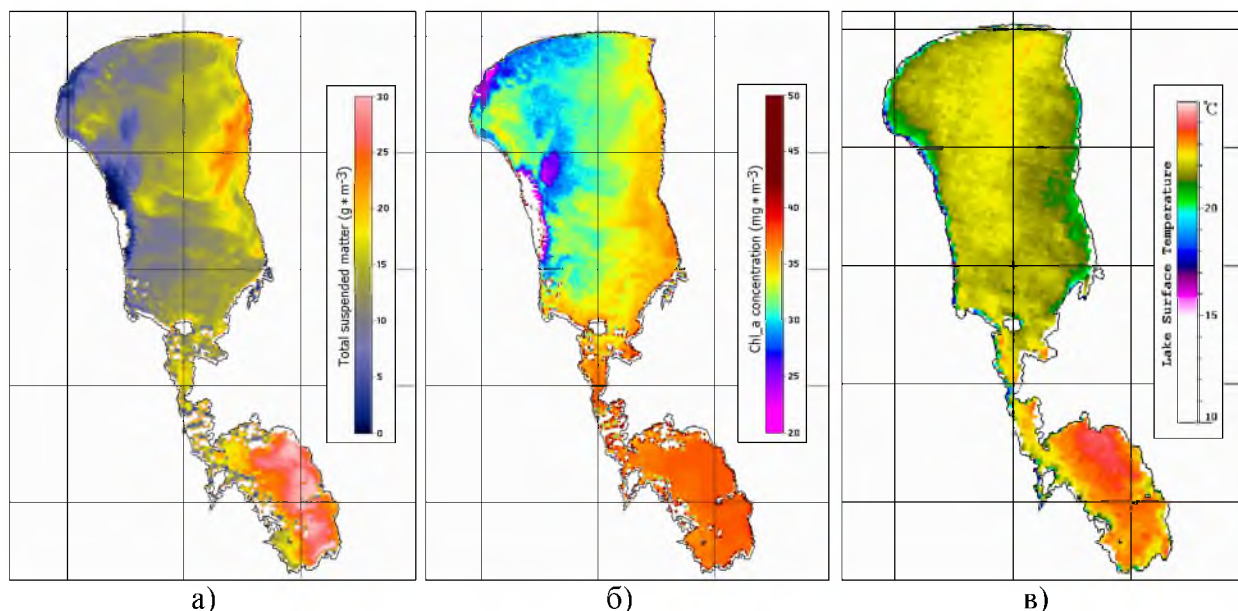


Рис. 6. а) концентрация взвеси ($\text{г}/\text{м}^3$) на акватории Чудско-Псковского озера 28 сентября 2011¹⁵.
 б) содержание хлорофилла «а» ($\text{мг}/\text{м}^3$) на акватории Чудско-Псковского озера 28 сентября 2011².
 в) температура воды ($^{\circ}\text{C}$) Чудско-Псковского озера 6 июля 2010¹⁶.

Многие современные *спектрометры* помимо каналов в видимом диапазоне имеют дополнительно инфракрасный канал¹⁷, что позволяет им так же, как и радиометрам определять температуру подстилающей поверхности (рис. 6в).

Совместный анализ данных в видимом и инфракрасном диапазонах позволяют проводить дешифрирование космических снимков с целью локализации затопленных территорий при наводнении. Провести границу раздела «вода – суша» можно используя следующие факты: в видимом диапазоне спектра вода имеет более высокий коэффициент поглощения¹⁸; в ближнем инфракрасном диапазоне отражательная способность воды ниже, чем в видимом, поэтому индекс вегетации для воды имеет отрицательные значения, а для мокрой земли – близкие к нулю; вода обладает более высокой

¹⁵ - Рассчитано по данным спектро радиометра MERIS спутника ENVISAT с пространственным разрешением 250 м.
¹⁶ - Рассчитано по данным спектро радиометра MODIS спутника AQUA с пространственным разрешением 250 м.
¹⁷ - Такие датчики называются спектро радиометрами.
¹⁸ - На дневных снимках водные поверхности темнее, чем суша.

тепловой инерцией, поэтому водные поверхности ночью теплей, а днем холодней, чем почва [33].

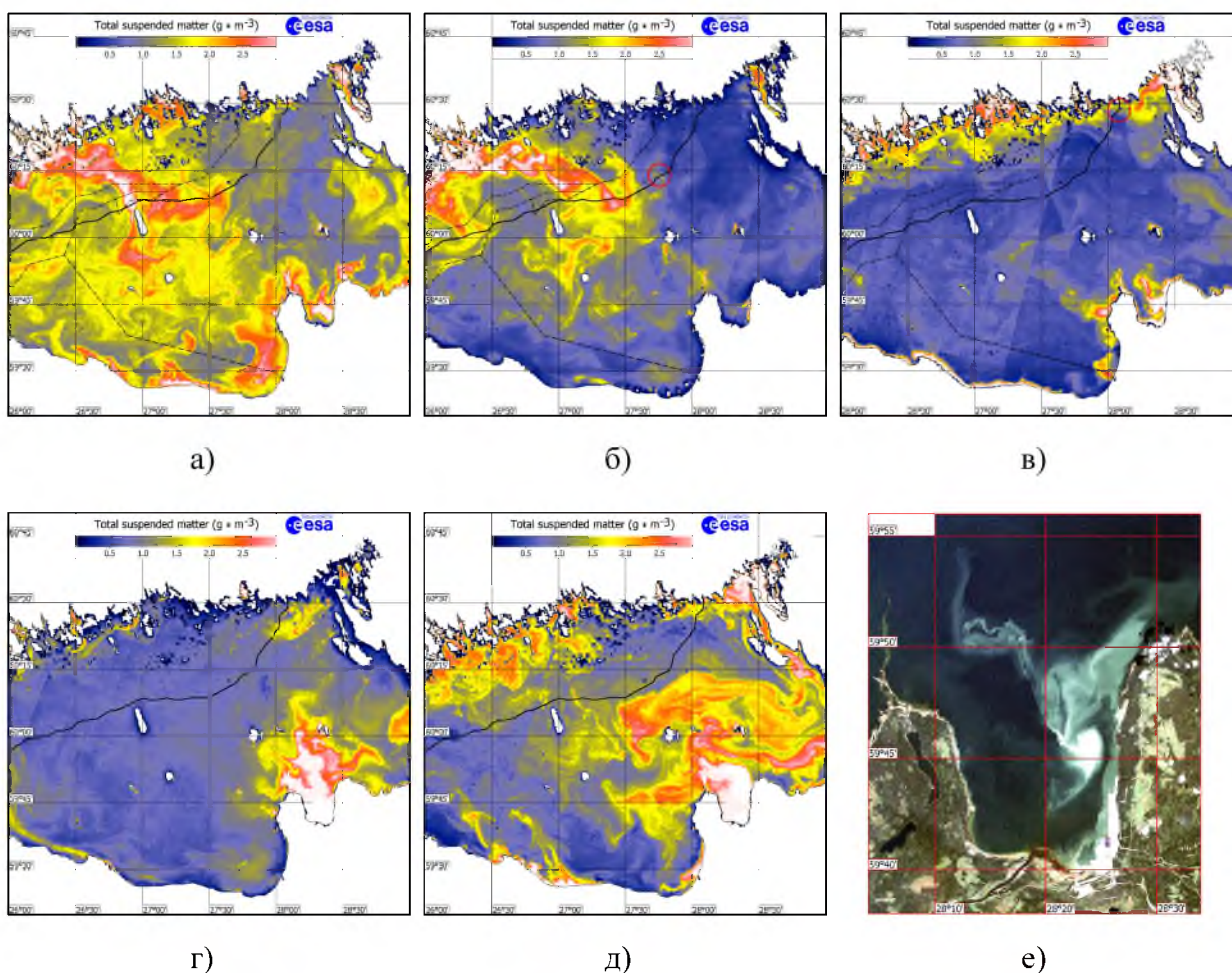


Рис. 7. Спутниковый мониторинг строительства газопровода Nord Stream (пространственное распределение общего содержания взвешенных веществ в Финском заливе $г/м^{-3}$):

- а)¹⁹ 4 июля 2010 г. трансграничный перенос взвеси между Финляндией, Эстонией и Россией;
- б)¹ 8 июля 2010 г. трансграничный перенос взвеси между Финляндией и Россией, и место строительства газопровода Nord Stream (в красном круге);
- в)¹ 16 августа 2010 г. трансграничный перенос взвеси речного плюма Нарвы и взмучивание вод при строительстве нефтяного терминала в Усть-Луге;
- г)¹ 10 июля 2011 г. взмучивание вод при строительстве нефтяного терминала в Усть-Луге;
- д)¹ 4 августа 2011 г. взмучивание вод при строительстве нефтяного терминала в Усть-Луге и мощная адвекция взвеси с востока на запад;
- е)²⁰ 5 сентября 2011 г. взмучивание вод при строительстве нефтяного терминала в Усть-Луге.

Черная линия показывает положение газопровода Nord Stream на акватории Финского залива.

¹⁹ - Рассчитано по данным спектрометра MERIS спутника ENVISAT на основе алгоритмов Европейского космического агентства с пространственным разрешением 250 м.

²⁰ - По данным спектрометра спутника Landsat-5 с пространственным разрешением 30 м.

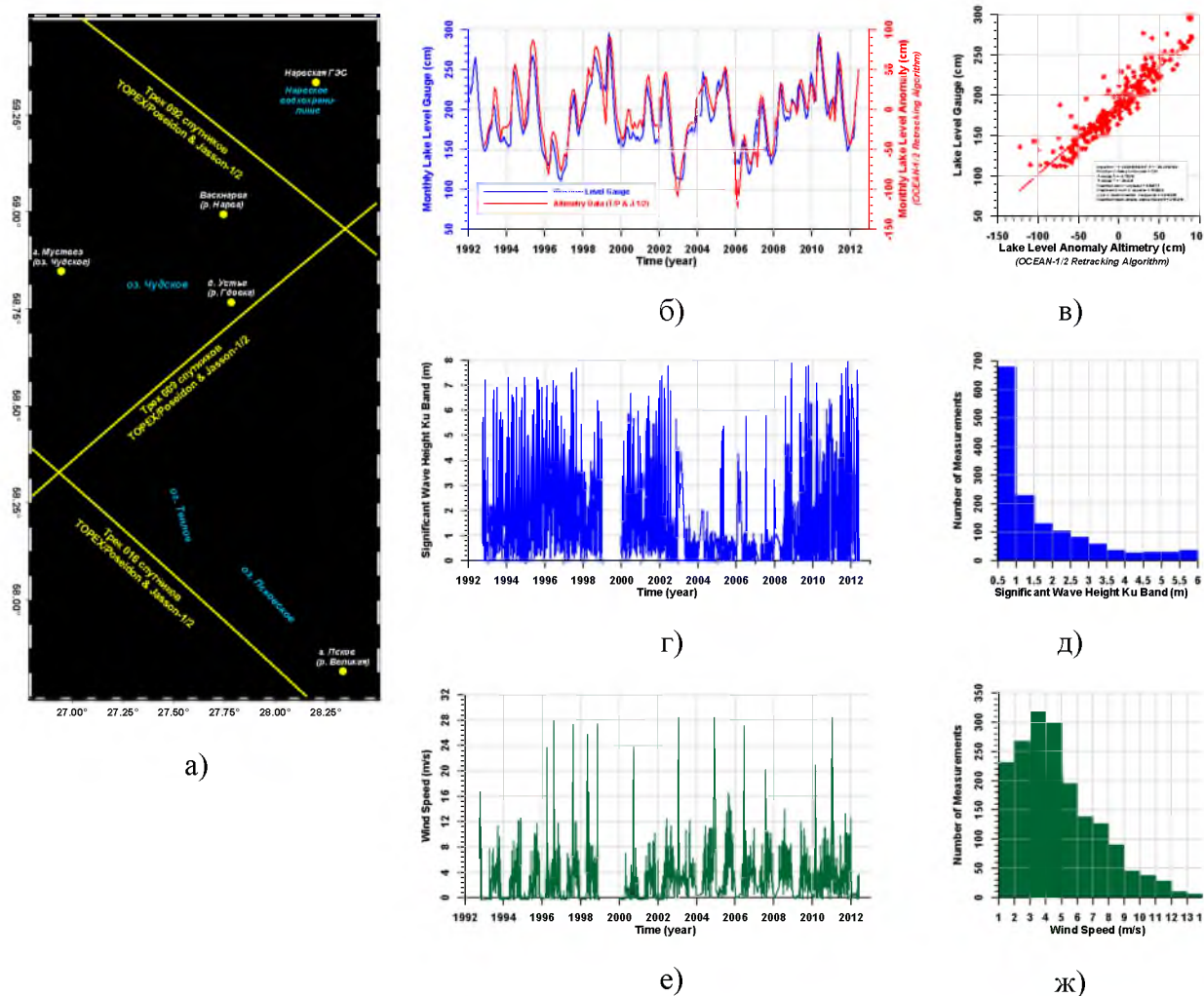


Рис. 8. а) Расположение треков спутников TOPEX/Poseidon (Т/Р) и Jason-1/2 (J1/2) и урвенных постов по акватории и водосборному бассейну Чудско-Псковского озера.
 б) Временная изменчивость среднемесячного уровня Чудского озера по данным урвненного поста Муствез (синяя линия) и данным альтиметрических измерений спутников Т/Р и J1/2 (красная линия) вдоль 9 трека.
 в) Сравнение среднемесячных данных уровня Чудского озера по данным альтиметрических измерений спутников Т/Р и J1/2 и данным урвненного поста Муствез.
 г) Временная изменчивость высоты ветровых волн на акватории Чудского озера по данным альтиметрических измерений спутников Т/Р и J1/2.
 д) Распределение высоты ветровых волн на акватории Чудского озера по данным альтиметрических измерений спутников Т/Р и J1/2.
 е) Временная изменчивость скорости приводного ветра на акватории Чудского озера по данным альтиметрических измерений спутников Т/Р и J1/2.
 ж) Распределение скорости приводного ветра на акватории Чудского озера по данным альтиметрических измерений спутников Т/Р и J1/2.

Активные микроволновые сенсоры (альтиметры, скаттерометры, радары с синтезированной апертурой) используются для определения высоты морской поверхности, уровня океанов, морей, озера, водохранилищ и рек, высоты волн, скорости приводного ветра, наблюдения за ледовым покровом и нефтяным загрязнением. Микроволновые радары позволяет определять

соленость поверхностных вод и влажность почвы, однако, пока еще с недостаточной точностью.

Спутниковый альтиметр (высотомер) позволяет исследовать изменчивость уровня Чудского озера, его ветрового и волнового режимов (рис. 8).

Радары с синтезированной апертурой (РСА), установленные на спутниках ERS-1/2, ENVISAT, Radarsat-1/2 и TerraSAR-X являются незаменимым средством для мониторинга нефтяных загрязнений водных акваторий. Анализ получаемой информации позволяет оперативно отслеживать экологическую обстановку, подверженной антропогенному воздействию различной природы, оценивать площадь и степень ее загрязненности и исследовать физические процессы, определяющие перенос загрязнений по изучаемым акваториям, а иногда и определять виновников нефтяного загрязнения. Возможность обзора в короткие сроки огромных акваторий, а также возможность повторных наблюдений одного и того же региона с небольшим интервалом времени (сутки) делают использование данных дистанционного зондирования наиболее дешевым, оперативным и объективным методом экологического мониторинга трансграничных вод суши и акваторий море. Примеры нефтяных загрязнений, определенных по данным РСА на акватории Финского залива приведены на рисунке 9.

Область применения данных дистанционного зондирования, получаемых с различных спутников, применительно к трансграничным водам, чрезвычайно широка и далеко не исчерпывается приведенными выше примерами:

Заключение

Организация комплексного спутникового мониторинга трансграничных вод России и Эстонии будет иметь важное практическое значение для рационального и экологически чистого природопользования в ходе реализации экономических проектов в водосборных бассейнах трансграничных водных объектов и в прибрежно-шельфовой зоне обеих стран. Область применения результатов мониторинга должна включать: проектирование, строительство, эксплуатацию и мониторинг промышленных гидротехнических объектов на водосборных бассейнах трансграничных водных объектов и в прибрежно-шельфовых зонах морей, прогноз эволюции экосистемы трансграничных водных объектов, рыболовство, оценку регионального изменения климата, информационное обеспечение экологической безопасности хозяйственной деятельности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ: проект № 11-07-12025-офи-м-2011, № 13-05-01125 и 13-01-00753. Спутниковые радиолокационные данные предоставлены Европейским космическим агентством в рамках проектов С1Р.6342 и Веар 2775.

Авторы выражают благодарность Соловьеву Д.М. сотруднику Морского гидрофизического института Национальной академии наук Украины за часть предоставленных материалов.

Список литературы

1. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер. ООН, 1992. 86 с.
2. *Гончаренко А.* Использование ресурсов трансграничных вод: состояние и перспективы. //Мировая экономика и международные отношения, 2002. №5. С. 83-91.
3. Земельный фонд Российской Федерации на 1 января 2011 года. М.: Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр), 2011. 711 с.
4. Водные ресурсы России и их использование. /Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: Государственный гидрологический институт, 2008. 600 с.
5. Вторая оценка трансграничных рек, озер и подземных вод. Нью-Йорк, Женева: ООН, 2011. 448 с.
6. Наши воды: возьмемся за руки минуя границы. Первая оценка трансграничных рек, озер и подземных вод. Нью-Йорк, Женева: ООН, 2007. 392 с.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 2. Карелия и Северо-Запад. /Под ред. Е.Н. Таракановой. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 700 с.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 2. Карелия и Северо-Запад. /Под ред. В.Е. Водогрецкого. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 528 с.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 4. Прибалтийский район. Вып. 1. Эстония. /Под ред. А.А. Лоопманн. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 159 с.
10. *Соколов А.А.* Гидрография СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1952. 287 с.
11. Monitoring of International Lakes. Background paper for the Guidelines on Monitoring and Assessment of Transboundary and International Lakes. /Eds. O.-P. Pietilainen and P. Heinonen. Helsinki: Finnish Environment Institute. 2002. 89 p.
12. *Израэль Ю.А.* Экология и контроль состояния природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 375 с.
13. *Костяной А.Г., Лебедев С.А., Терзиев Ф.С., Григорьев А.В., Никонова Р.Е., Филиппов Ю.Г.* Моря. //Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. /Научный редактор: С.М. Семенов. Росгидромет, 2012. С. 430-478.
14. *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.
15. *Костяной А.Г., Лебедев С.А., Казьмина М.В., Цепелев В.Ю., Варлашина В.М., Нецадимова Т.Г.* Спутниковый мониторинг трансграничных вод России и Эстонии. М.: Сигнал, 2012. 16 с.

16. Псковско-Чудское озеро. /Под. ред. Т. Тимм, А. Раукас, Ю. Хаберман, А. Яани. Тарту: Eesti Loodusfoto, 2012. 496 с.
17. Реки с заповедными территориями в уезде Вирумаа. 2. Река Нарва. /Сост. А.-Л. Фершель, Э.-Л. Туви. Куру–Тарту: Keskkonnaamet, 2010. 176 с.
18. Седова А.А., Бударин В.Ф., Силина Н.И. Состояние водных ресурсов в бассейне реки Нарва. //Разведка и охрана недр. 2005. № 5. С. 49-52.
19. Авакян А.Б., Шарапов В.А. Водохранилища гидроэлектростанций СССР. М.: Энергия, 1968. 384 с.
20. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. М.: Изд-во МГУ, 1982. 192 с.
21. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. III. Балтийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. /Под ред. Ф.С. Терзиева, В.А. Рожкова, А.И. Смирновой. СПб.: Гидрометеиздат, 1972. 452 с.
22. 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.
23. 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.
24. Лаврова О.Ю., Митягина М.И. Мониторинг российских морей. Как спутники помогают бороться с загрязнениями в прибрежной зоне. //Российский космос. 2009. № 5 (41). С. 2-7.
25. Костяной А.Г., Литовченко К.Ц., Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Бочарова Т.Ю., Лебедев С.А., Станичный С.В., Соловьев Д.М., Сирота А.М. Комплексный оперативный спутниковый мониторинг в 2004–2005 годах. //Нефть и окружающая среда Калининградской области, Том 2. Море. /Под ред. Ю.С. Каджояна, О.Е. Пичужкиной, В.В. Сивкова и В.Н. Фельдмана. Калининград: Терра Балтика. 2012. С. 483-518.
26. Костяной А.Г., Лебедев С.А., Соловьев Д.М., Пичужкина О.Е. Спутниковый мониторинг юго-восточной части Балтийского моря. Отчет 2004. ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть». Калининград, 2005. 36 с.
27. Костяной А.Г., Литовченко К.Ц., Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Бочарова Т.Ю., Станичный С.В., Соловьев Д.М., Лебедев С.А., Сирота А.М. Оперативный спутниковый мониторинг нефтяного загрязнения юго-восточной части Балтийского моря. //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2006. Т. 3. № 1. С. 22-31.
28. Гришин Н.Н., Костяной А.Г. О спутниковом мониторинге распространения взвешенных наносов при строительстве морского газопровода Nord Stream в российских водах Балтийского моря в 2010 г. //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 167-175.

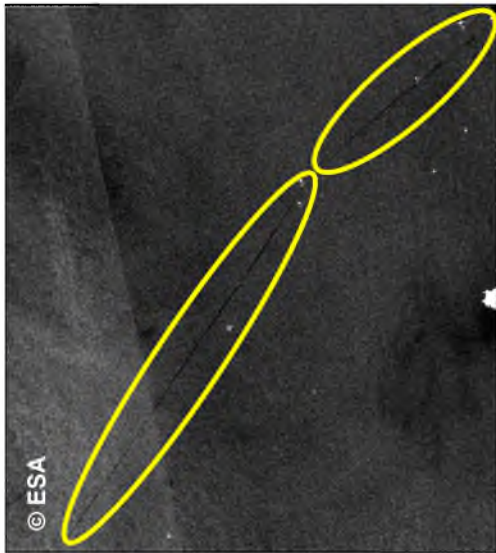
29. *Митягина М.И., Лаврова О.Ю.* Многолетний комплексный спутниковый мониторинг нефтяных загрязнений поверхности Балтийского и Каспийского морей. //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 269-288.

30. *Лаврова О.Ю., Каримова С.С., Митягина М.И., Бочарова Т.Ю.* Оперативный спутниковый мониторинг акваторий Черного, Балтийского и Каспийского морей в 2009-2010 годах. //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 3. С. 168-185.

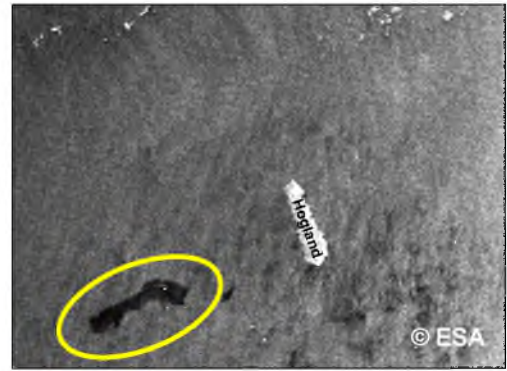
31. *Лаврова О.Ю., Бочарова Т.Ю., Митягина М.И., Строчков А.Я.* Спутниковый мониторинг последствий катастрофического разлива нефтепродуктов в Керченском проливе. //Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. 2009. Вып. 6. Т. 1. С. 409–420.

32. *Костяной А.Г., Лебедев С.А., Зонн И.С., Лаврова О.Ю., Соловьев Д.М.* Спутниковый мониторинг Туркменистана. М.: Сигнал, 2011. 16 с.

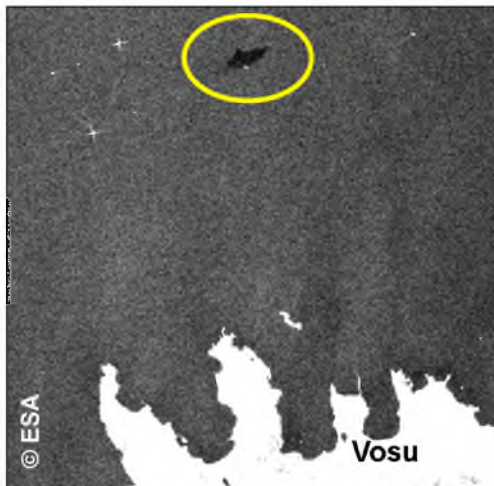
33. *Стивак Л.Ф., Архипкин О.П., Панкратов В.С., Шагарова Л.В., Сагатдинова Г.Н.* Технология мониторинга паводков и наводнений в Западном Казахстане. //Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. 2004. Вып. 1. Т. 1. С. 279–285.



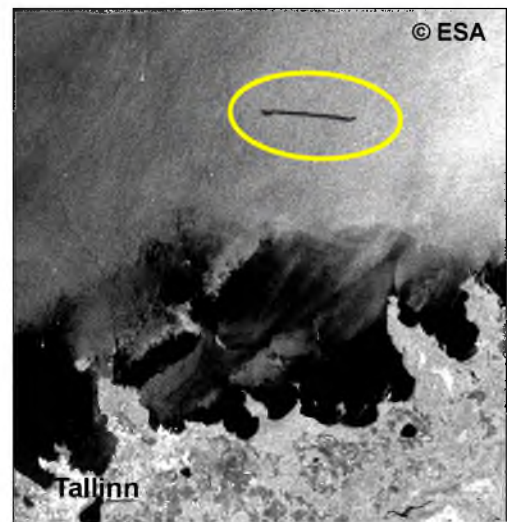
а)



в)



б)



г)

Рис. 5. Нефтяные пятна (выделены желтым цветом) на радиолокационных спутниковых изображениях Финского залива:

- а)²¹ 6 июня 2009 в 20:16 в западной части залива наблюдаются два нефтяных следа за кораблями общей длиной 88,6 км ;
- б) 22 июля 2010 в 20:06 наблюдается сброс нефтепродуктов со стоящего судна, площадь пятна 6,27 км²;
- в) 9 октября 2011 в 08:50 наблюдается нефтяное пятно западнее о-ва Гогланд площадью 28,5 км²;
- д)²² 3 августа 2010 в 09:26 наблюдается нефтяное пятно длиной 12,7 км и площадью 8,4 км² северо-восточнее Таллинна.

Корабли в море видны как яркие белые точки.

²¹ - По данным PCA спутника ENVISAT с пространственным разрешением 75 м.
²² - По данным PCA спутника ERS-2 с пространственным разрешением 75 м.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОГО ИНФОРМАЦИОННОГО СЕРВИСА *SEE THE SEA* ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ВЫЯВЛЕНИЯ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ БАЛТИЙСКОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ

Митягина М.И., Лаврова О.Ю., Лупян Е.А., Уваров И.А.

Институт космических исследований РАН (Москва, Россия)

E-mail: mityag@iki.rssi.ru

Введение

На современном этапе исследование океана невозможно представить без использования информации, полученной с помощью сенсоров, установленных на различных спутниках, специализированных для дистанционного зондирования Земли. Размеры Мирового океана и большая изменчивость его характеристик затрудняют сбор сведений о процессах и явлениях, происходящих в самом океане и атмосфере над ним, поэтому значение наблюдений океана из космоса невозможно переоценить. Область применения данных дистанционного зондирования, получаемых с различных спутников, применительно к морям и океанам, чрезвычайно широка [1,2].

Следует отметить, что благодаря фактически взрывному росту объемов информации, получаемой на основе данных дистанционного зондирования, эффективная работа с этой информацией, в том числе ее комплексный анализ, становятся возможными только посредством использования специально разработанных систем и технологий, позволяющих оперировать с большими, постоянно пополняющимися архивами данных. Эти технологии позволяют реализовать совершенно новые подходы к работе с данными дистанционного зондирования. В частности, в Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) создан и находится в опытной эксплуатации спутниковый сервис *See The Sea* (STS), ориентированный на описание и изучение различных процессов и явлений, происходящих в океане и атмосфере над ним, на основе разнородных данных спутниковых систем дистанционного зондирования [3].

Спутниковый информационный сервис *See The Sea* не только обеспечивает возможность доступа к спутниковым данным, накопленным в архивах различных центров, а также различным информационным продуктам, полученным на их основе, но и предоставляет специалистам различные инструменты для анализа этой информации. В системе также предусмотрены возможности описания различных процессов и явлений, происходящих в Мировом океане, и ведения долговременных баз данных таких описаний.

Структура и основные функции спутникового сервиса *See The Sea*

Автоматический сбор и обработку данных в спутниковом сервисе STS осуществляет специализированная подсистема сбора данных и обработки данных. Для автоматизированного ведения архивов данных создана подсистема ведения специализированных архивов. Обе эти подсистемы созданы на основе разработанных в ИКИ РАН технологий сбора, архивации, обработки и распространения данных [4-8]. Отметим, что данные подсистемы рассчитаны на то, что как источники данных, так и типы входной информации могут меняться и расширяться.

В спутниковом сервисе STS большое внимание уделено вопросу созданию интерфейсов работы данными. Для этого создана специализированная система представления данных, которая обеспечивает работу пользователей с данными посредством развитого картографического WEB-интерфейса, что позволяет организовать работу с данными для распределенных групп исследователей, участвующих в различных научных проектах. Основой при создании системы STS стала технология GEOSMIS, разработанная в ИКИ РАН и хорошо зарекомендовавшая себя при построении систем работы с данными в различных научных и прикладных проектах выполняемых в Институте [9]. Подсистема работы с данными обеспечивает решение нескольких основных групп задач:

- поиск и выбор нужного для анализа набора данных;
- проведение анализа данных и выделение информации о том или ином наблюдаемом на поверхности океана явлении;
- создание описания явления, наблюдаемого на поверхности моря, сохранение данного описания в специализированной базе данных;
- отображение и анализ информации о различных описанных явлениях.

Поскольку спутниковый сервис STS позволяет работать с архивами данных, которые сегодня содержат в общей сложности более ста тысяч сцен различной информации более чем 10 лет, одной из основных процедур, которую вынужден осуществлять исследователь, работающий с сервисом - это поиск и выбор нужного ему для анализа набора данных. Поэтому особое внимание в интерфейсах, используемых в сервисах, уделяется вопросам обеспечения удобного выбора параметров поиска данных (географический район, дата, время, тип информационного продукта, источник, из которого получены данные и т.д.).

В настоящее время спутниковый сервис STS ориентирован на работу со следующими основными типами спутниковых данных и результатов их обработки:

- Радиолокационные данные применяются для изучения широкого класса процессов и явлений, проявляющихся на морской поверхности посредством модуляции гравитационно-капиллярной составляющей спектра поверхностного волнения и протекающих в

океане и атмосфере над ним. Система STS обеспечивает возможность работы с данными сенсоров SAR ERS-1,2, и ASAR Envisat, архив которых ведется в ИКИ РАН с 1999 года. На данном этапе в этих архивах накоплено около 5000 сцен, охватывающих в основном акватории Черного, Балтийского и Каспийского морей. Следует особо отметить, что это один из немногих существующих архивов, содержащих такой объем данных по акваториям этих морей.

- Данные метеорологических спутниковых систем обеспечивают наблюдения в видимом и инфракрасном диапазонах. На основе этих данных восстанавливаются параметры цветности моря, температура морской поверхности, характеристики течений и вихревых структур, оценивается ледовая обстановка и т.д. Система STS обеспечивает возможность работы данными прибор ов AVHRR NOAA, MODIS Terra/Aqua, MERIS Envisat. В архивах ИКИ РАН начиная с 2000 года накоплено несколько десятков тысяч сеансов данных этих сенсоров по территории пограничных морей, которые на данный момент интегрированы в сервис STS.
- Данные природоресурсных спутниковых систем обеспечивают наблюдения в видимой и инфракрасной областях спектра с достаточно высоким пространственным разрешением (несколько десятков метров) и используются для детального анализа различных морских процессов. Система STS обеспечивает возможность работы с данными сенсоров TM и ETM+, установленных, соответственно, на спутниках LANDSAT 5 и LANDSAT 7. В ИКИ РАН накоплены архивы этих данных по территории пограничных морей России, включающие несколько десятков тысяч сцен, интегрированных в спутниковый сервис STS.
- Метеорологические данные. В настоящее время в STS используются архивы метеоинформации, созданные в ИКИ РАН на основе данных, поступающих из Национального центра атмосферных исследований США (NCAR) (<http://dss.ucar.edu/datasets/ds094.0/>). Эти данные получены с помощью модели NCEP Climate Forecast System Version 2 и представлены на основе регулярной сетки с шагом $0,5^\circ$ и временным разрешением 6 часов. Для архивных данных спутниковый сервис STS в настоящее время обеспечивает возможность работы со следующим набором метеорологический параметров: температура воздуха (средняя за период, минимальная и максимальная), количество осадков, относительная влажность, атмосферное давление, облачность, нисходящие и восходящие потоки солнечной радиации, скорость и направление ветра.
- Картографическая информация (карты глубин, береговые линии, населенные пункты и реки находящиеся в береговой зоне и т.д) также интегрирована в спутниковый сервис и используется при анализе различных процессов, происходящих в приграничных

морях России. Дополнительные наборы данных. Спутниковый сервис STS изначально строится как достаточно открытая система, которая должна позволять интегрировать в себя дополнительные наборы данных. При появлении дополнительных спутниковых систем наблюдения система будет расширяться. В частности, в ближайшее время в нее планируется интегрировать данные со спутника NPP, серии нового поколения метеорологических спутников наблюдений США (http://jointmission.gsfc.nasa.gov/spacecraft_inst.html).

Кроме того, в спутниковом сервисе STS имеется возможность оперативно получать доступ к информации из внешних источников на уровне интерфейсов работы с данными. Так, например, исследователям, использующим сервис STS, по согласованию с владельцами архивов данных, может быть открыт доступ к архивам данных НИЦ "Планета" (головная организация, обеспечивающая работу со спутниковыми данными в интересах Росгидромета, <http://planet.iitp.ru/>), НЦ ОМЗ (центр приема и обработки данных ДЗЗ Роскосмоса, <http://www.ntsomz.ru/>), геопортала Роскосмоса (информационный ресурс, поддерживаемый Роскосмосом, обеспечивающий доступ к каталогам и архивам данных, развивающимся в рамках Единой территориально-распределенной системы работы с данными ДЗЗ, создающейся Роскосмосом, <http://geoportal.ntsomz.ru/>).

Произведя выбор данных, необходимых для анализа какого-то объекта или явления, исследователь может, используя возможности интерфейсов STS, начать проведение их анализа. Следует особо отметить, что такая возможность позволяет исключить достаточно трудоемкий этап работы с данными дистанционного зондирования, который в настоящее время присутствует практически во всех системах, использующих такие данные. Это этап создания собственной системы хранения, обработки и анализа данных, ориентированных на конкретный проект или организацию. Спутниковый сервис STS позволяет проводить операции преобразования и анализа данных, не перемещая их в какое-то специализированное хранилище, а получая данные "на ходу" из архивов STS.

В настоящее время интерфейсы STS позволяют, в частности: проводить контрастирование данных, преобразование данных к различным шкалам, сравнение разновременных данных, построение различных цветоситтезированных композитов на основе различных каналов и типов данных (в том числе, используя разновременные данных), оценку численных характеристик параметров различных объектов, поточечный анализ значений для различных продуктов и т.д. Некоторые примеры, такого анализа приведены на рис 1. Следует отметить, что набор операций, которые можно производить с данными в интерфейсах STS, постоянно расширяется.

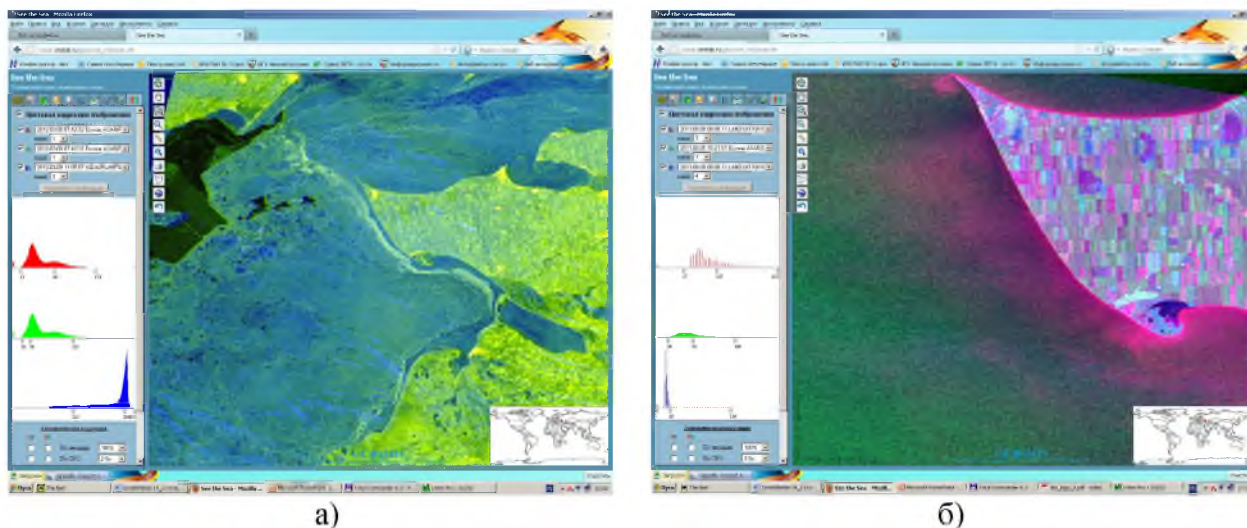


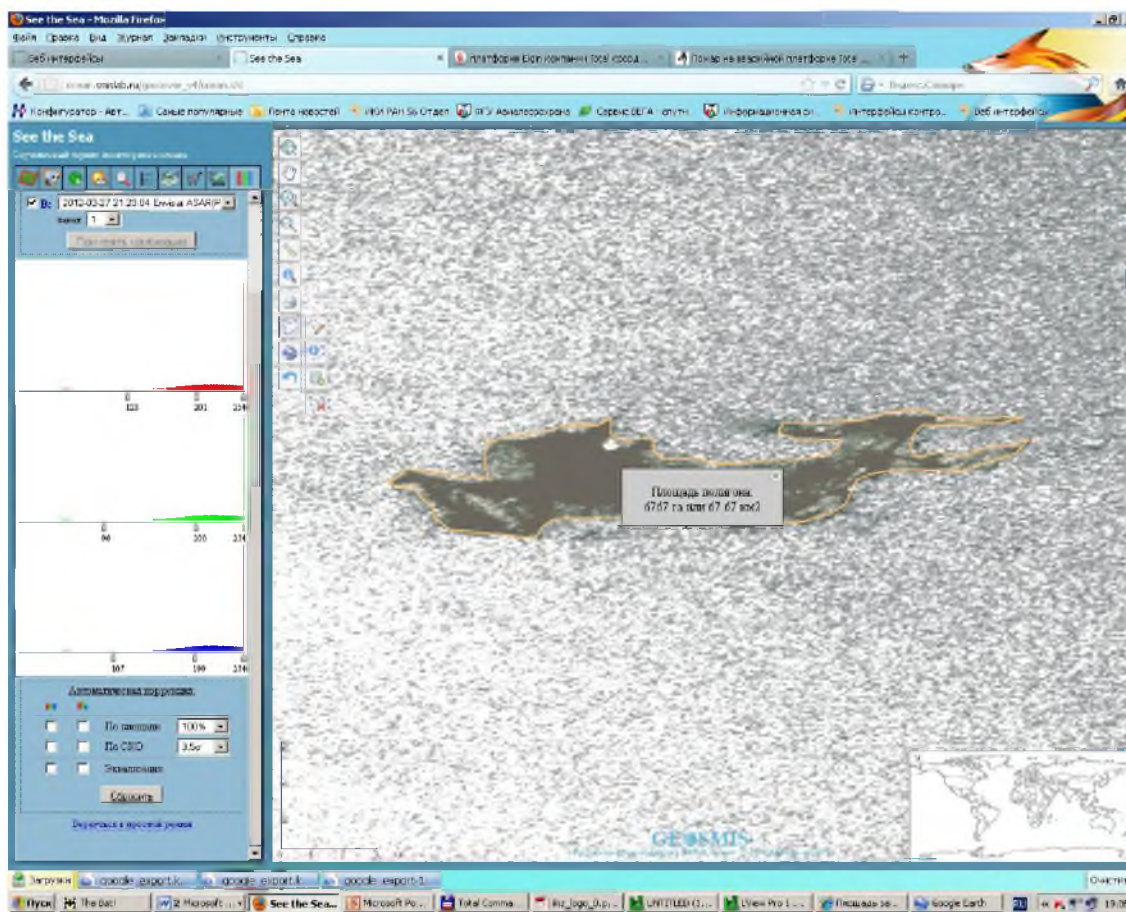
Рис. 1 Примеры операций над спутниковыми данными и результатами их обработки в интерфейсах спутникового сервиса STS: а) пример анализа гистограмм и построения комплексных композитных изображений на основе данных различных спутниковых систем MODIS, и ASAR Envisat за 09.03.2012, северо-восточная часть Азовского моря; б) пример совместного анализа данных приборов LANDSAT-5 TM и ASAR Envisat за 25.08.2011, восточная часть Азовского моря.

Как уже говорилось выше, основной задачей спутникового сервиса STS является обеспечение возможности анализа различных океанических процессов и явлений на основе спутниковых данных. При этом следует иметь в виду, что в настоящее время далеко не для всех явлений и типов наблюдения могут быть созданы системы автоматической обработки данных, позволяющие проводить поиск и выбор интересующих явлений. Особенно трудно поддаются автоматизации процесса обработки информации, поступающей от радиолокационных систем наблюдения. С учетом этих особенностей, спутниковый сервис STS в основном ориентирован на то, чтобы обеспечить для исследователя инструмент, позволяющий визуально найти тот или иной процесс, описать его, используя различную комплексную информацию, и сохранить эту информацию в специализированную базу данных для ее дальнейшего анализа. Для решения этой задачи в STS создана подсистема создания и ведения описаний различных типов изучаемых явлений (STS ЯВЛ). STS ЯВЛ позволяет с помощью интерфейсов STS выделить то или иное явление или процесс, сформировать его описание и поместить в СБД. Пример, выделения одного из таких объектов (нефтяное пятно) приведен на рис 2.

В настоящее время в спутниковом сервисе STS реализован действующий прототип подсистемы STS ЯВЛ, ориентированный на изучение следующих процессов и явлений: океанические вихревые структуры, вихревые структуры в приземном слое атмосферы, океанические внутренние волны, нефтяные загрязнения, обусловленные сбросами с судов, антропогенные загрязнения морской поверхности; поверхностные пленки биогенного происхождения; береговые стоки; районы цветения водорослей; атмосферные гравитационные волны; атмосферные и океанические фронты;

дождевые ячейки, конвективные структуры в приводном слое атмосферы. Естественно, что список явлений и наборы, описывающих их параметров, являются открытыми и могут достаточно легко быть расширенны и модифицированы. Для наиболее полного описания каждого такого процесса и явления из данного списка определен оптимальный набор, характеризующих их параметров и сформирован раздел СДБ, ориентированный на работу с тем или иным явлением.

Рис. 2. Пример выделения на радиолокационном изображении ASAR Envisat пятна, образовавшегося в результате утечки на платформе ELGIN компании Total Северное море 27.03.2012. Площадь пятна более 60 кв. км



Для того чтобы можно было в дальнейшем работать с СБД STS для исследования различных процессов и явлений, в составе STS создается подсистема система анализа различных явлений (STS АНЯ). Эта подсистема должна обеспечить не только возможность анализа различных характеристик изучаемых явлений, в частности пространственных и временных распределений, но и поиск связей между ними, для построения различных моделей динамики изучаемых океанических процессов. В целом, спутниковый сервис STS должен обеспечить возможность реализации комплексных исследований.

Выявление нефтяного загрязнения Балтийского и Каспийского морей на основе данных спутникового дистанционного зондирования

В ходе тестовой эксплуатации информационного сервиса STS начато решение задачи о выявлении акваторий, наиболее подверженных загрязнению нефтепродуктами и иными антропогенными загрязнениями, на основе данных спутниковых наблюдений.

Основным средством спутникового контроля состояния морской поверхности и оценки степени загрязненности являются радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА), установленные на искусственных спутниках Земли ERS-2 и Envisat Европейского космического агентства. Кроме того, для интерпретации РЛИ привлекались данные сенсоров MODIS ИСЗ Aqua/Terra, MERIS ИСЗ Envisat и AVHRR ИСЗ NOAA видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов, несущие информацию о полях температуры поверхности моря (ТПМ) и мезомасштабной динамике вод. Дополнительно использовались данные в восьми диапазонах сканирующих радиометров ETM+ ИСЗ Landsat 7 и TM Landsat 5. Проведены обобщение и систематизация результатов, полученных в разных тестовых регионах [10].

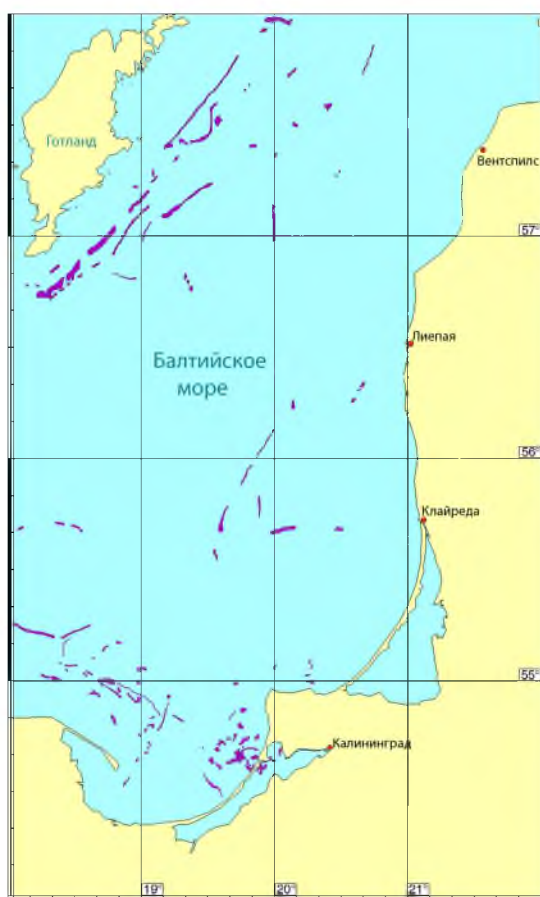


Рис. 3. Сводная карта нефтяных пятен в юго-восточной части Балтийского моря, обнаруженных в результате анализа данных спутниковой радиолокации в 2009- 2012 гг.

Составлена сводная карта всех нефтяных пятен, обнаруженных в юго-восточной Балтике в 2009-2012 гг, на которой представлены реальные формы и размеры пятен (рис. 3). Выявлены районы, подверженные наиболее частому загрязнению нефтепродуктами.

Подавляющее большинство антропогенных загрязнений морской поверхности, выявленных в юго-восточной части Балтийского моря, представляют собой утечки и сбросы с судов вод, содержащих нефтепродукты. Массив пятен четко вырисовывает основные судоходные трассы в юго-восточной части Балтийского моря, а также трассу вдоль Готланда. Следовательно, основными источниками нефтяных загрязнений являются несанкционированные сбросы с морских судов. Как видно из карты, в этой части акватории Балтики можно выделить четыре района, подверженные наиболее частому загрязнению нефтепродуктами. Такими районами являются:

1. Основные судоходные трассы к юго-востоку от о-ва Готланд.
2. Судоходные трассы к портам Клайпеда и Лиепая.
3. Участок акватории в окрестности Хельской косы.
4. Участок акватории Гданьского залива вблизи входа в Балтийский (Пилавский) пролив.

Выявленная нами в ходе спутникового мониторинга картина поверхностных загрязнений Каспийского моря нефтесодержащими пленками во многом предопределена природными особенностями Каспийского моря, главной из которых является наличие больших запасов нефти и газа в его недрах. Наиболее существенными источниками загрязнения поверхности Каспийского моря являются разведка и эксплуатация нефтяных месторождений, а также проявления грязевого вулканизма

Как видно из приведенной на рис. 4 обобщенной карты загрязнений, можно выделить два основных района наиболее интенсивного загрязнения морской поверхности Каспийского моря, каковыми являются области Апшеронского и Бакинского архипелагов, а также Западный борт Южно-Каспийской впадины.

Основным источником поверхностного загрязнения открытых участков моря в центральной его части и в области Апшеронского и Бакинского архипелагов является поступление нефти при добыче и разведочном бурении, подводном ремонте скважин, при аварийных разрывах нефтепроводов и зачистке выкидных линий, и т.д.

На северо-западном борту Южно-Каспийской впадины. Сконцентрировано наибольшее количество подводных вулканов (более 300), притом крупных. Большинство грязевых вулканов Южно-Каспийской впадины находится в грифонной стадии развития, выделяя илистую грязь, воду, газ и нефть. Активизация подводных вулканов и грифонов в местах разгрузки углеводородов приводит к появлению на воде грязевых и нефтяных пятен.

В Каспийском море несанкционированные сбросы нефтепродуктов с судов не являются основным источником пленочных загрязнений морской поверхности, однако, к сожалению, их объемы с каждым годом увеличиваются.



Рис. 4. Сводная карта нефтяных загрязнений поверхности Каспийского моря, обнаруженных в результате анализа данных спутниковой радиолокации за 2009 - 2011 гг.

Заключение

Основной целью спутникового сервиса STS является обеспечение исследователей возможностями доступа и инструментами анализа информации, полученной на основе данных дистанционных наблюдений, для изучения различных процессов происходящих на поверхности океана. При этом исследователи, в идеале, должны получить возможность комплексного описания различных явлений и процессов, оценку их количественных и качественных характеристик, а также инструменты анализа для изучения условий возникновения и развития этих явлений, исследования пространственных и временных характеристик распределений различных явлений, наблюдаемых в Мировом океане. Планируется, что спутниковый сервис STS в перспективе должен стать доступным различным исследователям и специалистам, занимающимся изучением океанических процессов. Ознакомиться с текущими возможностями сервиса STS и узнать об его использовании можно по адресу <http://ocean.smislab.ru/>.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ: проект 11-07-12025-офи-м-2011. Спутниковые радиолокационные данные предоставлены Европейским космическим агентством в рамках проектов C1P.6342 и Bear 2775.

Список литературы

1. Бондур В.Г. Аэрокосмические методы в современной океанологии //Новые идеи в океанологии. М.: Наука. Т 1. Физика. Химия. Биология. 2005. С. 55-117.

2. 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. 472 с.

3. Луян Е.А., Матвеев А.А., Уваров И.А., Бочарова Т.Ю., Лаврова О.Ю., Митягина М.И. Спутниковый сервис See the Sea - инструмент для изучения процессов и явлений на поверхности океана //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. № 2. С. 251-261.

4. Луян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В. Технология построения автоматизированных информационных систем сбора, обработки, хранения и распространения спутниковых данных для решения научных и прикладных задач //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. № 1. С. 81-88.

5. Луян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В., Крашенинникова Ю.С. Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 1. С.26-43.

6. Ефремов В.Ю., Луян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Флитман Е.В. Технология построения автоматизированных систем хранения спутниковых данных //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2004. Выпуск 1. Т.1. С. 437-443.

7. Ефремов В.Ю., Крашенинникова Ю.С., Луян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Флитман Е.В. Оптимизированная система хранения и представления географически привязанных спутниковых данных //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2007. Выпуск 4. Т. 1. С. 125-132.

8. Луян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В. Технология построения автоматизированных информационных систем сбора обработки и хранения спутниковых данных для решения научных и прикладных задач. //Аэрозоли Сибири. /Под ред. К.П. Куценого. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2006. С. 458-470.

9. Толтин В.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Луян Е.А., Прошин А.А., Уваров И.А., Флитман Е.В. Создание интерфейсов для работы с данными современных систем дистанционного мониторинга (система GEOSMIS). //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 3. С. 93-108.

10. Митягина М.И., Лаврова О.Ю. Многолетний комплексный спутниковый мониторинг нефтяных загрязнений поверхности Балтийского и Каспийского морей. //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012.Т 9. № 5. С. 269-288.

СТЕПЕНЬ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕЯ

Очерет Н.П.

Адыгейский государственный университет (Майкоп, Россия)

E-mail: pr_ocheret@mail.ru

Сохранение качества окружающей среды и здоровья населения является одной из самых острых проблем современности.

Нет никаких сомнений, что неблагоприятные антропогенные факторы непосредственно влияют на здоровье населения, загрязняющие вещества различным образом поступают в организм человека, воздействуют на различные органы и ткани и вызывают широкий спектр заболеваний, а многие химические вещества имеют многогранный характер действия.

Почва – необходимый фактор, как для поддержания экологического равновесия, так и для жизни человека, поскольку она представляет собой один из основных природных ресурсов, обуславливающих социальное и экономическое развитие общества. Антропогенные воздействия на почвы обширней, чем на другие экосистемы биосферы. Почвы медленно накапливают загрязняющие вещества, выполняя при этом протекторные функции в отношении других природных образований. Они защищают природные воды от возможного химического загрязнения, связывают многие соединения в малоподвижные и недоступные растениям формы, предохраняя тем самым растительную продукцию от попадания тяжелых металлов и других соединений и веществ. Но вместе с тем почвы все в большей мере сами подвергаются загрязнению, и на каком-то этапе оно может достичь таких уровней, когда почвенный покров становится или непригодным для сельскохозяйственного использования, или разрушается вовсе. [1-3]

Одним из главных источников загрязнения почв являются промышленные предприятия. В твердых и жидких отходах этих предприятий постоянно присутствуют те или иные вещества, способные оказывать токсическое воздействие на живые организмы и их сообщества. Химический завод «Минудобрений» г. Белореченска по производству минеральных удобрений, неорганических кислот (серной, фосфорной, азотной) и др. является одним из важнейших антропогенных факторов, влияющих на почвенный покров Республики Адыгея. Вредные химические вещества, попадающие в атмосферу (оксиды серы, фосфора, аммиак, кремнефторид натрия – Na_2SiF_6 , пыль и др.); а также твердые отходы данного производства (серный кек, фосфогипс), которые в больших количествах накопились в районе этого завода, не утилизируются в достаточной мере, нанося огромный ущерб почве и сохранению качества окружающей среды в этом регионе. Целью работы явилось установление степени влияния антропогенных факторов на почвенный покров Республики Адыгея в районе химического завода. В работе были использованы физико-химические методы

исследования: гравиметрический (весовой), фотокалориметрический и биоиндикационные методы.

Исследование почвы проводили в несколько этапов: отбор пробы; определение физико-химических характеристик почвы; биоиндикация. Отбор пробы производили методом квартования. Операцию квартования проводили многократно, после чего среднюю пробу высушивали до воздушно-сухого состояния. Из полученного таким образом однородного материала готовили водную вытяжку. Водную почвенную вытяжку использовали для определения кислотности почвы, а также для качественного и количественного определения химических элементов в почве. Результаты проведенных исследований почв, взятых в районе химического завода г. Белореченска (на расстоянии – 100м., 500м. от завода, и на прилегающих земельных участках, используемых для выращивания сельхозпродукции). Полученные данные свидетельствуют о том, что все исследуемые почвы кислые ($pH < 7$), это вызвано сильной засоленностью ее в результате выбросов в атмосферу в этом районе: SO_2 , CO_3^{2-} , NH_3 , P_2O_5 и др., а также накоплением больших количеств твердых отходов этого производства, особенно фосфогипса.

Главные ионы основного солевого состава (Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , CO_3^{2-} , NO_3^- и др.) обнаруживаются по характерным признакам химических реакций. В почве взятой вблизи завода отмечается повышенное содержание хлоридов и сульфатов, что связано с более высокой антропогенной нагрузкой на почву. Нитрат-анионы не обнаруживаются, однако, их высокое содержание отмечается в почве, взятой с огородных участков, что объясняется, по-видимому, внесением больших количеств минеральных удобрений.

Для определения карбонат-аниона (CO_3^{2-}) готовили солянокислую вытяжку. В пробах почв, взятых в 100м-500м от химического завода наблюдалось «вскипание» почвы, что свидетельствует о высоком содержании карбонат-ионов, т.е это карбонатные почвы. В пробах, взятых с земельных участков наблюдалось едва заметное «вскипание» (слабокарбонатная почва). Высокое содержание ионов кальция Ca^{2+} связано с загипсовыванием почв твердыми отходами этого производства. Качественное определение ионов, в частности по характеру осадка, позволяет определить количественное содержание этих ионов в мг. на 100мл. почвенной вытяжки.

Высокотоксичными веществами, накапливаемыми в почве, в результате антропогенного воздействия являются тяжелые металлы. Содержание Zn^{2+} , Pb^{2+} и Fe^{3+} , в исследуемых пробах определяли фотокалориметрическим методом. Для этого готовили серию стандартных растворов с известной концентрацией, затем определяли их оптическую плотность на фотокалориметре и строили калибровочный график. Определив оптическую плотность почвенной вытяжки по калибровочному графику, определяли концентрацию металла в ней. Проведенные исследования показывают, что содержание Zn^{2+} , Pb^{2+} и Fe^{3+} в почве составляют 1-1,4мг/кг; 0,015-0,0118 мг/кг; 0,385-0,45 мг/кг соответственно.

Известно, что почвы, загрязненные тяжелыми металлами очистить их практически невозможно. Можно снизить подвижность токсических соединений и поступление их в растения, если засеять такие почвы быстрорастущими культурами, дающими большую массу. Такие культуры извлекают из почвы токсичные элементы, а затем собранный урожай подлежит уничтожению. И второй путь – повысить рН почв известкованием или добавляют большие дозы органических веществ, например, торфа. [4]

Кроме того, оценить состояние окружающей среды и уровень антропогенного воздействия на почву можно с помощью биоиндикаторов.

Биоиндикация – метод, который позволяет судить о состоянии окружающей среды по факту наличия, отсутствия, особенностям развития организмов – биоиндикаторов. Регистрирующие индикаторы реагируют на изменение состояния окружающей среды, численности фенооблика, повреждением тканей, соматическими проявлениями (в том числе уродливостью), изменением скорости роста и другими хорошо заметными признаками. В качестве примера регистрирующих биоиндикаторов не всегда возможно установить причины изменения, т.е. факторы, определяющие численность, распространение, конечный облик или форму биоиндикатора. Это один из основных недостатков биоиндикации, поскольку наблюдаемый эффект может порождаться разными причинами или их комплексом. Накапливающие индикаторы концентрируют загрязняющие вещества в своих тканях, определенных органах и частях тела, которые в последующем используются для выяснения степени загрязнения окружающей среды при помощи химического анализа. [5-6]

Какой бы современной не была аппаратура для контроля загрязнения и определения вредных примесей в окружающей среде, она не может сравниться со сложно устроенным «живым прибором». Правда, уже в их приборах есть серьезный недостаток – они не могут установить концентрации. Какого-либо вещества в многокомпонентной смеси, реагируя сразу на весь комплекс веществ. В тоже время физические и химические методы дают количественные и качественные характеристики фактора, но позволяют лишь косвенно судить о его биологическом действии. С помощью биоиндикаторов можно получить информацию о биологических последствиях и сделать только косвенные выводы об особенностях самого фактора.

Биоиндикация основана на тесной связи живых организмов с условиями среды, в которой они обитают. Изменения этих условий, например, повышение солености или рН воды или почвы, может привести к исчезновению определенных видов организмов, наиболее чувствительных к этим показателям и появлению других, для которых такая среда будет оптимальной.

Обычно для характеристики почв используются индикаторные виды растений, которые могут свидетельствовать о водном режиме почв, их кислотности, обеспеченности элементами минерального питания, состоянии плодородия.

Для оценки степени влияния антропогенного загрязнения исследуемой почвы мы использовали кресс-салат, как тест-объект и пшеницу, как неприхотливое растение к условиям произрастания. Кресс-салат – однолетнее овощное растение, обладающее повышенной чувствительностью к загрязнению почвы вредными химическими веществами. Этот биоиндикатор отличается быстрым прорастанием семян и почти 100% всхожестью, которая заметно уменьшается в присутствии загрязнителей. Из результатов биоиндикационных исследований почв следует, что процент всхожести как кресс-салата, так и пшеницы заметно возрастает по мере удаления от химического завода. Биоиндикационные исследования свидетельствуют о том, что почва взятая с разных участков различна: как по составу содержащихся в ней химических элементов, так по плодородию. Мониторинговые биоиндикационные исследования за состоянием растительности позволяют определить антропогенную нагрузку на опытных участках, выявить виды растений, чувствительных к неблагоприятным факторам. На наш взгляд, оценка степени влияния антропогенных факторов на почвенный покров и здоровье населения Республики Адыгея может быть выявлена в результате проведения следующих мероприятий:

- установление соответствия предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ в различных средах внешней среды – вода, воздух, почва, пища и т.п.

- систематическое проведение экологического мониторинга концентрации химических веществ в экосистемах (почва, вода, воздух) биосферы.

- проведение биоиндикации, т.е. определение содержания вредных веществ с помощью растений и животных от простейших до позвоночных.

Проведение таких мероприятий позволит получить данные о суммарной нагрузке антропогенных факторов на окружающую среду, а также углубить представления о причинно-следственных связях в оценке степени воздействия неблагоприятных факторов на здоровье населения Республики Адыгея.

Список литературы

1. Экологический мониторинг: учеб.-метод. Пособие / под ред.. Т.Я. Яшихминой. М, 2005. – 416 с.
2. Государственный доклад о содержании окружающей природной среды РА. 2000-2004.
3. Федорова А.И..Практикум по экологии и охране окружающей среды: учеб. Пособие для студ. вузов / А.И. Федорова, А.Н. Никольская. – Владос, 2003. – 288 с.
4. Экологическая химия: пер. с нем. / под ред. Ф. Корте – М.: Мир, 1997. -396 с.
5. Экологическое образование: научно-методический журнал. №4, 2001.
6. <http://www.bee-garden.ru>.

РАБОТЫ НОЦ КИММ ЮФУ В ОБЛАСТИ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ И ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Савицкий О.А.

ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет» (Таганрог, Россия)
E-mail: osav66@mail.ru

Деятельность Научно-образовательного центра комплексных исследований и математического моделирования природных и техногенных систем (НОЦ КИММ) в области дистанционного зондирования природных сред и техногенных объектов выполняются по следующим направлениям:

- разработка новых волновых методов и аппаратуры дистанционного зондирования;
- оказание высокотехнологичных услуг по выполнению гидрографических работ, экологическому и техническому мониторингу водных объектов и объектов морской инфраструктуры, в том числе портовой инфраструктуры;
- разработка новых методов обработки и представления гидрофизической информации.

Сотрудниками НОЦ КИММ развивается научное направление фазовых методов в эхолокации [1]. Предложены новые подходы к задачам характеристики импедансных границ раздела сред по фазе комплексного коэффициента отражения. Разработанные методы запатентованы и реализованы в действующих образцах гидроакустической техники.

В НОЦ КИММ ведется разработка новых методов донного акустического профилирования на основе нелинейных эффектов. Разработанные методы позволяют сформировать высоконаправленное поле низкочастотных зондирующих сигналов с высоким проникновением в донные осадки и с предельными показателями по разрешающей способности [2]. Форма зондирующих импульсов акустического излучения, сформированных за счет нелинейности водной среды, показана на рис.1, а угловая структура поля излучения – на рис.2.

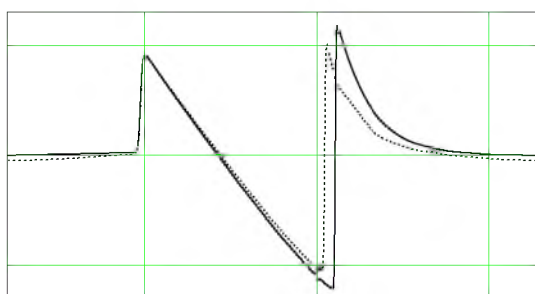


Рис.1 Нелинейно сформированные импульсные сигналы в дальней зоне на оси источника звука при $z=200$ ($x=6.8L_0$, $N=0.034$, $\Gamma=0.005$)

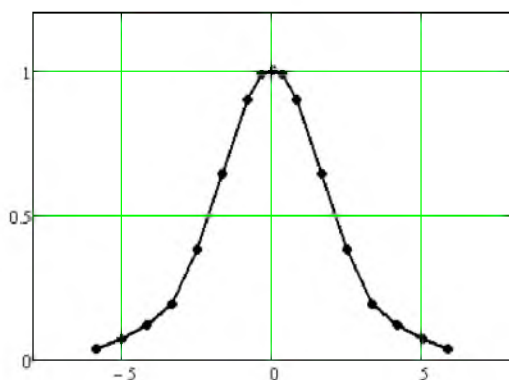


Рис. 2 Угловая зависимость амплитуды спектральной плотности зондирующих импульсов на частоте максимума спектра ω_{\max} для поршневого источника с волновым размером $ka=10$. Расстояние до источника $z=200$.

Исследования коллектива НОЦ КИММ по разработке новых волновых методов дистанционного зондирования поддержаны Министерством образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.A18.21.0680, госконтракт П458.

Сотрудники НОЦ КИММ участвуют в разработке гидроакустической аппаратуры для освоения морского шельфа. На базе ОКБ «Ритм» ЮФУ разработана линейка параметрических донных профилографов для обеспечения морского строительства, геофизических изысканий, мониторинга подводных трубопроводов (рис.3-5) [3]. В созданных в Южном федеральном университете параметрических профилографах впервые в России реализовано электронное сканирование характеристикой направленности на разностной частоте в режиме излучения. Это, наряду с высоким проникновением в донные структуры и разрешающей способностью, обеспечивает конкурентные преимущества разработок ЮФУ перед представленными на рынке образцами приборов такого класса.

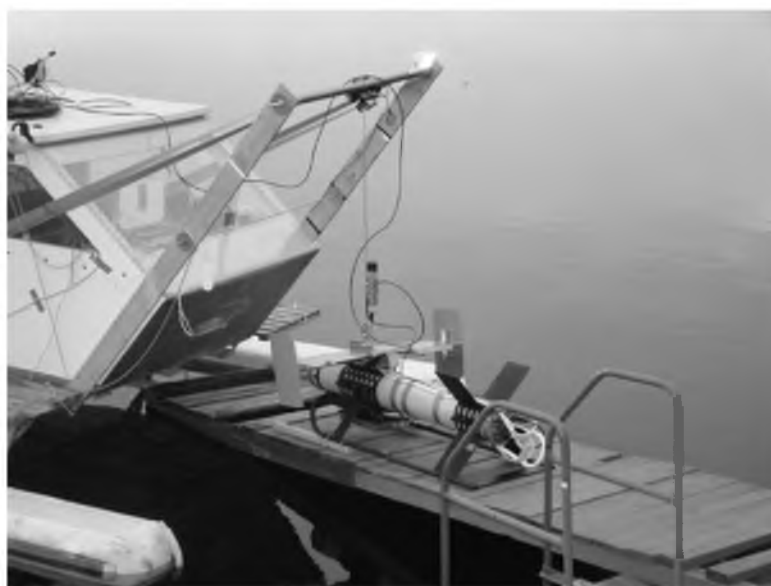


Рис.3 Внешний вид буксируемого профилографа.

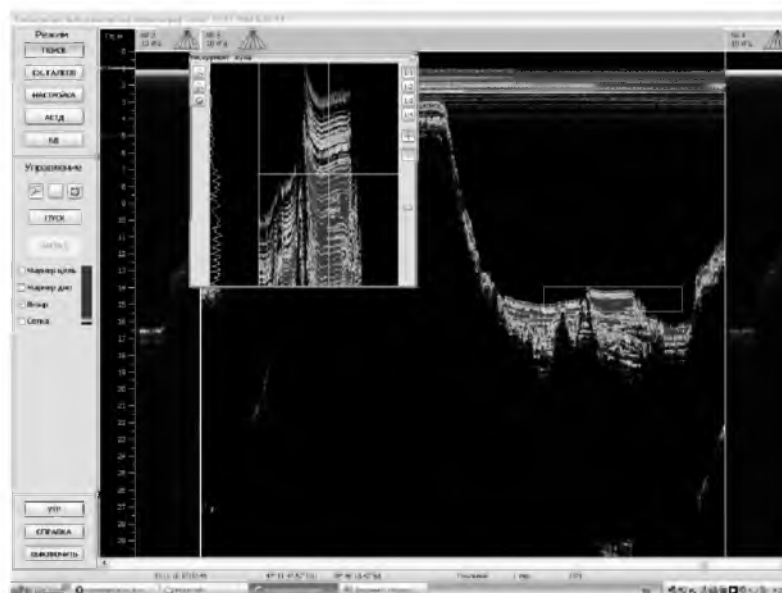


Рис.4 Работа донного профилографа в режиме стратификации донных отложений.

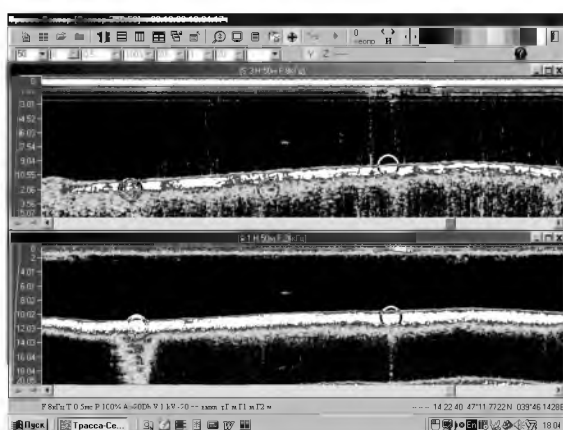


Рис.5 Профилограмма донной поверхности с обнаруженными на ней двумя ветками трубопровода и заиленными объектами (отмечены указателями).

В НОЦ КИММ ЮФУ имеется уникальная техника для выполнения гидрофизических изысканий – промерные комплексы на основе многолучевых эхолотов EM3002D фирмы Kongsberg (Норвегия). Высококвалифицированный персонал ЦКП «Центра комплексных морских исследований» ЮФУ из числа наиболее успешных выпускников кафедр Таганрогского кампуса ЮФУ обеспечивает эксплуатацию сложного оборудования при выполнении промерных, геологоразведочных и других работ по заказам государственных и частных портовых структур ФГУП «Росморпорт», дноуглубительных компаний (Dredging International), геологоразведочных предприятий (ООО «Си технолоджи инструментс»), нефте-газодобывающих (ОАО «Лукойл» и нефте-газотранспортных компаний (ЗАО «Отэко», ЗАО «Таманьнефтегаз»).

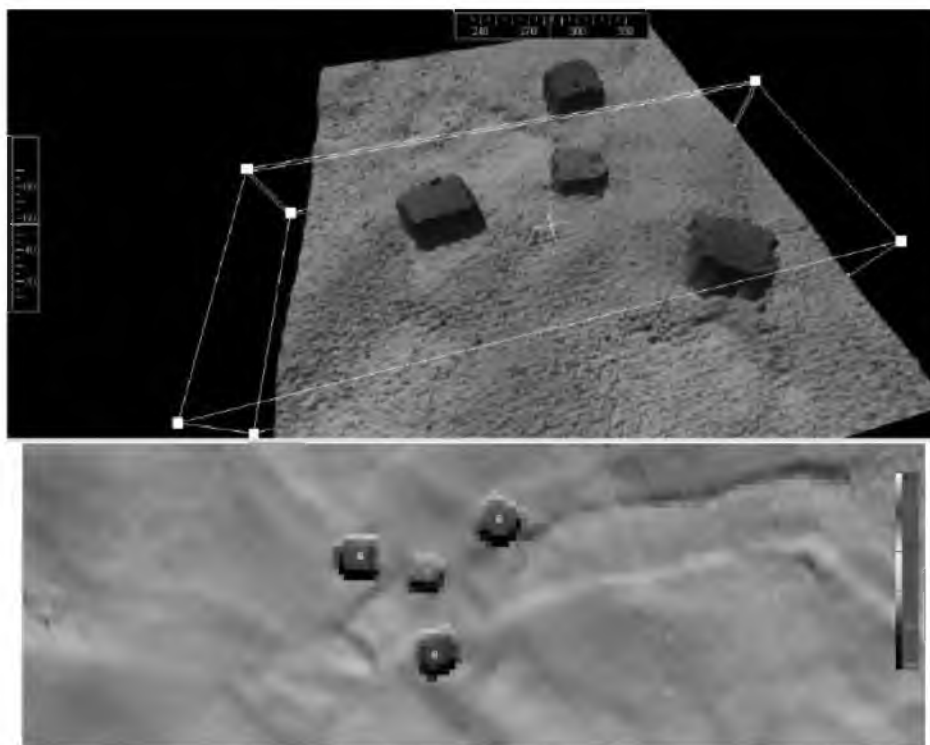


Рис. 6 Техногенные объекты, обнаруженные в акватории порта Сочи от 2012-09-15 в районе первой секции в зоне дноуглубления под строительство.

Имеющееся оборудование и высококвалифицированный персонал позволяют выполнять инициативные научно-исследовательские работы. При выполнении промерных работ в зоне отвала грунта в 30 км от берега в районе мыса «Железный Рог» Таманского полуострова был обнаружен донный объект с аномально высокими значениями рефракции звуковых волн (рис.7). Последующая постобработка данных зондирования многолучевым эхолотом EM3002D позволила интерпретировать полученные результаты как подводный геотермальный пресноводный источник.

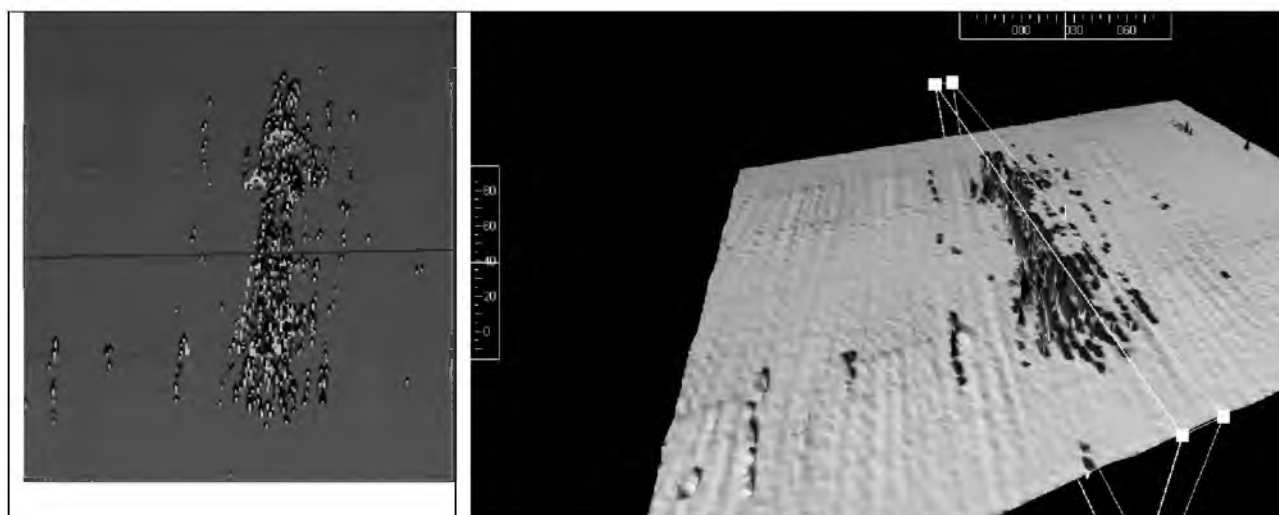


Рис. 7 Геотермальный источник на дне Черного моря в районе мыса «Железный рог».

Имеющиеся аппаратно-программные средства установлены на научно-исследовательском судне - теплоходе "Платов". Существующий опыт и наличие современного промерного и гидрофизического оборудования позволяют проводить комплексные инженерно-гидрологические и другие исследования в интересах развития прибрежной инфраструктуры г. Таганрога и Ростовской области, а также осуществлять оперативный гидроэкологический мониторинг.

Список литературы

1. Гаврилов А.М., Савицкий О.А. Фазозависимые взаимодействия акустических волн (Научная монография). Издательство ТТИ ЮФУ, 2010 г. – 362с.

2. Савицкий О.А., Савицкий А.О. Нелинейный источник звука / Сборник трудов десятой всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики», Санкт-Петербург, Наука. 2010 г. С.413-416.

3. Савицкий О.А., Нагучев Д.Ш., Сахаров В.Л. Предпосылки и концепция создания современных параметрических профилографов в ОКБ «Ритм» ЮФУ / «Известия Южного федерального университета. Технические науки». Вып.12, 2008. С. 89-94.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМАМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Сарбаев В.И.

*Московский государственный индустриальный университет
(Москва, Россия)*

E-mail: sarbaev@mail.msiu.ru

На современном этапе развития человеческой цивилизации на долю автомобильного транспорта приходится около 40% всех выбросов вредных веществ в атмосферу, а в крупных городах – 60-80%. При этом автотранспортный комплекс воздействует на все составляющие окружающей среды: атмосферу, литосферу, водный бассейн, почву, растения, на животных и человека.

При рассмотрении автомобильного транспорта, как экологического загрязнителя окружающей среды, выделяют две важнейших группы: передвижные и стационарные источники выбросов загрязняющих веществ. При этом на долю стационарных источникам приходится 10...20%, а на долю передвижных источников – 80...90% всех выбросов от автомобильного транспорта в целом. В связи с этим, в настоящее время на первый план перед современной автотранспортной наукой и практическими работниками выходят вопросы оценки влияния транспортных потоков и отдельных автомобилей в их составе на окружающую среду, разработки, обоснования и эколого-экономической оценки мероприятий по снижению вредного воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду и человека.

Для решения поставленных задач очевидна необходимость применения современных научных методов исследования, позволяющих описать сложные и многогранные процессы взаимодействия автомобильного транспорта и окружающей среды. В качестве такого современного научного аппарата может быть использован аппарат системного анализа.

Качественное описание экологического взаимодействия автомобильного транспорта и окружающей среды может быть представлено в нормализованном виде, где окружающая среда V состоит из отдельных составляющих V_i : $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ или $v_i \in V$ (рис. 1.).

Автотранспортный комплекс представляется системой, также состоящей из отдельных элементов w_i , имеющих связи друг с другом: $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ или $w_i \in W$.

Множество V по отношению к W является окружающей средой. При взаимодействии множеств V и W в пределах зоны влияния автотранспортного комплекса образуется региональная экологическая система S . Внутри техногенной системы формируется множество системообразующих отношений R^n , совокупность которых образует

внутреннюю структуру системы W_0 . Система V образуется и функционирует за счет совокупности отношений R^v . Обозначим структуру техногенных воздействий автотранспортного комплекса на окружающую среду в виде R^{vw} , а воздействие среды на этот комплекс - R^{wv} .

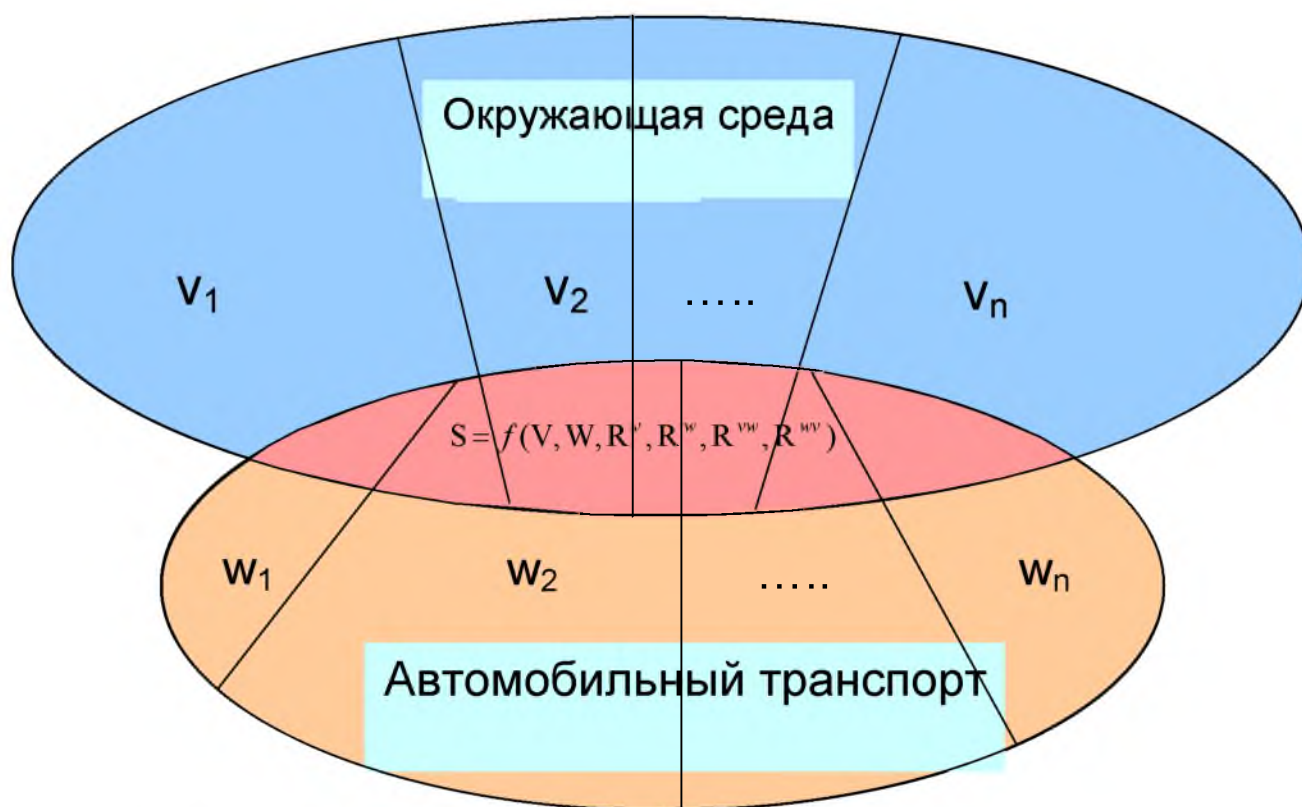


Рис. 1. Взаимодействие автомобильного транспорта с окружающей средой

В связи с тем, что элементы подсистем непрерывно изменяются во времени, то систему следует считать нестационарной.

Для количественного моделирования требуется знание закономерностей изменения связей между системами V и W и отдельными факторами, входящими в эти системы, однако на современном этапе развития науки эти закономерности выявлены лишь для небольшого числа связей.

Рассматривая экологическую безопасность как самостоятельную систему, являющуюся одной из подсистем автотранспортного комплекса в целом, первоначально необходимо определить ее структуру, а также ее основные составные элементы, организационное и технологическое взаимодействие между различными элементами, цели системы, целевые функции, целевые показатели и целевые нормативы [1].

Необходимость формирования декомпозиции целей обеспечения экологической безопасности автомобильного транспорта приводит нас к необходимости построения дерева систем экологической безопасности автотранспортного комплекса, а еще вернее, множества деревьев систем, поскольку для каждой подсистемы должно быть построено свое дерево

систем обеспечения экологической безопасности. При этом состав, содержание и элементы каждой рассматриваемой системы могут меняться в зависимости от иерархического или хозяйственного уровня, на котором она находится, ее внутренней структуры и внешних условий и ограничений, в которых она функционирует и которые обязательно должны соблюдаться.

На рис. 2. представлена предложенная автором декомпозиция целей Ц¹₀₅ «Безопасность выполнения и получения транспортных услуг» [1,2].



Рис. 2. Верхние ярусы дерева целей обеспечения безопасности выполнения и получения транспортных услуг (модификация автора)

До последнего времени основное внимание уделялось отдельным техническим аспектам решения проблемы обеспечения экологической безопасности автомобильного транспорта: созданию и внедрению экологически более «чистых» транспортных средств, топлив, технологий и производств, а также реализации ряда мероприятий в сфере эксплуатации транспортных средств.

Вместе с тем, даже при том внимании, которое в последнее время уделяется вопросам экологической безопасности, при системном представлении автотранспортного комплекса его экологическая безопасность зачастую не рассматривается как полноправная подсистема.

Представление обеспечения экологической безопасности как одной из подсистем технической эксплуатации автомобилей (ТЭА) позволяет решать

задачи управления как в методологическом, так и в практическом планах, т.е. определить место и вклад экологической безопасности в достижение целей и решение задач технической эксплуатации с наибольшей эффективностью. Модификация дерева систем технической эксплуатации автомобилей, учитывающая в качестве подсистемы безопасность ТЭА, представлена на рис. 3.

Последующая декомпозиция, представление внутренней структуры системы C^2_{081} – «Экологическая безопасность» должна производиться для каждого управленческого уровня отдельно, например, для отрасли в целом для региона, транспортной компании, автотранспортного предприятия, для транспортного потока, отдельного автомобиля, отдельного цеха или единицы оборудования.



Рис. 3. Схема высшего, первого и фрагмент второго яруса дерева систем технической эксплуатации (модификация автора)

Для выявления закономерностей, возникающих при функционировании автомобильного транспорта, а также исследования факторов, воздействующих на окружающую среду и человека, и определения наиболее эффективных путей снижения этого воздействия, необходимо провести анализ внутренних и внешних условий и результатов деятельности автомобильного транспорта с экологической точки зрения. Результаты такого анализа, выполненного автором, приведены на рис. 4 [1,2].

В настоящее время на автомобильном транспорте (на автотранспортном предприятии) ведущие роли выполняют три важнейшие подсистемы: подсистема управления, служба эксплуатации и техническая служба.

Подсистема управления осуществляет общее руководство предприятием, несет ответственность за все результаты его деятельности, включая экономические, технические, социальные, экологические и другие, координирует взаимодействие между внутренними структурами (службами, отделами и т.п.) предприятия, разрабатывает и организует финансирование и исполнение программ и планов перспективного развития предприятия в целом или его отдельных структур, включая программы и мероприятия экологического направления.

Подсистема управления включает в себя аппарат управления – дирекцию (директор и его заместители, включая главного инженера – руководителя службы эксплуатации и заместителя по эксплуатации – руководителя службы эксплуатации), финансово-экономическую службу, а также отделы кадров, охраны труда, безопасности дорожного движения, главного механика, в том числе и отдел экологической безопасности.

Отделы экологической безопасности автотранспортных предприятий играют ведущую роль в разработке мероприятий и программ, постановке и решению задач по обеспечению экологической безопасности автомобильного транспорта в целом и каждого предприятия в отдельности.

Подсистема управления в целом и отдел экологической безопасности, как ее составная часть, играют важнейшую роль в обеспечении экологической безопасности предприятий автомобильного транспорта и отрасли в целом.

Основными целями и задачами, решаемыми отделом экологической безопасности, являются:

- контроль в области природоохранной деятельности на предприятии;
- планирование природоохранных работ;
- анализ результатов работы предприятия в области охраны окружающей среды;
- управление и организация природоохранных работ на предприятии;
- информационное обеспечение природоохранной деятельности предприятия;
- обеспечение эффективного взаимодействия экологической службы с контролирующими организациями.

Известно, что в общей сумме загрязнений от автомобильного транспорта вклад от автомобилей в движении составляет до 90%, а от производственно-технической базы – около 10%.

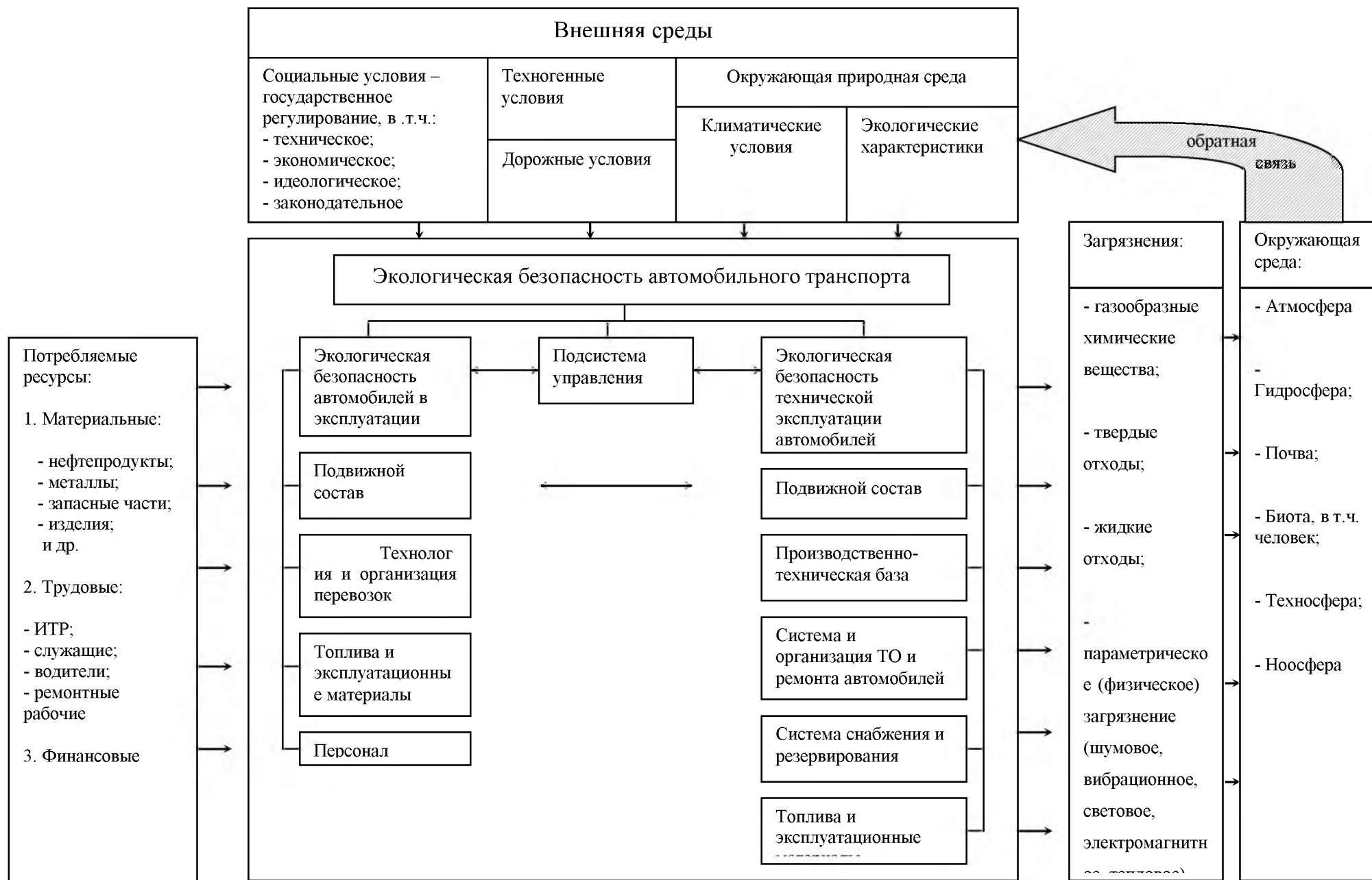


Рис. 4. Структура и условия функционирования системы «Экологическая безопасность автомобильного транспорта»

Важнейшими подфакторами, обеспечивающими экологическую безопасность подвижного состава при его эксплуатации на линии, являются:

- технический уровень подвижного состава, его соответствие современным требованиям, предъявляемым к топливной экономичности, надежности, экологическим и другим характеристикам;
- соответствие структуры парка структуре и объемам перевозок;
- структура парка по типу и по применяемым видам топлива;
- оснащение автомобилей и двигателей различными устройствами, позволяющими уменьшить объем выбросов загрязняющих веществ – нейтрализаторами, бесконтактными системами зажигания и т.п.;
- возрастная структура парка;
- качество технического обслуживания и ремонта подвижного состава;
- квалификация персонала службы эксплуатации, в первую очередь – квалификация водительского состава;
- оптимизация перевозочного процесса;
- качество применяемых топлив и эксплуатационных материалов;

Важнейшими подсистемами, обеспечивающими функционирование и экологическую безопасность технической эксплуатации автомобилей, являются:

- подвижной состав;
- производственно-техническая база;
- система и организация ТО и ремонта автомобилей;
- система снабжения и резервирования;
- топлива и эксплуатационные материалы;
- персонал;
- система материально-технического обеспечения;
- организация и структура работ по обеспечению ЭБЭАТ.

Подвижной состав, его такие характеристики, как надежность и уровень экологической безопасности, являются для технической эксплуатации критериями эффективности ее работы.

Следует особо отметить, что при расчете выбросов загрязняющих веществ от стоянок, площадок для хранения автомобилей, зон текущего ремонта и технического обслуживания, в первую очередь учитываются выбросы от передвижения автомобилей, а также от работающих на холостом ходу двигателей (например, при диагностике, обкатке и т.п.).

Производственно-техническая база служит основным материальным элементом технической эксплуатации автомобилей, а потому является важнейшим источником выбросов загрязняющих веществ при функционировании автотранспортных предприятий

В состав производственно-технической базы входят также специализированные сооружения и оборудование по обеспечению ее экологической безопасности – очистные сооружения, система вентиляции,

площадки для хранения отходов, емкости для сбора отработавших масел и др.

Для оценки влияния элементов производственно-технической базы на уровень ее экологической безопасности необходимо учитывать наличие, состав и соответствие современным требованиям специализированного природоохранного оборудования, перечисленного выше (очистные сооружения и т.п.).

Анализ проведенных инвентаризаций, томов предельно-допустимых выбросов (ПДВ), предельно-допустимых сбросов (ПДС), разрешений, полученных автотранспортными предприятиями, на выбросы вредных веществ в атмосферу, сбросы вод в канализацию и на земную поверхность, показывает, что от производственно-технической базы выбрасывается в атмосферу, поступает в канализацию и на земную поверхность до 50 наименований различных веществ и химических соединений различных классов опасности.

Система и организация ТО и ремонта автомобилей, обеспечивающая эффективность производственных процессов технической эксплуатации, оказывает существенное влияние на объемы работ по поддержанию заданного уровня работоспособности автомобильного парка, а также объемы потребляемых ресурсов и энергии.

Система снабжения и резервирования обеспечивает техническую службу, службу эксплуатации и подсистему управления необходимыми запасными частями, комплектующими изделиями, материалами (включая топлива и эксплуатационные материалы).

Топлива и эксплуатационные материалы не только оказывают прямое воздействие на содержание в отработавших и картерных газах загрязняющих веществ, но и на техническое состояние двигателя: ухудшая или улучшая его экологические характеристики, а также оказывая влияние на потребности в объемах ремонта, и через это оказывая влияние на экологическую безопасность производственно-технической базы.

Персонал является активным, управляющим звеном в общей системе экологической безопасности автотранспорта. Важнейшим качеством персонала является его квалификация, которая обеспечивается системой подготовки кадров, действующей на автотранспортном предприятии, в транспортной компании. От квалификации и мотивации персонала зависят результаты деятельности всех подсистем технической эксплуатации, в том числе и качество технического обслуживания и ремонта. Таким образом, подсистема «Персонал» может быть охарактеризована его наличием, уровнем квалификации, системой мотивации и социальными условиями его деятельности.

В результате проведенного экспертного исследования был определен вклад каждой подсистемы в обеспечение экологической безопасности эксплуатации автомобильного транспорта (табл.). Наиболее весомый вклад в достижение конечной цели оказывают:

- ✓ Организация и структура работ по обеспечению ЭБЭАТ – 17,6%;
- ✓ Персонал – 17,6%;
- ✓ Подвижной состав – 16,7%.

Таблица 1. Вклад подсистем технической эксплуатации в обеспечение экологической безопасности автомобильного транспорта

№ п/п	Подсистемы ТЭА	Веса q по критериям:			
		экономичности	времени реализации	степени влияния	обобщенному
1	Подвижной состав	0,11	0,19	0,22	0,167
2	Производственно-техническая база	0,06	0,03	0,17	0,088
3	Персонал	0,17	0,17	0,19	0,176
4	Организация и технология ТО и ремонта	0,08	0,08	0,06	0,074
5	Топливо и эксплуатационные материалы	0,14	0,14	0,14	0,139
6	Система материально-технического обеспечения	0,03	0,11	0,03	0,084
7	Условия эксплуатации и природно-климатические условия	0,19	0,06	0,11	0,097
8	Организация и структура работ по обеспечению ЭБЭАТ	0,22	0,22	0,08	0,176

По обобщенному критерию суммарный вклад этих факторов в обеспечение ЭБЭАТ составляет 51,9%. Очевидно, что на изучение этих подсистем в первую очередь должны быть направлены исследования в сфере обеспечения экологической безопасности эксплуатации автомобильного транспорта.

Список литературы

1. Сарбаев В.И. Методология и практика обеспечения экологической безопасности эксплуатации автомобильного транспорта. - М.: Изд-во «Машиностроение – 1», 2004. – 336 с.
2. Сарбаев В.И. Теоретические основы обеспечения экологической безопасности автомобильного транспорта. – М.: МГИУ, 2003. – 144 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЙ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕРРИТОРИИ ПО ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ И МОДЕЛЬНЫМ ДАННЫМ

Солодухин А.А.

Адыгейский государственный университет (Майкоп, Россия)

E-mail: gic-info@yandex.ru

На современном этапе развития науки о Земле активно используют точные инструментальные методы измерений - геодезические, спутниковые, сейсмические и др. для целей познания механизмов, мониторинга и прогноза природных процессов. Подобные методы применяются для исследования современных тектонических процессов.

Однако существенным недостатком данных инструментальных наблюдений скорости тектонических движений является непродолжительный по сравнению с длительностью тектонических циклов срок наблюдения. Поэтому актуальным будет разработка способов построения пространственно временных геодинамических моделей соответствующих длительности геологического времени развития природных систем на основании индикационных показателей.

Пространственно-временная блоковая геодинамическая модель территории Адыгеи создана на основе индикационного параметра градиента наибольшей мощности разностного слоя между базисными поверхностями соответствующего возраста [1] и отображает скорость вертикальных и относительную скорость горизонтальных движений тектонических блоков за плиоцен-четвертичное время (рис. 1).

Для верификации модели поставлена задача анализа степени совпадения данных инструментальных наблюдений на территорию исследования и данных, полученных с использованием индикационного параметра.

На первом этапе произведен анализ пространственного соотношения геодинамической модели Республики Адыгея, построенной по индикационным показателям, предложенным Е.Я. Ранцман, М.П. Гласко [3], и тектонической карты Северного Кавказа (масштаб 1:1000000, 1998г.) (рис. 2).

Выявлено тесное соответствие структурно-вещественных комплексов разных эпох и геодинамических обстановок с элементами построенной блоковой модели территории. Так, границы Индоло-Кубанского краевого прогиба, Восточно-Кубанского прогиба, Лабино-Малкинской моноклинали, Срединной зоны поднятия Большого Кавказа, Ахтырского глубинного разлома и тд. практически полностью совпадают с выделенными элементами блоковой модели территории. Все это свидетельствует о довольно четком проявлении тектонических единиц в современном рельефе.

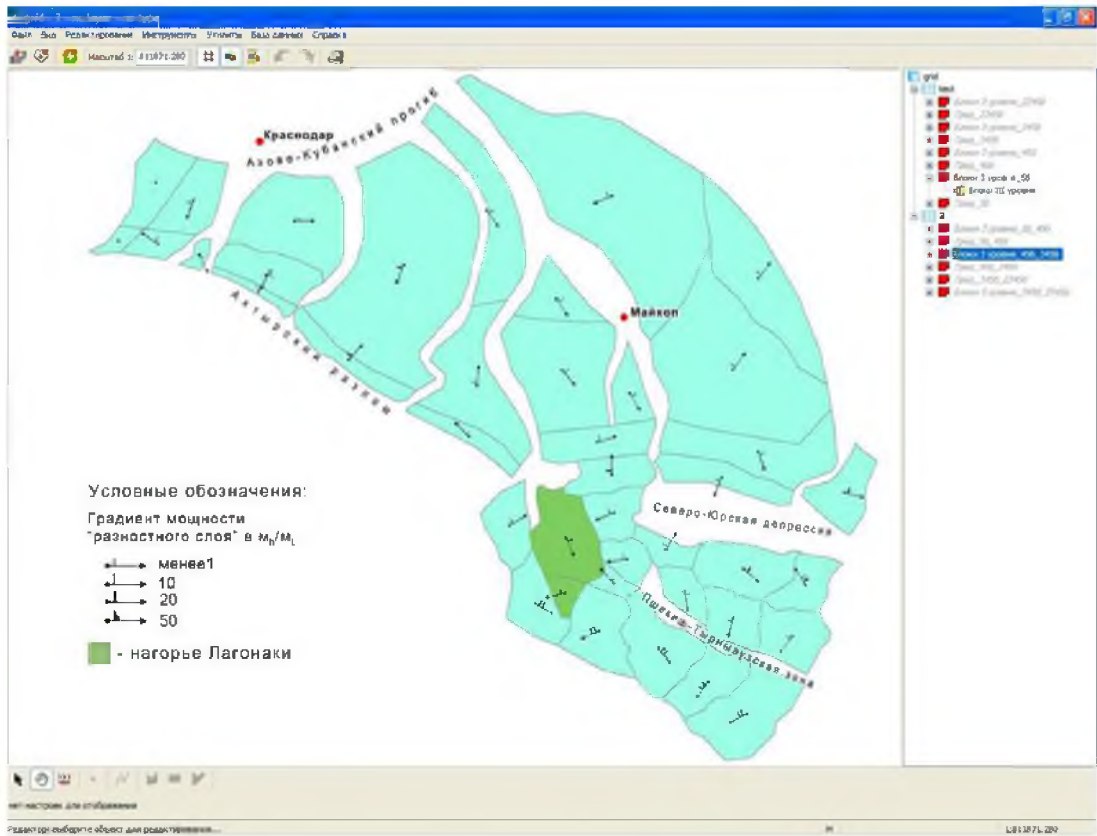


Рис. 1. Направление/скорость движения блоков (четвертичный период)

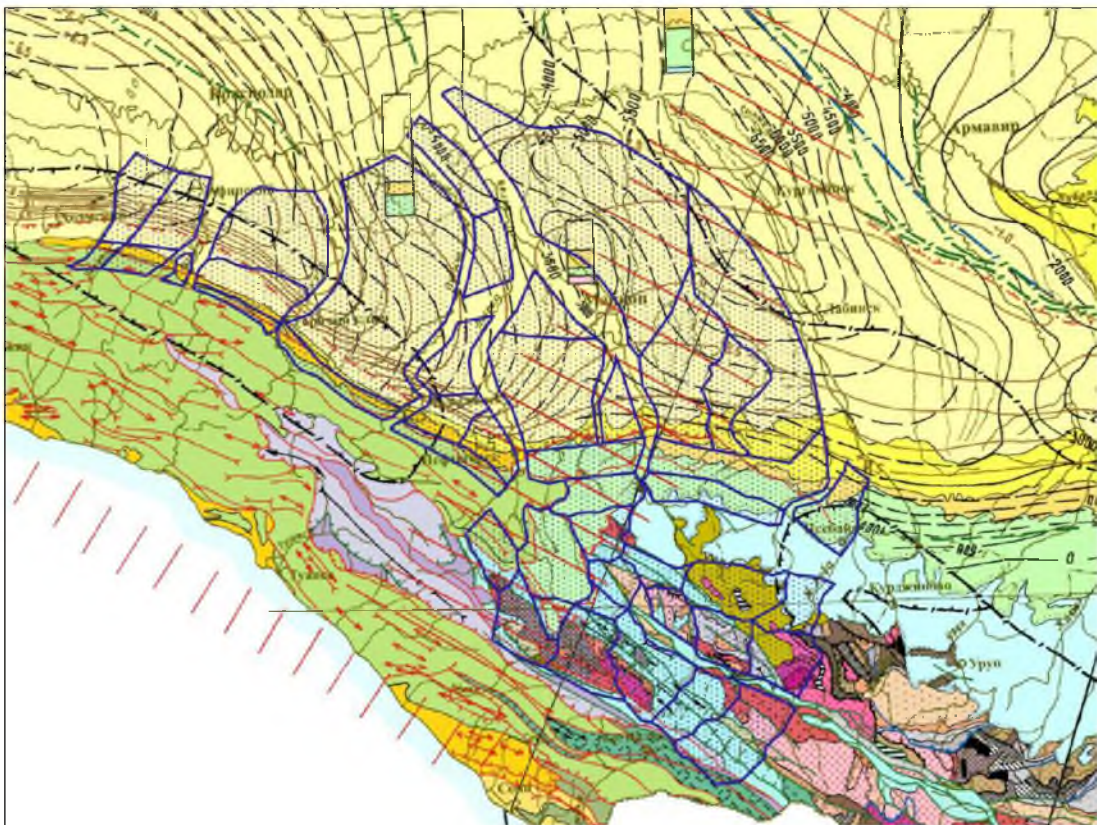


Рис.2. Соотношение блоков и линеаментов геодинамической модели Республики Адыгея и тектонической карты Северного Кавказа

Так же выявлено некоторое соотношение границ элементов блоковой модели территории с границами переходных зон карты конвективного теплового потока (рис. 3).

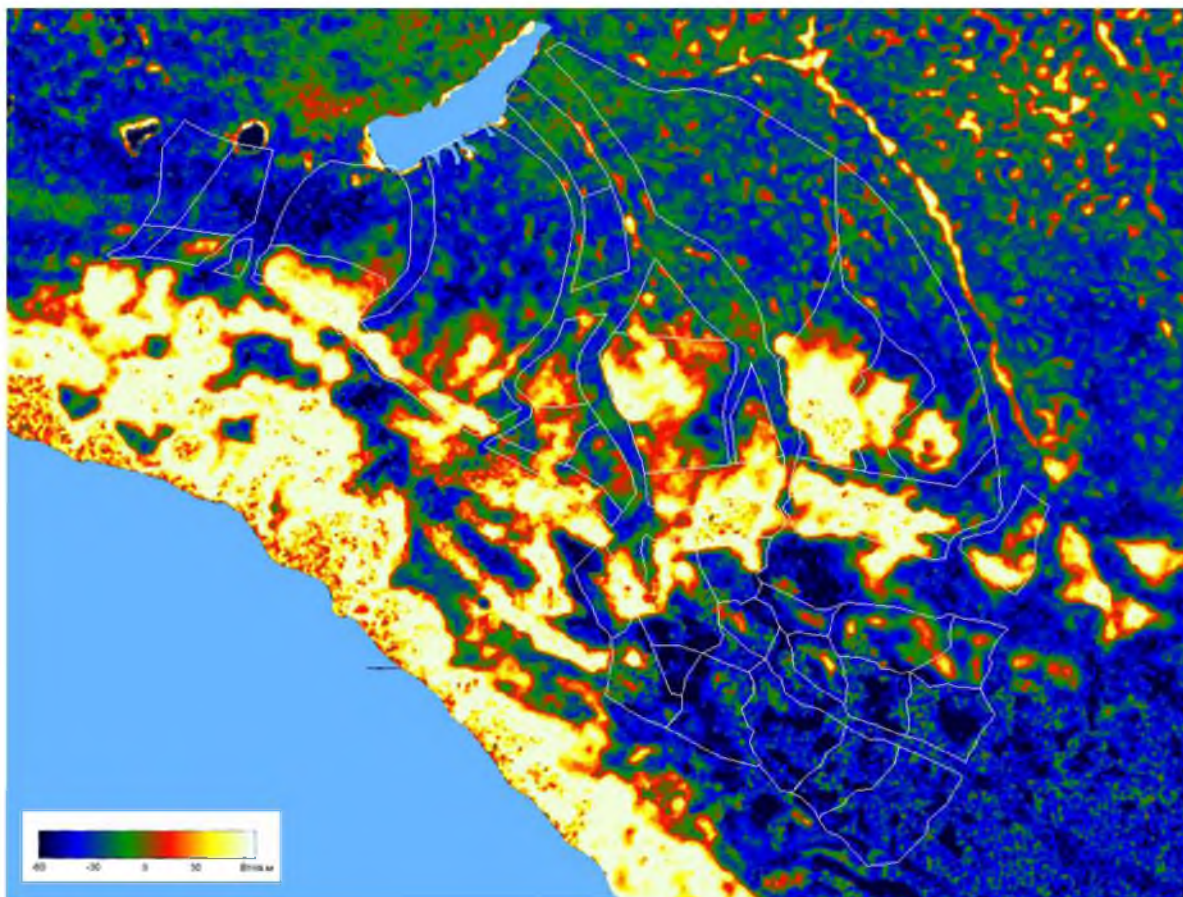


Рис.3. Соотношение границ элементов блоковой модели и карты конвективного теплового потока

На схеме четко видно соответствие границ предгорных блоков зонам повышенных и пониженных значений конвективного теплового потока.

Известны картосхемы Д.А. Лилиенберга [2], обобщающие данные пространственной дифференциации скоростей вертикальных тектонических движений на территории исследования по данным повторного нивелирования за период 1925-1992гг. (рис. 4).

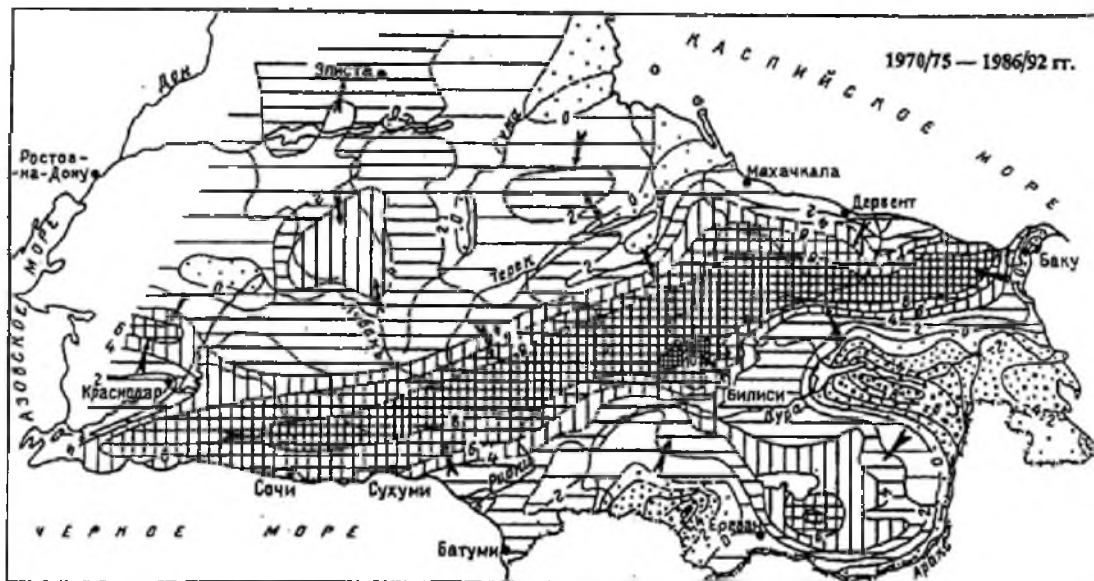
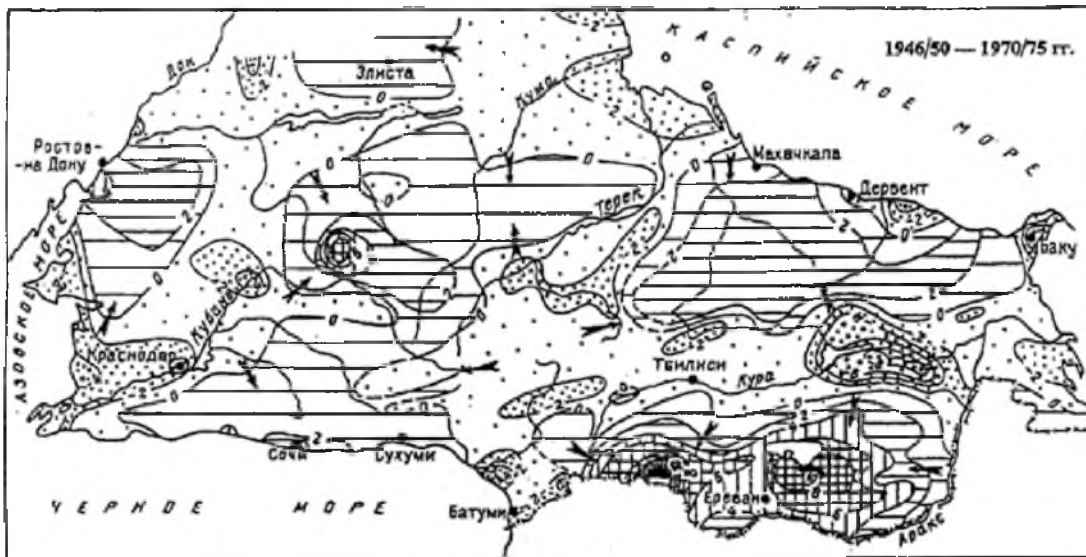
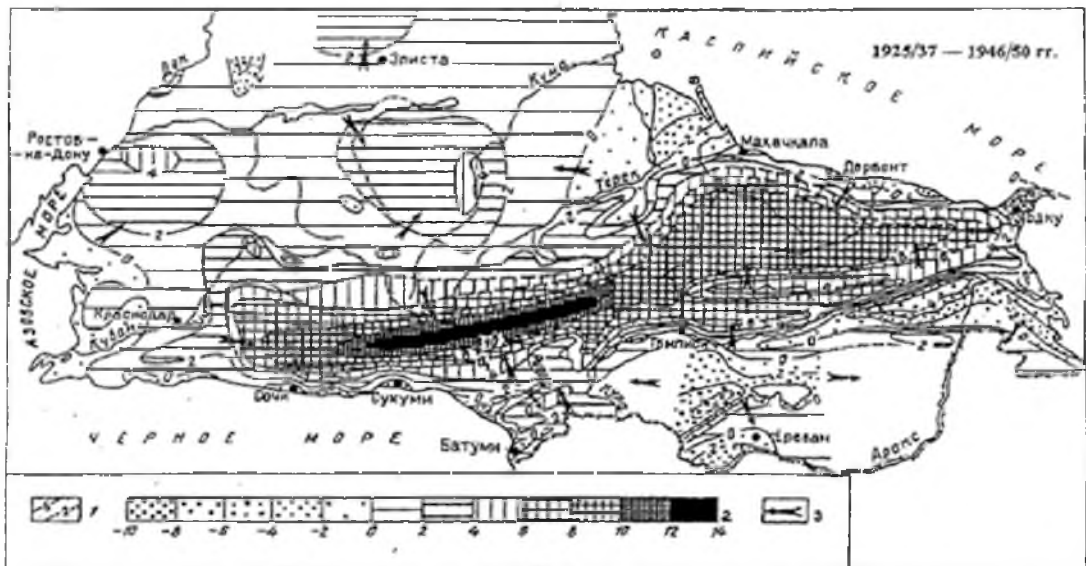


Рис.4. Картографо-геодинамические модели современных движений морфоструктур Кавказа и Закавказья (1925-1992гг.)

В качестве показателя связи между скоростями вертикальных тектонических движений геодинамической модели территории и инструментальными данными был выбран коэффициент корреляции - r . Его значения меняются от 0 до 1. Величина r от 0,1 до 0,5 указывает на слабую связь, от 0,5 до 0,7 - среднюю степень сопряженности, и от 0,7 и выше - сильную связь между переменными. По оцифрованным картам Д.А. Лилиенберга были построены Grid-поверхности. Далее рассчитаны статистические характеристики по каждому тектоническому блоку. Для расчетов использовались максимальные и средние значения скоростей вертикальных движений в мм/год. В соответствии с продолжительностью периода, которому соответствует последовательность базисных поверхностей, были рассчитаны показатели скоростей вертикальных движений в мм/год. Далее был произведен расчет коэффициента корреляции между модельными и инструментальными данными (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициент корреляции между модельными и инструментальными данными скорости вертикальных тектонических движений

	Инструментальные данные (средние значения за три периода)	Инструментальные данные (максимальные значения за три периода)
Системно-структурная геодинамическая модель (средние значения)	0,78 $t=8,12\%^*$	0,74 $t=2,35\%^*$
Системно-структурная геодинамическая модель (максимальные значения)	0,81 $t=9,30\%^*$	0,70 $t=8,63\%^*$

* При $t_{табл} = 2,576$

Сильная степень сопряженности рядов со значениями коэффициента корреляции от 0,71 до 0,81 (при высоком уровне достоверности) обнаружена между средними и максимальными значениями скорости вертикальных движений блоков, определенных с одной стороны инструментальными наблюдениями за 20-ый век, с другой – индикационным параметром за четвертичный период.

Для визуального подтверждения сопряженности значений вертикальных движений были построены 4 профиля по одному направлению АБ (рис. 5) и произведено их совмещение (рис. 6).

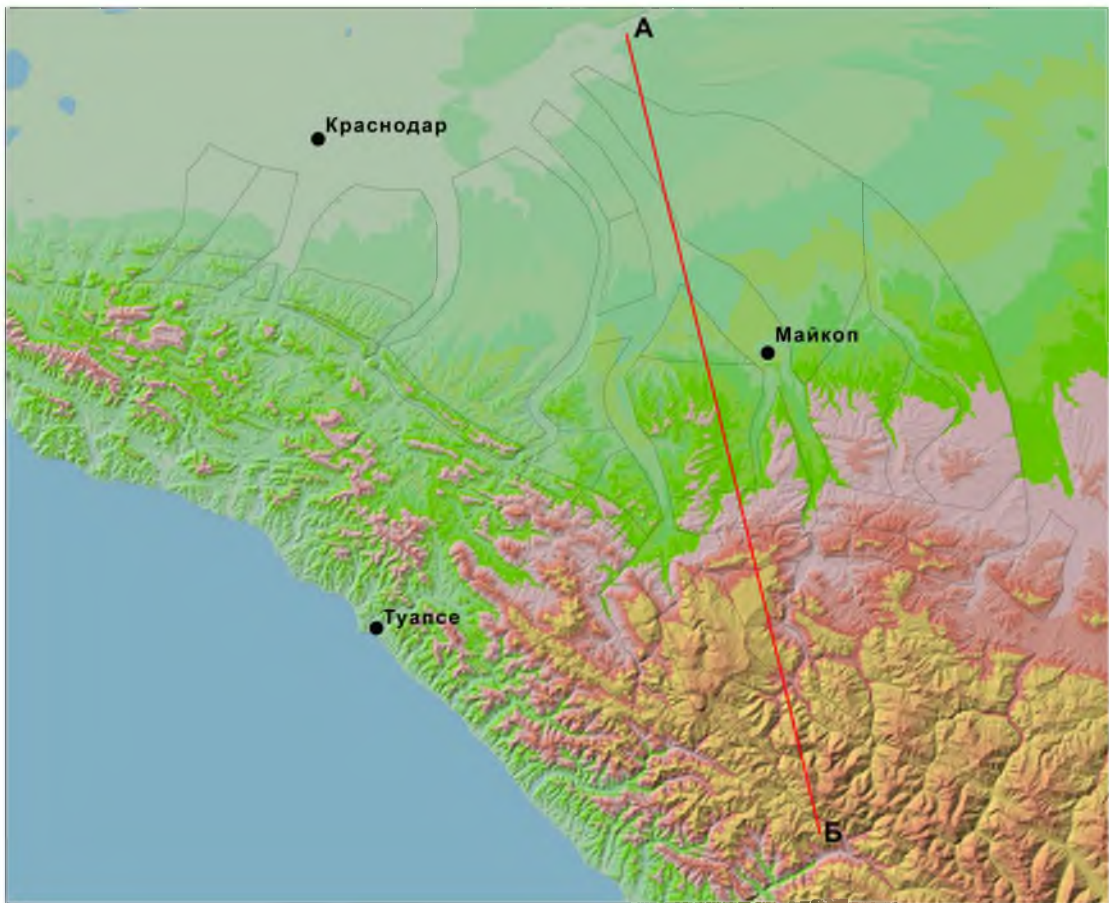


Рис.5. Направление профиля АБ

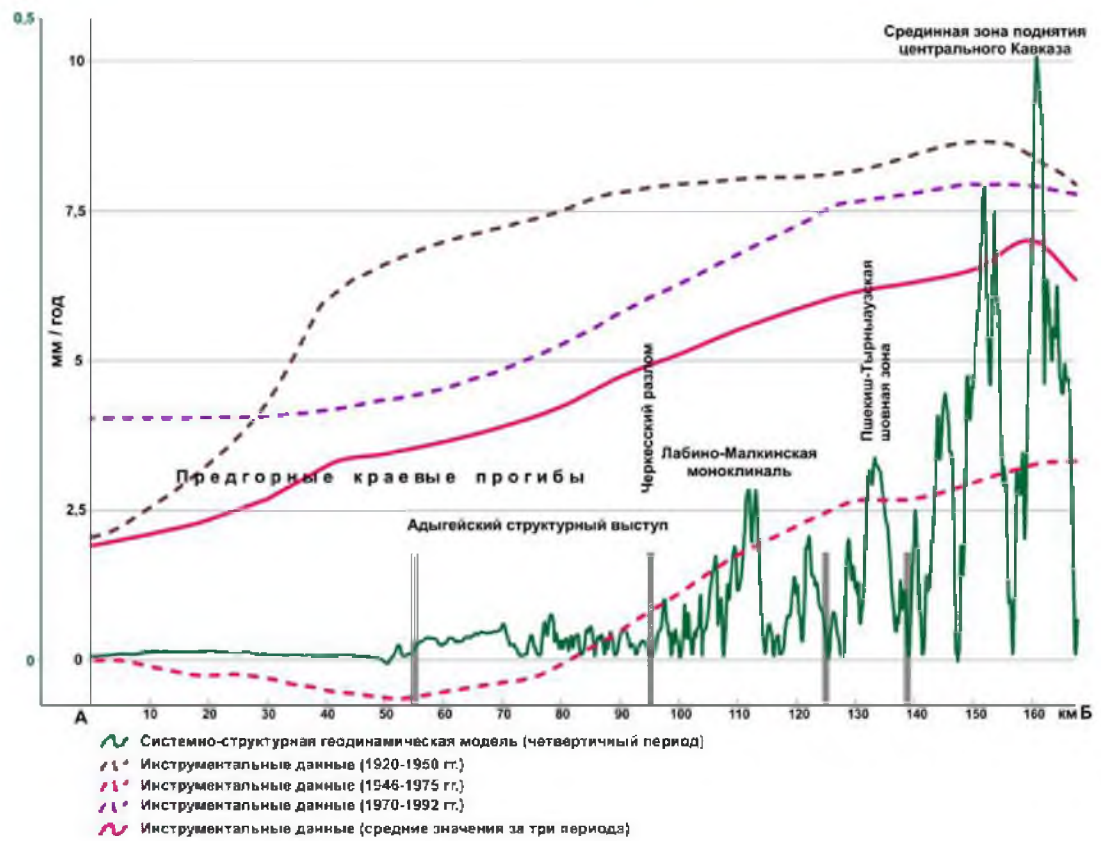


Рис. 6. Совмещенный график вертикальной скорости тектонических движений по модельным и инструментальным данным по профилю АБ

Список литературы

1. Варшанина Т.П., Плисенко О.А., Солодухин А.А., Коробков В.Н. Структурно-подобная геодинамическая модель Краснодарского края и Республики Адыгея: Под ред. Б.И. Кочурова. – Москва – Майкоп: Издательский дом «Камертон», 2011. – 128 с.
2. Лилиенберг Д.А. Картографо-геодинамические модели современных движений морфоструктур Кавказа и Закавказья для разных эпох. / Д.А. Лилиенберг. // Геоморфология. 1997. - Вып.4. С. 63-75.
3. Ранцман Е.Я., Гласко М.П. Морфоструктурные узлы. – места экстремальных природных явлений. – М.: Медиа-Пресс, 2004. - 224 с.

ДИНАМИКА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ, МАТЕРИКОВОГО И МОРСКОГО ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПО МНОГОЗОНАЛЬНЫМ СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ В КОНТЕКСТЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Сычев В.И.

*Российский государственный гидрометеорологический университет
(Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: vsychev@rshu.ru*

Для анализа низкочастотной составляющей климатических изменений и восстановления данных о климате Земли за последние две тысячи лет ученые используют множество косвенных методов. Например, анализируются данные о годовых кольцах деревьев, росте кораллов, пыльце растений, донных отложениях, сталагмитах, а также информация из исторических документов, которые относились более чем к 500 пунктам на всех континентах. Более пятидесяти лет спутниковые методы широко и активно используются для исследования поверхности суши и воды, и в настоящее время играют важную роль в Глобальной системе наблюдения Земли. В космическую группировку системы входят геостационарные, полярно-орбитальные, оперативные спутники для исследования окружающей среды и еще около 50 спутников различного назначения. Наиболее информативным методом при дистанционном исследовании поверхности Земли из Космоса является использование и тематический анализ изображений, полученных приборными комплексами различных частотных диапазонов. Космические аппараты с установленными регистраторами выведены на орбиты специально для получения разносторонней геофизической информации, необходимой для оценки состояния окружающей среды и для природо-ресурсных исследований. Цифровые данные с радиометров, сканеров, спектрометров, радаров, альтиметров, скаттерометров, установленных на различных спутниках (NOAA, Terra, Aqua, TOPEX/Poseidon, Jason-1, Jason-2, GFO, Radarsat-1, Radarsat-2, ERS-2, QuikSCAT, Landsat-1–7, IRS, Kompsat-2, EROS-A, IKONOS, SPOT-1–5, QuickBird, Formosat-2 и многих других), позволяют получать информацию о температуре поверхности суши и воды, концентрации хлорофилла и других оптических характеристиках водной поверхности и суши, нефтяном загрязнении, а также обновить картографические и другие данные.

Изменение климатических условий последних десятилетий повлияло на распределение основных гидрометеорологических характеристик, особенно в Арктическом регионе, что было выявлено на основе данных дистанционного зондирования. Известно, что Арктика подвержена влиянию многих факторов различных временных и пространственных масштабов. В первую очередь к ним относят влияние атмосферной циркуляции и соседних

океанов, близость континентов, сезонный ход радиационного баланса. Эти факторы взаимосвязаны и оказывают воздействие как на процессы в регионе, так и на погодные условия в умеренных широтах, включая европейскую территорию России. Изменение климатических условий сказывается на изменении ледовых условий в Арктике, что с достаточной степенью достоверности может быть исследовано с помощью современных космических аппаратов.

Например, в основном по данным дистанционных методов было определено, что зима 2012 г. в западной Арктике была необычно теплой с температурой местами на 15° градусов выше обычной. Положительные аномалии температуры воздуха сохранились весной и летом. К концу года общий объем льда был на 1 тыс. км³ меньше, чем в 2010 и 2011 гг. При этом положительные аномалии температуры воздуха летом были выше в западной Арктике, в то время как в теплом 2007 г. они были выше в восточной Арктике. Известно, что 2012 г. вошел в число десяти самых теплых лет в истории наблюдений, причем количество осадков в среднем для всего земного шара оказалось близким к норме, однако в отдельных регионах условия были экстремальными. От засухи в минувшем году пострадали Россия, Украина и Казахстан, центральная часть североамериканского континента, северо-восток Бразилии. Напротив, на западе, в центральной части Африки, в Великобритании и Финляндии количество осадков превысило норму. В результате перестройка атмосферных процессов привела к аномальным климатическим погодным условиям 2012 г. и весны 2013 г., а аномалии погодных условий были близки к экстремальным.

За последние годы площадь морского льда в Арктике сократилась до рекордно низких значений за всю историю спутниковых наблюдений. Тенденция сокращения площади льда в Арктике хорошо прослеживается на представленных графиках. Каждый год таяние льда продолжается примерно до середины сентября. При этом в общей тенденции таяния льда можно обнаружить несколько рекордных лет, когда общий объем льда был достаточно велик. Это 1996 и 1992 годы. Площадь ледяного покрова в северном полушарии в 1979-2013 гг. изменялась от 14 млн. км² до 2.6 млн. км². С начала XXI века общее количество льда уменьшается, зафиксированы минимальные за весь период наблюдений летние значения (2007, 2011, 2012 гг.) и минимальные зимние – в 2011 г. При этом практически все годы характеризуются отрицательным ледовым балансом, т.е. летние аномалии превышают зимние по абсолютной величине. С 2005 г. летние аномалии площади льдов растут по абсолютной величине. Т.е., как и прежде, зимой Северный Ледовитый океан покрывается льдом, а летом значительная площадь льдов освобождается от ледяного покрова. Тем самым отчетливо проявляется связь с уменьшением средней толщины льда в Арктике и увеличением площади однолетних льдов.

Площадь многолетних льдов постепенно уменьшается, а с 2008 г. - практически в два раза по сравнению с началом века и почти в 3 раза с 80-ми

годами прошлого столетия. При этом с 1980 по 2011 гг. общая доля площади многолетних льдов в Арктике снизилась с 75% в середине 80-х годов до 45% в 2011 г. После рекордно минимальной площади в 2008 г. общее количество многолетнего ледяного покрова увеличилось до значений 2001-2006 гг.

Граница арктических льдов изменялась от максимального положения в 80-е годы до минимального - в 2012 г. Следует заметить, что точность спутниковой информации, особенно данных микроволновых радиометров SSM/I и SSMR, которые используются для оценок площади ледяного покрова в Арктике, может не превышать 10%. Тем не менее, эти данные являются ценным источником для определения влияния арктических льдов на климат Земли.

Изменение климатических условий последних десятилетий привело также к увеличению числа арктических айсбергов и ареалов их распространения. Современное состояние техники исследования айсбергов и морского ледяного покрова в арктических морях позволяет достаточно точно определить их характеристики. Для этой цели используются последовательные спутниковые изображения, полученные с разных орбит одного спутника, либо с различных ИСЗ. С их помощью определяются геометрические размеры айсбергов, характеристики их дрейфа и, следовательно, оценивается возможность потенциальной угрозы навигации и морским и прибрежным сооружениям. Интенсивно развиваются методы обнаружения айсбергов в различных диапазонах спектра (видимом, ИК, СВЧ, с помощью радиолокационных данных). Особое место отводится использованию всепогодных, не зависящих от наличия облачности, радиолокационных методов. Для некоторых районов Карского моря получены статистические оценки наличия малых и средних айсбергов на радиолокационных снимках в зависимости от размера айсберга, поляризации, угла визирования, погодных условий. Например, по данным спутников RADARSAT-1, 2 с разрешением 8 м получены оценки вероятности наблюдения малых (периметр 15-60 м) и средних айсбергов (50-120 м) при различной скорости ветра и разной поляризации (HH, HV). Полученные результаты сравнивались с данными видимого диапазона приборов спутников Quick Bird-2, Spot-5, Landsat-5,7 для отдельных периодов с 1978 по 2013 гг. Выявлена тенденция к уменьшению площади материковых льдов северного острова Новая Земля и увеличению числа айсбергов в северо-восточной части Карского моря, что тесно связано с климатическими изменениями Арктики и ее морей.

Особенности климатического и антропогенного воздействия на прибрежную зону могут быть детально исследованы с помощью космических приборов высокого и среднего разрешения. Например, данные спутников Spot 5, 6, 7 используются при картографировании, для муниципального планирования и управления, для борьбы со стихийными бедствиями.

На базе Российского государственного гидрометеорологического университета был проведен подспутниковый эксперимент, и изучалась

подстилающая поверхность прибрежной зоны Финского залива летом 2008-2010 гг. Для этих районов компания SpotImage (<http://www.spotimage.com>) предоставила для работ студентов РГГМУ в рамках проекта Planet Action (<http://www.planet-action.org/web/85-project-detail.php?projectID=978>) данные спутника Spot 5 от 24 апреля и 4 июня 2008 г. в формате GeoTiff с разрешением 10 м в 4 диапазонах: зеленого (0,50-0,59 мкм) и красного цветов (0,61-0,68 мкм), а также ближнем ИК (0,78-0,89 мкм) и среднем ИК (1,58-1,75 мкм). Обработка и анализ спутниковых данных производились с помощью программного комплекса ЮНЕСКО Билко (<http://www.poc.soton.ac.uk/bilko/>), в разработке и апробации которого принимали участие специалисты кафедры ЮНЕСКО РГГМУ дистанционного зондирования и моделирования в океанографии. Результаты обработки использовались при составлении карты подстилающей поверхности для восточной части Финского залива. Был проведен детальный анализ полученных композитных изображений, результатов классификаций и метода главных компонент. Использование натуральных наблюдений позволили детально описать различные типы подстилающей поверхности, типичные для данной местности, а также для построения карты восточной части Финского залива.

Приведенные примеры и результаты анализа показали преобладание абразионных процессов в южной части Финского залива и аккумулятивных процессов в береговой зоне восточной части Финского залива (район Дубки-Сестрорецк).

Полученные результаты могут быть важны для исследования подстилающей поверхности в труднодоступных районах, в том числе в связи с наблюдающейся тенденцией к потеплению в зимний период и нестабильными ледовыми условиями в связи с усилением климатического воздействия на прибрежную зону.

В качестве примера проведено комплексное обследование состояния береговой полосы вдоль южной границы земельного участка территории строительства многофункционального комплекса «Лахта центр» (МК ЛЦ) на севере Санкт-Петербурга с целью определения устойчивости береговой линии. Земельный участок площадки строительства МК ЛЦ (площадью 13,9401 га) расположен в водоохраной зоне и прибрежно-защитной полосе Невской губы Финского залива в пределах искусственно сформированной территории. Береговая полоса, являющаяся южной границей участка, имеет искусственное (антропогенное) происхождение и укреплена каменными валунами, в основании которых уложены бетонные блоки. Результаты исследования участка строительства позволили оценить современное состояние и возможные направления сукцессии геосистемы береговой полосы территории строительства многофункционального комплекса ЛЦ. Показано, что отрезок береговой полосы участка строительства может быть признан одним из достаточно стабильных биотопов в пределах северного берега Невской губы. Проведение запланированных работ 1-го этапа строительства не окажет негативного воздействия на наземные и водные

экосистемы, а в ходе реализации проекта ожидается формирование устойчивых и экологически ценных наземных и водных биологических сообществ.



Рис. 1. Участок реки Пшиш к югу от Краснодарского водохранилища:
а) 17 августа 2005 г., б) 9 августа 2010 г., в) 8 сентября 2011 г.
(Image@2013DigitalGlobe).

Оценка эффективности берегоукрепительных работ в ходе строительства может быть получена на основе анализа спутниковой информации. Размеры сокращения или увеличения ширины пляжа могут оцениваться по данным, например, с разрешением до 1–4 м. Учитывая чрезвычайное разнообразие природных условий и действующих факторов в

пределах береговой зоны северного берега Невской губы, а также изменение скорости протекания и направления абиотических процессов после введения в строй Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга, считается целесообразным проведение спутникового мониторинга исследуемого участка.

Некоторые этапы описанного эксперимента выполнены также для южного участка береговой зоны Краснодарского водохранилища, участков канала Ходзь–Неволька–Чохрак, рек Лаба и Пшиш в пределах Республики Адыгея. Результаты исследований позволили оценить современное состояние и возможные направления изменений геосистемы береговой полосы, а также динамики аккумуляции наносов в районе Краснодарского водохранилища и устья реки Пшиш (рис.1).

ИЗУЧЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПНОГО ПОЯСА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Тах И.П.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова КБНЦ РАН
(Нальчик, Россия)
E-mail: Irina_Tah@mail.ru*

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).

Функциональная роль ферментов как катализаторов материально-энергетического обмена в почве и в почвенных процессах огромна. В почве присутствуют и функционируют системы ферментов, последовательно осуществляющие биохимические реакции [14], выполняющие материальные и энергетические обмены, в основе которых лежат синтетико-деструктивные реакции. Важная роль ферментов в почве заключается в том, что они осуществляют функциональные связи между компонентами экосистемы, и ферментативная активность почвы отражает функциональное состояние живого населения ее [22]. Под действием ферментов органические вещества почвы и остатки биоты распадаются до различных и конечных продуктов минерализации. Ферменты, выполняя ведущую роль в процессах трансформации органических веществ, являются чувствительными индикаторами на воздействие разных факторов почвообразования и на изменение условий функционирования естественных биоценозов [2, 17, 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.

Целью исследования – изучение ферментативной активности почв лесостепного пояса Северо-Западного Кавказа, в пределах Адыгеи (по типизации: А.К. Темботова и др., 2001) [18], и выявление сопряженных изменений активности ферментов с содержанием гумуса и влажностью.

Изучаемые ферменты, относящиеся к классу гидролаз и оксидоредуктаз, играют существенную роль в важнейших биохимических процессах: инвертаза и уреаза в гидролитическом расщеплении органических веществ, каталаза - в окислительно-восстановительных реакциях.

Материал и методы исследования. Исследуемые почвы лесостепного пояса кубанского варианта поясности в пределах Республики Адыгеи (высотные пределы 230 – 642 м над ур.м.), координаты 44⁰28' - 44⁰41' с.ш. и

40°03' - 40°20' в.д. расположены в умеренно влажной зоне. Годовое количество осадков составляет 600-750 мм. Среднегодовая температура воздуха составляет +10,6°С, самый жаркий месяц (июль) со среднемесячной температурой воздуха +23°С, абсолютный максимум отмечен в августе +42°С. Наиболее низкие температуры наблюдаются в зимний период: среднемесячная температура воздуха составляет -2,4°С., абсолютный минимум отмечен в январе и равен -31°С [12].

Разнообразные климатические, гидрологические, растительные и рельефные условия способствовали формированию на территории Республики Адыгея сложного почвенного покрова. В лесостепной зоне преобладающим типом растительности являются дубовые леса. Господствующей породой является *Quercus robur* L. В качестве содоминирующих пород в его формировании принимают участие *Fraxinus excelsior* L., *Tilia caucasica* L., *Acer campestre* L., *Carpinus betulus* L. Наиболее характерными сопутствующими видами деревьев являются *Pyrus caucasica* Fed., *Ulmus glabra* Huds., *Crataegus monogyna* Jacq., *Acer tataricum* L. Среди кустарников преобладают *Euonymus europaea* L., *Ligustrum vulgare* L., *Swida australis* (С.А. Мей) Pojark. ex. Gross., *Crataegus monogyna*, *Cornus mas* L. Травяной ярус представлен *Vincetoxicum scandens* Somm. et Levier., *Geum urbanum* L., *Urtica dioica* L., *Lamium maculatum* L., *Carex silvatica* Huds., *Brachypodium sylvaticum* (Huds.) Beauv., *Fragaria vesca*, *Dryopteris filix mas*, *Poa angustifolia* Vieb., *Dactylis glomerata* L. Типичными представителями разнотравья являются *Teucrium polium* L., *Achillea millefolium* L., *Euphorbia virgata* Waldst. et Kit., *Plantago media* L., *Galium odoratum* (L) Scop., *Salvia verticillata* L., *Inula salicina* L. Из бобовых высоким обилием отличается *Medicago minima* L. Реже отмечены: *Vicia cracca* L., *Galega officinalis* L.

Сбор и анализ почвенных образцов на ферментативную активность осуществляли по общепринятым в почвоведении методам [10, 21, 6]. Пробы почв отбирались в естественных биоценозах в летний период 2008 г. (t=24-27°С) в лесостепной зоне кубанского варианта поясности в пределах Республики Адыгея. Всего проанализировано 90 почвенных образцов. Для исследования использовали образцы с поверхностного слоя (0-15 см) различных типов и подтипов почв: чернозема выщелоченного слитого, чернозема выщелоченного уплотненного, лугово-черноземной выщелоченной, луговато-лесной выщелоченной, аллювиальной луговой карбонатной, лесостепной (серой, серой глееватой и темно-серой) и лесной (серой и темно-серой). Почвы подвергались тщательной очистке, сушке до воздушно-сухого состояния, измельчению. Контролем служили стерилизованные почвы (t=180°С, 3 час.). Ферментативную активность почв оценивали по шкале Гапонюк-Малахова [5]. Типы почв определялись по почвенно-экологической карте Республики Адыгея [16].

Сопряжено с активностью ферментов определялись процентное содержание гумуса по методу Тюрина в модификации Никитина [10], рН [7], гигроскопическая влага [8].

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1. Исследуемые почвы характеризуются как среднегумусные и высокогумусные. Колебания в содержании гумуса в разных типах почв весьма существенно, и максимальные уровни превышают минимальные в 2-3 раза. Варьирование содержания гумуса составляет 1,19-32,73%.

По результатам проведенных исследований установлено, что серые лесостепные и серые лесные почвы, а также их подтипы характеризуются кислой и слабокислой реакцией среды, тогда как черноземы и луговые почвы – нейтральной и слабощелочной. Величины рН для всех почв отличаются наименьшей вариабельностью, которая не превышает 3 %.

Гигроскопическая влажность варьирует от минимального значения для почв чернозема выщелоченного уплотненного и слитого до максимального для луговато-лесной и аллювиальной луговой карбонатной. Вариабельность влажности колеблется в пределах 1,16 – 49,68%.

Стадия ферментативного превращения углеводов в почве представляет собой важнейшее звено круговорота углерода в природе. Ферментативное превращение углеводов обеспечивает передвижение поступающего в почву в огромных количествах органического материала и накопленной в нем энергии, а также аккумуляцию его в почве в форме гумуса, так как при этом образуются предгумусовые компоненты. Фермент представляющий наибольший интерес в общем, углеводородном обмене в почве - активность инвертазы, так как имеет широкое распределение сахарозы во всех биологических организмах, являющимся потенциальным источником накопления ее в почве.

В изученных нами почвах активность фермента инвертазы характеризуется как средняя, при этом средние значения инвертазной активности близки. Максимальная активность фермента отмечена у луговато-лесной и серой лесостепной почвы. Самая низкая инвертазная активность зарегистрирована в аллювиальной луговой карбонатной почве, которая характеризуется наличием признаков периодического гидроморфизма. В данном типе почвы образуются на поверхности мочаги, которые приводят к временному заболачиванию почвы. Избыточная влажность на поверхности почвы может быть причиной изменения соотношения эколого-трофических групп микроорганизмов в почвенном микробиологическом комплексе и снижении численности микроорганизмов, гидролизующих дисахариды. Коэффициенты вариации инвертазной активности невысокие 2,04-22,44%.

Изученная серая лесостепная глеевая почва имеет меньшую инвертазную активность в связи с меньшим содержанием гумуса, углеводов и менее благоприятными для накопления и функционирования ферментов свойствами поглощающего комплекса. В поглощающем комплексе этих почв содержится, по-видимому, значительное количество железа и алюминия, в

составе гумуса преобладают фульвокислоты, которые могут оказать отрицательное действие на активность сахарозы.

Таблица 1. Средние значения ферментативной активности почв лесостепного пояса Адыгеи

Почвы	pH	Влажность, %	Гумус, %	Инвертаза, глюкоза мг/1 г сут ⁻¹	Уреаза, мг NH ₃ /10 г сут ⁻¹	Каталаза, мл O ₂ /1г/1мин
Серая лесостепная	5,41	10,68±4,33	6,24±1,09	38,20±6,63	95,63±13,93	9,17±1,78
Темно-серая лесостепная	5,94	9,88±4,45	5,35±0,38	28,60±5,47	124,68±25,97	7,01±2,10
Серая лесостепная глееватая	5,21	9,09±0,96	3,72±0,05	21,63±2,16	11,87±1,78	2,58±0,76
Чернозем выщелоченный слитый	6,78	8,17±1,33	5,56±1,82	31,93±1,47	38,47±5,31	5,61±2,58
Чернозем выщелоченный уплотненный	7,50	6,95±0,081	6,64±0,78	31,54±6,94	36,49±2,50	8,95±1,65
Луговато-черноземная выщелоченная	7,23	10,97 ±0,49	4,70±0,06	36,49±2,96	20,93±3,60	6,90±1,48
Луговато-лесная выщелоченная	7,53	12,26±2,23	6,78±0,80	40,35±1,35	41,01±4,02	7,67±1,6 0
Аллювиальная луговая карбонатная	7,16	12,13 ±2,93	4,56±0,54	17,85±3,32	26,38±7,06	2,15±0,55
Серая лесная	5,86	8,58±0,42	7,76±0,91	31,40±0,64	55,87±5,49	8,52±1,44
Темно-серая лесная	6,21	8,96±1,174	6,19 ±0,73	27,90±6,26	78,86±10,64	7,27±1,10

Выщелоченные слитые и уплотненные черноземы имеют примерно одинаковую инвертазную активность, хотя черноземы выщелоченные уплотненные более гумусированы. Очевидно, для черноземов выщелоченных слитых фактором, лимитирующим формирования более высокой инвертазной активности, выступает неблагоприятный водный режим, тогда как для уплотненных черноземов таким лимитирующим фактором является температурный режим.

Находящиеся в сходных типах растительного покрова подтипы серых лесостепных почв характеризуются практически одинаковой инвертазной активностью. Выявлены существенные различия между активностью инвертазы луговато-лесных выщелоченных почв ($t = 4,22 - 7,35$) и подтипами серых лесостепных почв.

Активность каталазы исследованных типов и подтипов почв отличаются по интенсивности окислительных процессов, и характеризуется как слабая, средняя и высокая. Различие между слабой активностью и высокой составляет 6-10 раз. В лесостепных почвах активность почвенного фермента каталазы варьирует от 1,3 мл O₂ до 13,0 мл O₂. Вариабельность каталазной активности составляет 15,13-45,99%. Наибольшую каталазную активность (среднее 9,17 мл O₂) из всех изученных почв проявляет серая лесостепная почва, что свидетельствует об энергичных окислительно-восстановительных процессах, происходящих в данной почве. Минимальная активность наблюдается у аллювиальной луговой карбонатной (среднее 2,15 мл O₂) и серой лесостепной глеевой (среднее 2,58 мл O₂) почвах. Каталазная активность возрастает от черноземов и луговых почв к серым лесостепным и лесным почвам, а также их подтипам. Отличие от других типов почв высоко достоверно ($t = 2,60-3,64$) для серых лесостепных глеевых почв и ($t = 2,24-4,16$) для аллювиальной луговой карбонатной почвы.

У наиболее гумусированных почв – серых лесных, серых лесостепных почв и ее подтипов, а также чернозема выщелоченного уплотненного и луговато-лесной почвы выявлена средняя активность данного фермента. Как отмечено выше, эти почвы отличаются также повышенной активностью инвертазы.

С действием уреазы связаны процессы гидролиза и превращения в доступную форму азота мочевины. Последняя в значительных количествах может образоваться в естественных почвах в качестве промежуточных продуктов метаболизма азоторганических соединений, особенно азотистых оснований нуклеиновых кислот.

Активность уреазы исследованных типов и подтипов почв неодинакова и характеризуется как средняя, высокая и очень высокая. Пределы колебания активности уреазы в почвах составляла 7,70 -183,80 мг NH₃/10 г почвы сут⁻¹. Максимальная активность данного фермента отмечена у темно-серых и серых лесостепных почв, минимальная – серой лесостепной глеевой и луговато-черноземной. Повышение уреазной активности почв, по-видимому, способствуют оптимальные значения рН в указанных почвах. Очевидно, относительно меньшее содержание амидных форм органического азота в лесостепных почвах, обуславливается повышенной активностью в них уреазы.

Активность уреазы в черноземах (уплотненных и слитых) и луговато-лесных почвах различалась незначительно. Скорость разложения мочевины в серой лесостепной глеевой, луговато-черноземной и аллювиальной луговой карбонатной почвах была существенно ниже по сравнению с другими участками. Вероятно, это связано с нарушением биохимической активности групп микроорганизмов, принимающих участие в минерализации азотистых соединений в почве.

В черноземной почве по сравнению с темно-серой лесостепной почвой, скорость разложения мочевины была почти в 3-3,5 раза ниже. По уровню

активности данного фермента черноземы (слитые и уплотненные), серые лесостепные глеевые и луговатые почвы (луговато-лесные и луговато-черноземные выщелоченные) уступают серым лесостепным и серым лесным почвам, а также их подтипам ($t = 2,18-7,93$). Изменчивость уреазной активности исследованных типов почв составляет 6,85 – 26,76%.

Корреляционный анализ выявил зависимость ферментативной активности почв от влажности и содержания гумуса. Установлена средняя и высокая корреляционная связь с содержанием гумуса и активности инвертазы ($r = 0,27-0,92$), каталазы ($r = 0,19-0,85$), уреазы ($r = 0,50-0,99$) с максимальной связью для луговато-черноземной выщелоченной и луговато-лесной почвы. Аналогичная сопряженная связь активности ферментов отмечена с влажностью ($r=0,39-0,99$; $r=0,17-0,88$; $r=0,45-0,94$ соответственно). Максимальная корреляционная зависимость изученных показателей выявлена для серой лесостепной глеевой, темно-серой лесостепной и лесной почвы.

Выводы. Определена активность важнейших почвенных ферментов – инвертазы, каталазы и уреазы различных типов и подтипов почв лесостепной зоны кубанского варианта поясности в пределах Республики Адыгея, и выявлены сопряженные изменения активности ферментов с содержанием гумуса и гигроскопической влажностью. Изученные почвы по активности инвертазы проявляют среднюю активность. Наиболее контрастны почвы по активности каталазы и уреазы, которые варьируют соответственно от слабой до высокой и от средней до очень высокой.

Серая лесостепная почва характеризуется наибольшей активностью по изученным ферментам, наименьшей – аллювиальная луговая карбонатная почва. Наиболее высокую инвертазную активность имеют луговато-лесные выщелоченные почвы. Уреазный потенциал наиболее высокий в темно-серых лесостепных почвах, а каталазный – серой лесостепной.

Несмотря на то, что черноземы уплотненные выщелоченные и черноземы слитые выщелоченные имеют высокие показатели гумуса, эти почвы обладают средней активностью изученных ферментов, что, по-видимому, связано с запасом влаги в почве и количеством атмосферных осадков за биологически активный период.

Серая лесостепная почва по активности изученных ферментов превосходит серые лесные почвы (аналогично и темно-серые), хотя по содержанию гумуса, наоборот уступают им.

Ферментативная активность изученных почв положительно коррелирует с содержанием гумуса и гигроскопической влажностью. Сравнительный анализ выявил достоверные различия в активности ферментов между черноземами и серыми (темно-серыми) лесостепными почвами, луговато-лесными выщелоченными и аллювиальными луговыми карбонатными почвами.

Список литературы

1. Абрамян С.А. Изменение ферментативной активности почв под влиянием естественных и антропогенных факторов // Почвоведение. № 7. 1992. - С.70-82.
2. Александрова Л.Н. Органическое вещество почв и процессы его трансформации. – М., 1980. - 286 с.
3. 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.
4. Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении. – Ереван, 1974. - 275 с.
5. Гришина Л.А., Копчик Т.Н., Моргун Л.В. Организация и проведение почвенных исследований для экологического мониторинга. – М. 1991.-82с.
6. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб.
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., 2001.
9. Звягинцев Д.Г. Проблемы биохимии почв // Почвоведение. – Вест. МГУ. Сер.17. 1977. № 1. – С. 74-84.
10. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследования. – Ростов-на/Д., 2003. - 204 с.
11. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. – М., 1963. – 314 с.
12. Климат Ростовской области и Краснодарского края. – Ростов-н/Д., 1938. - 139с.
13. Красильникова Н.А. Выделение ферментов корнями высших растений // Докл. АН СССР, 1952. Т. 87. № 2. – С. 309-312.
14. Купревич В.Ф., Щербакова Т.А. Почвенная энзимология. - Минск, 1966. - 275 с.
15. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н. Гумусное состояние почв как функция их биологической активности // Почвоведение. №8. 1984. -С. 39-48.
16. Почвенно-экологический атлас Республики Адыгея / Южно-российский региональный кадастровый центр Земля. – Майкоп. 1999. - 35 с.
17. Смолянинов И.И. Биологический круговорот веществ и повышение продуктивности лесов. – М., 1969. – 192 с.
18. Темботов А.К., Шебзухова Э.А., Темботова Ф.А., Темботов А.А., Ворокова И.Л. Проблемы экологии горных территорий. – Майкоп. 2001. - С. 100-107, 171-177.
19. Тюрин И.В. Органическое вещество почв и его роль в плодородии. – М., 1965. – 319 с.
20. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. – М. 1976. - 180 с.
21. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М., 1990. - 189 с.
22. Щербакова Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества. – Минск. 1983. - 222 с.

ОСОБЕННОСТИ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ СТЕПНОЙ ЗОНЫ КУБАНСКОГО ВАРИАНТА ПОЯСНОСТИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Тих И.П., Агиров А.Х.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова КБНЦ РАН
(Нальчик, Россия)
E-mail: Irina_Tah@mail.ru*

В настоящее время в почвенно-экологических исследованиях довольно широко используется такой доступный и информативный показатель биологической активности почв как ферментативная активность [1, 2, 6, 7]. Изучение активности ферментов, наряду с другими характеристиками, позволяет определить направленность и интенсивность процессов, протекающих в почве, и на основании этого предлагать пути и способы их регуляции для оптимизации ее экологического состояния [15].

Несмотря на то, что использование показателей активности ферментов при оценке общей биологической активности и плодородия почвы является общепринятым [6, 7], в научной литературе данные по биологическим характеристикам почв Северо-Западного Кавказа, в частности Адыгеи, нам мало известны. Поэтому получение, накопление и изучение данных по ферментативной активности, как важнейшего показателя биологических свойств почвы, является необходимой составляющей почвенно-экологических исследований республики. Следует отметить, что особенности активности некоторых ферментов в различных подтипах почв равнинной территории кубанского варианта поясности Адыгеи авторами данной работы изучены ранее [12-14].

Цель исследования: изучение активности ряда важнейших почвенных ферментов - каталазы, инвертазы, фосфатазы сопряженно с содержанием гумуса и реакцией почвенной среды в почвах степной зоны кубанского варианта поясности Адыгеи.

Материал и методы исследования. Исследованию были подвергнуты различные подтипы почв, представленные 9 разновидностями, распространенные в степной зоне кубанского варианта поясности Адыгеи (по типизации Соколова, Темботова, 1989) [11].

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) [8].

Почвенный покров тесно увязан с рельефом территории республики Адыгея. Равнинная часть занята черноземами выщелоченными сверхмощными, уплотненными и слитыми. В долинах на повышенной части

В комплексе с активностью ферментов определялись рН [5] и процентное содержание гумуса по методу Тюрина в модификации Никитина [6]. Корреляционный (по Пирсону) и кластерный анализы выполнены с использованием программы «Statistica-7».

Результаты и их обсуждение. Учитывая, что одними из природных факторов, влияющих на ферментативную активность, являются генетически устойчивые характеристики почв – содержание гумуса и реакция почвенного раствора, представлялось важным изучение этих свойств и выявление сопряженной связи с уровнем активности ферментов.

Таблица 1. Активность ферментов и некоторые характеристики различных подтипов почв степной зоны кубанского варианта поясности (в пределах Адыгеи)

№ пробы	Подтипы почвы	рН	Гумус, %	Инвертаза, мг глюкозы /1г/24часа	Фосфатаза, мг P ₂ O ₅ /100г/1час	Каталаза, Мл O ₂ /1г /1мин	Суммарная относительная ФА, %
Автоморфные почвы							
1.	Чернозем выщелоченный	6,57	7,35±0,25	43,83±2,09	51,77±4,22	8,42±0,52	100
2.	Чернозем выщелоченный уплотненный	6,71	5,18±0,35	41,75±2,48	36,96±3,17	6,55±0,52	78
3.	Чернозем выщелоченный слитой	6,59	5,89±0,26	39,09±2,22	44,40±6,39	7,25±0,66	85
Полугидроморфные почвы							
4.	Луговато-черноземная выщелоченная	6,91	5,86±0,20	41,13±2,06	47,78±2,24	8,87±0,36	92
5.	Лугово-черноземная выщелоченная	7,35	5,37±0,37	43,66±3,40	40,34±3,96	7,80±0,53	85
Гидроморфные почвы							
6.	Луговая выщелоченная	7,15	6,48±0,25	39,95±2,07	52,21±2,79	8,83±0,42	96
7.	Влажно-луговая выщелоченная	6,64	4,45±0,41	27,21±2,24	35,03±4,79	5,57±0,27	71
8.	Аллювиально-луговая карбонатная	6,69	4,96±0,31	30,33±2,69	37,74±2,89	6,22±0,42	64
9.	Лугово-лесная выщелоченная	7,09	5,47±0,44	55,31±3,38	37,48±2,93	9,79±0,84	95

В таблице 1 представлен исследуемый почвенный ряд кубанского варианта поясности, который разделен на три группы – почвы, развивающиеся в автоморфных, полугидроморфных и гидроморфных условиях.

Результаты проведенных исследований поверхностного слоя почв выявили, что изученные почвы характеризуются нейтральной рН средой. Как показали данные корреляционного анализа, для представленного ряда почв отмечены положительные ($r=0,47-0,98$) для гидроморфных почв, и отрицательные – ($r=-0,65-0,94$) сопряженные связи между реакцией почвенной среды и активностью изученных ферментов.

Представленные данные (табл. 1) позволили установить, что изученные почвы, в основном, по содержанию гумуса относятся к среднегумусным почвам. Максимальное содержание гумуса наблюдается в черноземе выщелоченном. Наименее гумусированы такие почвы, как влажно-луговая выщелоченная и аллювиально-луговая карбонатная. Остальные почвы занимают промежуточное положение. При этом достоверные отличия по исследуемому признаку обнаружены только в группе гидроморфных ($t=2,1-2,4$) почв.

Сравнительный анализ полученных данных с показателями шкалы Гапонюк, Малахова [14] выявил средний уровень активности инвертазы в поверхностном слое изученного ряда почв (табл.). Активность фермента максимальна у такого представителя гидроморфных почв как лугово-лесная почва, достоверно отличающаяся от остальных изученных ($t=2,43-6,93$) почв. Автоморфные почвы (черноземы) и полугидроморфные аналоги черноземов (луговато-черноземная выщелоченная и лугово-черноземная выщелоченная) в некоторых точках приближаются к среднему уровню и заметно превосходят аллювиально-луговую карбонатную и влажно-луговую почвы соответственно $t=2,51-3,96$ и $t=2,51-3,32$ по средним показателям активности фермента. Для изученных разновидностей почв отмечена тесная положительная корреляционная связь содержания гумуса с активностью инвертазы ($r=0,39-0,86$).

Проведенный анализ представленных величин фосфатазной активности показывает, что исследуемые подтипы почв по существующей классификации [3] относятся к категории со средним и высоким уровнем активности. Максимальная активность фосфатазы отмечена для луговой выщелоченной почвы и чернозема выщелоченного, характеризующихся наибольшей гумусированностью. Средние показатели активности фосфатазы у чернозема выщелоченного ($t=2,62-3,15$), луговой выщелоченной ($t=2,41-3,08$) и луговато-черноземной выщелоченной ($t=2,45-3,77$) почвы статистически достоверно отличаются по отношению к гидроморфным почвам: аллювиально-луговой карбонатной, лугово-лесной и влажно-луговой. Согласно данным корреляционного анализа прослеживается положительная сопряженная связь между активностью фосфатазы и содержанием гумуса ($r=0,45-0,91$), за исключением в аллювиально-луговой

карбонатной и влажно-луговой почве, имеющей отрицательную сопряженную связь ($r=-0,39$ и $r=-0,24$ соответственно).

Полученные данные по активности каталазы позволили установить, что изученные почвы, согласно оценочной шкалы [3], относятся к почвам со средней активностью данного фермента. При этом следует отметить, что наибольшая каталазная активность выявлена для гидроморфных почв (лугово-лесной выщелоченной и луговой выщелоченной). Сравнительный анализ выявил различия активности каталазы достоверно ($t=2,01-7,27$) превышающих следующих почв: автоморфных (черноземов выщелоченных уплотненных и слитых) и гидроморфных (влажно-луговой выщелоченной и аллювиально-луговой карбонатной). Корреляционный анализ позволяет, отметить положительную ($r=0,26-0,78$) зависимость между содержанием гумуса в почвенных образцах и уровнем активности каталазы.

По показателям суммарной относительной ферментативной активности, полученным в результате суммирования данных, пересчитанных в относительных величинах (процентах) [6], наибольшими величинами активности из изученного ряда почв характеризуются чернозем выщелоченный (100%), луговая выщелоченная почва (96%) и лугово-лесная (95%), обладающие и более высоким содержанием органического вещества (табл.). Минимальную активность проявляет аллювиально-луговая карбонатная (64%) почва.

Проведенный корреляционный анализ уровней ферментативной активности показал, что изученные почвы, в основном, характеризуются положительной коррелированностью активности ферментов ($r=0,17-0,92$). Сильная положительная связь отмечена между активностью гидролитических ферментов ($r=0,64-0,92$).

По совокупности пяти изученных признаков кластерный анализ разделяет изученные почвы на три класса (рис. 2). В один класс объединены почвы с более высоким содержанием гумуса (почвы под номерами 1, 2, 3, 6). В следующий класс входят почвы со средними показателями изученных свойств (10, 5, 4). Эти два класса почв сходны по изученным свойствам. Обособленно от них сгруппированы в третий класс почвенные разновидности (8, 7), характеризующиеся минимальным содержанием органического вещества и уровнем активности почвенных ферментов среди всех классов. Каждый из трех классов сформирован из различных по генезису почв, которые идентичны по содержанию гумуса, величине рН и уровню активности изученных ферментов. Генетически однородные почвы вошли в разные кластеры, очевидно, в силу мозаичности и полидисперсности почвы как среды протекания энзиматических реакций и мозаичности ферментного пула почвы [15].

Следует отметить, что представленные результаты исследований, в том числе и кластерный анализ, отражают особенности почвенных свойств поверхностного горизонта почв. Учитывая, что почва это сложный набор генетических горизонтов или слоев различного генезиса и свойств, имеющих

свои биологические особенности, не совпадающие со свойствами верхних горизонтов [1], представляется важным проведение дальнейших исследований с использованием профильно-генетического метода оценки биологической активности почв.

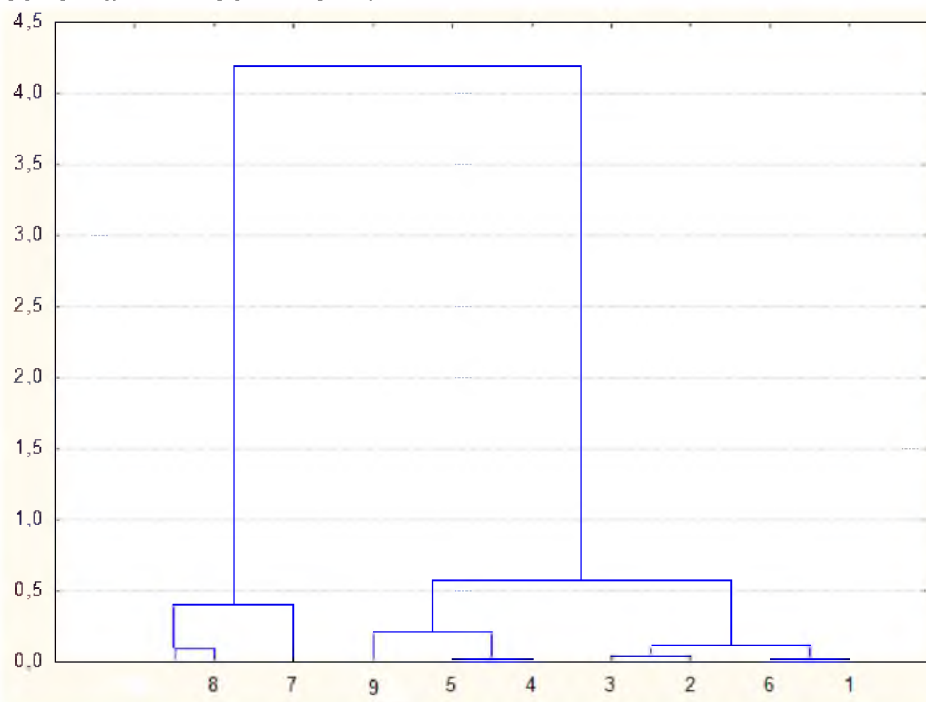


Рис. 2. Кластерный анализ (Ward' s method, 1-Pearson – r) 9 разновидностей почв. Достоверность $P \leq 0.4$.

Примечание: 1. чернозем выщелоченный, 2. чернозем выщелоченный уплотненный, 3. чернозем выщелоченный слитой, 4. луговато-черноземная выщелоченная, 5. лугово-черноземная выщелоченная, 6. луговая выщелоченная, 7. аллювиально-луговая карбонатная, 8. влажно-луговая выщелоченная, 9. лугово-лесные.

Выводы. Впервые изучены особенности ферментативной активности различных почв равнинной территории кубанского варианта поясности Адыгеи. Проведенные исследования позволяют заключить, что по совокупности изученных свойств наибольшей биологической активностью характеризуется чернозем выщелоченный, за которым следуют луговая выщелоченная и лугово-лесная почвы. С помощью кластерного анализа изученные подтипы почв разделены на три класса почв с однородными свойствами. По значимости, изученные почвенные свойства, влияющие на формирование каждого класса, располагаются в следующей последовательности в порядке убывания: содержание гумуса > уровень активности ферментов > pH. Установленные тесные коррелятивные связи уровней активности ферментов с генетически устойчивыми характеристиками почв делают возможным использование ферментативной активности в почвенно-экологических и диагностических целях.

Список литературы

1. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Методология исследования биологической активности почв. (На примере Северного Кавказа) // Научная мысль Кавказа. 1999. №1. С. 32-37.
2. Вальков В.Ф., Колесников С.И., Казеев К.Ш. Почвы юга России: классификация и диагностика. – Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 2002. 349 с.
3. Гапонюк Э.И., Малахов С.В. Комплексная система показателей экологического мониторинга почв // Труды 4-го Всесоюзного совещания. Обнинск, июнь 1983. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. С. 3-10.
4. ГОСТ 17.4.4.02-84. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – М.: Госком СССР по стандартам, 1985. С. 1-6.
5. ГОСТ 26483-85. Приготовление солевой вытяжки и определение её рН по методу ЦИНАО. – М.: Госком СССР по стандартам, 1985. С. 3-6.
6. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. – Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 2003. 204 с.
7. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биология почв Юга России. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2004. 350 с.
8. Климат Ростовской области и Краснодарского края. – Ростов-н/Д: Ростоблиздат. 1938. - 139с.
9. Молчанов Э.Н., Калмаков В.Д., Романова А.К. и др. Почвенная карта Кабардино-Балкарской АССР. – Новосибирск: Роскартография, 1984.
10. Почвенно-экологический атлас Республики Адыгея. /Южно-российский региональный кадастровый центр «Земля. – Майкоп.: ГУРИПП «Адыгея» 1999. - 35 с.
11. Соколов В.Е., Темботов А.К. Позвоночные Кавказа. Млекопитающие. Насекомоядные. – М. 1989. – 547 с.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 1990. 189 с.

НОРМИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ Р. БЕЛАЯ (СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА) ПРИРОДНЫМИ СОРБЕНТАМИ

Торян Р.А.

*Майкопский государственный технологический университет
(Майкоп, Россия)
E-mail: Rubenet@mail.ru*

В основе современного законодательства различных стран, в том числе Российской Федерации, регулирующего антропогенные нагрузки на природную среду и обеспечивающего безопасность окружающей среды для человека, лежит система контроля уровней концентраций загрязняющих веществ с использованием стандартов допустимых концентраций. Для водной среды используются следующие нормативы: предельно допустимая концентрация веществ в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и предельно допустимая концентрация веществ в воде, используемого для рыбохозяйственных целей. Необходимо отметить, что используемые в настоящее время методы оценки качества воды с помощью системы ПДК загрязняющих веществ не дают полного представления о состоянии природных вод и не являются достаточной гарантией их охраны от загрязнения. При оценке уровня загрязненности реки используются среднегодовые концентрации содержания загрязняющих веществ в водном потоке. Для получения объективных среднегодовых значений требуется отбор и анализ большого количества проб, отобранных в разные гидрологические периоды года. Донные отложения – наиболее консервативный компонент речной экосистемы, отражающий уровень содержания тяжелых металлов в водной толще реки, поэтому донные отложения могут выступать объективным источником информации о степени загрязнения водной системы в целом.

Из многочисленных опубликованных данных следует, что минералогический состав и гранулометрические характеристики донных отложений контролируют изменение в них тяжелых металлов. Поэтому, при оценке уровня загрязненности речных осадков необходимо учитывать влияние указанных факторов и вводить соответствующие поправки. Широко используемым на практике приемом нивелирования различий в условиях формирования донных отложений является нормирование. Известно, что при этом используют различные варианты нормирования: по содержанию мелких фракций (< 20 мкм) в составе донных отложений [3]; по содержанию карбонатов, $C_{орг.}$ и Al_2O_3 [5]; расчет коэффициента концентрирования относительно кремния [4], относительно алюминия и лития [6], относительно железа [2]. Предполагается, что существует линейная связь между элементами, т.е. концентрация индикаторного элемента изменяется в

зависимости от минералогического состава и гранулометрических характеристик донных отложений, и при этом пропорционально изменяется концентрация нормируемого элемента. Следовательно, нормирующий элемент должен быть важной составной частью одного (или более) носителя тяжелых металлов и отражать гранулометрическую изменчивость донных отложений.

Цель исследования – выявить путем нормирования концентраций тяжелых металлов по Mn и Fe в донных отложениях, подверженных антропогенному загрязнению на различных участках р. Белая. Её решения использовали так называемые подвижные формы тяжелых металлов, т.е. сорбированные, полученные путем мокрого разложения образца донных отложений при слабом нагреве смесью кислот $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{SO}_4 : \text{HCl} : \text{H}_2\text{O}_2 = 2 : 1 : 1 : 2$ [1]. Концентрации тяжелых металлов (Fe, Mn, Zn, Pb и Cu) определяли атомно-абсорбционным методом на спектрометре “КВАНТ – АФА” (чувствительность $10^{-6} - 10^{-9}$ мкг/л). Измерения проводились в 3-х кратной повторности. Относительная ошибка в пределах 0,01 – 5%.

Полученные нами данные свидетельствуют, что содержание металлов в мелкой фракции донных отложений, как правило, было немного выше, чем в крупной. Содержание органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в крупной фракции донных отложений всегда было выше, чем в мелкой и, согласно литературным данным, существует корреляционная зависимость между содержанием тяжелых металлов и органическим углеродом [5]. Она отмечена во всех точках отбора между содержанием железа и изучаемыми металлами в весенний и осенний период ($r = 0,32 - 0,80$, $r = 0,56 - 0,96$ соответственно) и между содержанием марганца и остальными тяжелыми металлами ($r = 0,25 - 0,92$, $r = 0,26 - 0,87$ соответственно).

В водах многие металлы активно соединяются с аморфными гидроксидами железа и марганца, так как гидроксидные формы Fe и Mn являются хорошими природными сорбентами изучаемого набора тяжелых металлов. На основании этого можно предположить, что в качестве нормирующих факторов при сравнении содержания тяжелых металлов в донных отложениях и взвешенном веществе рек можно использовать концентрации железа и марганца.

Сравнение полученных данных показывает, что нормирование по марганцу и железу нивелирует разницу между содержанием тяжелых металлов в различных фракциях донных отложений в пределах одного створа при аэробных (окислительных) условиях ($E_h > + 200$ мВ относительно хлорсеребряного электрода сравнения). При этом в точках с анаэробными (восстановительными) условиями ($E_h < + 200$ мВ) существенно повышено содержание тяжелых металлов по сравнению с другими контрольными точками створа, как концентрации некоторых тяжелых металлов, так и содержание органического углерода, а нормирование по марганцу и железу не дает желаемых результатов (табл. 1).

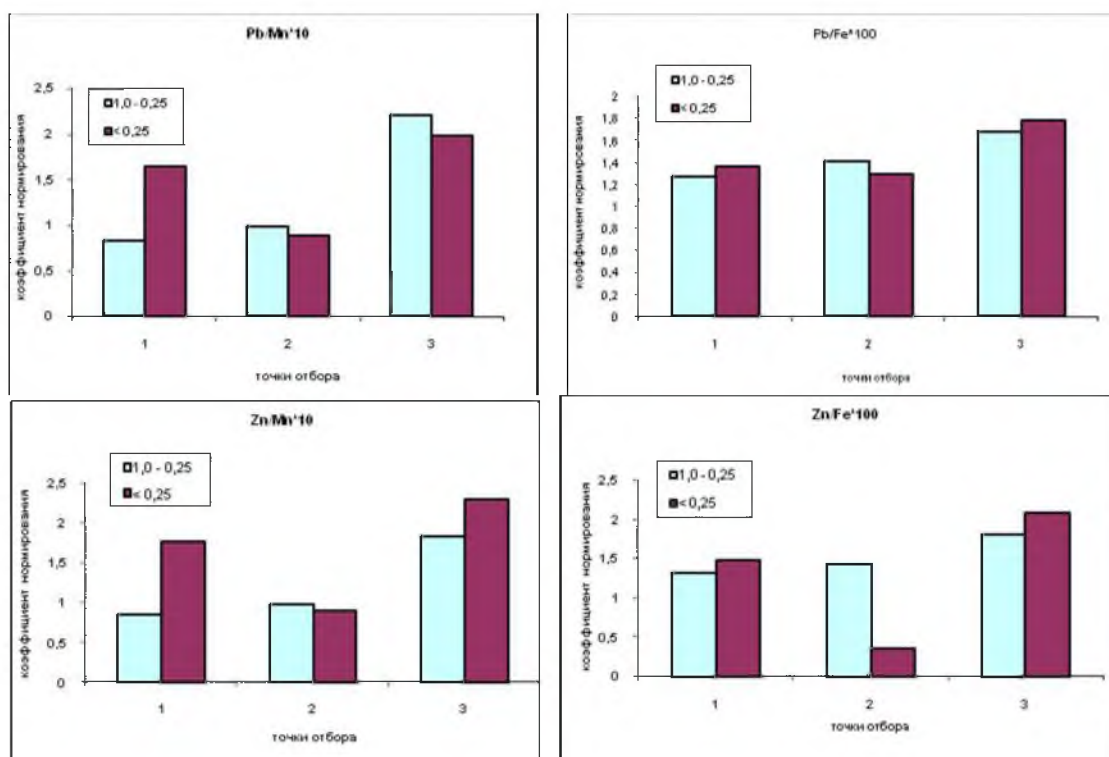


Рис. 1. Нормированные значения Pb и Zn в створах 1 – 3 р. Белая (створ 1, 2 – аэробные условия, створ 3 – анаэробные условия).

В результате использования нормированных по марганцу и железу удельных концентраций тяжелых металлов в донных отложениях была проведена сравнительная оценка уровня загрязненности тяжелыми металлами р. Белая и выявлены наиболее загрязненные участки. Сопоставление нормированных величин тяжелых металлов по марганцу в различных сезонных периода и фракциях донных отложений р. Белая отмечено, что в весенний период наиболее антропогенное воздействие испытывают участки реки выше г. Майкопа (створ 3, пос. Министочник) по Pb и Zn; по Fe - участки реки ниже г. Майкопа (створ 5, ст. Ханская) и устье реки (створ 7, аул Адамий). В осенний период антропогенное воздействие испытывает р. Белая (створ 3) по Pb, ниже г. Майкопа (створ 5) по Cu; р. Белая ниже устья р. Пшеха (створ 6) по Fe.

Нормирование величин тяжелых металлов по железу показало, что содержание металлов связано с антропогенным загрязнением донных отложений р. Белая (створ 3) по Pb и Zn в весенний период, а в осенний период (створ 3 и 4) по Pb и ниже г. Майкопа (створ 5) по Cu.

Целесообразность сравнения нормированных концентраций тяжелых металлов при оценке уровня загрязненности донных отложений рек подтверждается тем фактом, что нормирование по марганцу подобно нормированию по железу. Оно позволяет оценить экологическую нагрузку на речную экосистему, сопоставить уровень загрязненности в различные

периоды времени, а также оценить накопление тяжелых металлов в донных отложениях р. Белая.

Таким образом, нормированные по марганцу и железу удельные концентрации тяжелых металлов в донных отложениях могут быть использованы для адекватной сравнительной оценки уровня загрязненности тяжелых металлов как отдельных участков, так и бассейнов рек.

Заключение

В аэробных условиях решающее влияние на содержание тяжелых металлов оказывают концентрации марганца и железа, которые выступают в качестве "сорбционной ловушки" для других металлов, являясь хорошими природными сорбентами. Нормированные по марганцу и железу удельные концентрации тяжелых металлов в донных отложениях могут быть использованы для адекватной сравнительной оценки уровня загрязненности тяжелыми металлами как во временной, так и в пространственном аспектах. Загрязненные участки донных отложений р. Белая в весенний период выше г. Майкопа по свинцу и цинку и ниже г. Майкопа по железу, а в осенний период по свинцу в пос. Министочник, по меди – ст. Ханская и по железу – аул Бжедугхабль.

Разработанный метод по оценке загрязненности речных экосистем тяжелыми металлами предлагается внедрить в систему государственного экологического и санитарно-гигиенического мониторинга рек. Его метода государственными контролирующими службами позволит сократить их расходы на организацию створов постоянного наблюдения, объем химико-аналитических работ при оценке существующего уровня нагрузки тяжелых металлов на речные экосистемы.

Список литературы

1. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии. М: Химия, 1984. 432 с.
2. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1989. с. 286 – 287.
3. Groot A., Zshuppe K., Salomons W. Standardization of methods of analysis for heavy metals in sediments. – *Hydrobiologia*. 1982. V. 92. P. 689 – 695.
4. Hirst D.M. // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1962. V. 26. P. 1147.
5. Horowitz A.J. A primer on trace metal-sediment chemistry. – Alexandria, 1985. – 67 p.
6. Loring D.H.// *Marine Chem*. 1990. V. 29. P. 155.

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ РЕКИ БЕЛАЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Тороян Р.А.

Майкопский государственный технологический университет

(Майкоп, Россия)

E-mail: Rubenet@mail.ru

В последние годы бассейновым системам уделяется повышенное внимание как функционально-целостным территориальным системам бассейнов рек. Их целостность определяется наличием потоков воды, химических элементов, твердых веществ. Хозяйственное освоение территорий бассейнов существенно изменяет потоки вещества, что в свою очередь оказывает влияние на состояние природных и природно-антропогенных ландшафтов и хозяйственную деятельность человека. В связи с этим бассейны малых и средних водоемов можно рассматривать как локальные системы.

При оценке состояния экосистемы важно учитывать загрязненность водного объекта токсичными веществами. Наибольшую опасность среди них представляют тяжелые металлы. Известно, что в определенных концентрациях они не только влияют на качество пресных вод, но и становятся токсичными для гидробионтов и аккумулируются в их тканях. По трофическим цепям металлы могут попадать в организм человека. Эти обстоятельства и обуславливают необходимость исследования загрязненности водной среды тяжелыми металлами.

Бассейн реки Белой представляет собой сложную природно-антропогенную систему, в пределах которой взаимодействуют естественные, урбанизированные и аграрные ландшафты. По берегам реки расположено большое количество крупных и средних населенных пунктов с достаточно развитой сетью сельскохозяйственных предприятий. Поэтому одной из проблем р. Белой (Северо-Западного Кавказа) является загрязнение ее водной среды тяжелыми металлами. В литературе отсутствует количественная оценка антропогенных и природных факторов, определяющих источник поступления тяжелых металлов в речную сеть, нет данных физико-химических показателей на межфазовое распределение веществ в системе «вода – донные отложения». Все это приводит к значительным трудностям при анализе имеющейся информации, невозможности получения объективных данных об источниках поступления тяжелых металлов, о степени загрязнения различных участков реки, исходных данных для оперативного и долгосрочного прогнозирования.

Цель исследования – изучение особенностей накопления и распределения тяжелых металлов компонентами экосистемы реки Белая.

Природно-климатические условия бассейна. В соответствии с ботанико-географическим районированием Северо-Западного Кавказа р. Белая расположена в умеренно влажной зоне. Продолжительность солнечного сияния достигает 2200 – 2400 ч/год. Теплый период продолжается 9 – 10 месяцев в году. Среднегодовая температура воздуха составляет $+10,6^{\circ}\text{C}$; самый жаркий месяц – июль со среднемесячной температурой воздуха $+23^{\circ}\text{C}$, абсолютный максимум отмечен в августе $+42^{\circ}\text{C}$. Наиболее низкие температуры наблюдаются зимой: среднемесячная температура воздуха составляет $-2,4^{\circ}\text{C}$, абсолютный минимум отмечен в январе и равен -31°C . Продолжительность безморозного периода составляет 190 дней. Зима короткая, мягкая, с частыми оттепелями, снежный покров неустойчивый, максимальная высота покрова составляет 15 – 20 см. За год с водной поверхности испаряется около 900 мм воды. Для равнинной и предгорной территории характерно сочетание избытка тепла с относительным недостатком влаги, в горной части увлажнение избыточное.

Река Белая – второй по длине и самый мощный по водности левобережный приток р. Кубань, впадающий в Краснодарское водохранилище. Водосборный бассейн занимает площадь 5990 км^2 , длина водотока реки – 277 км. Река берет начало у вершин Главного Кавказского хребта на высоте 2197 м над у.м. Бассейн реки вытянут в меридианальном направлении, и имеет асимметричное строение речной системы, принимая в среднем и нижнем течении в основном левобережные притоки и лишь в верховье правобережные. У верховья реки Белая впадают правобережные притоки – река Киша (кордон Лагерный) и река Дах (станция Даховская) длиной в 52 км и 23 км, площади их водосборного бассейна составляют 499 и 389 км^2 соответственно. Основным левобережным притоком – река Пшеха ниже города Белореченска длиной 139 км, площадью водосборного бассейна 2090 км^2 .

Водный режим Белой формируется за счет ледникового и снегового питания, грунтовых вод и дождевых осадков. Скоростной режим реки очень разнообразен и подвержен изменениям в зависимости от сезона, водности и конкретного створа.

Гидрографическая сеть по территории распределяется весьма неравномерно. Наибольших величин коэффициент густоты речной сети достигает в горных районах. Здесь в верховьях реки коэффициент густоты речной сети (по крупномасштабной карте) достигает $1,5\text{ км/км}^2$, составляя в среднем по зоне $0,7 – 0,9\text{ км/км}^2$. Коэффициент густоты речной сети в предгорной зоне составляет $0,6 – 0,7\text{ км/км}^2$ и уменьшается до $0,2 – 0,3\text{ км/км}^2$.

Методические аспекты исследования. Оценка состояния бассейна р. Белая осуществлялась методом экспедиционных обследований с отбором проб воды и донных отложений. Пробы отбирались с шагом 30-35 км от кордона Лагерного до устья (апробировано семь створов). В пробах определялись содержание Zn, Cu, Mn, Pb, Fe и гидрохимические показатели –

органический углерод, рН, окислительно-восстановительный потенциал (Еh), мутность и температуры воды (Алекин и др., 1973; Руководство..., 1977).

Отбор и подготовка проб к анализу осуществлялись согласно общепринятым методикам и стандартам. Донные отложения разлагали смесью кислот $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}_2 = 2:1:1:2$ (для определения подвижных форм металлов). Количественное определение содержания тяжелых металлов в образцах (вода и донные отложения) проводили атомно-абсорбционным методом на АА – спектрометрах «Квант – Z ЭТА» и «Квант – АФА». Определение рН и окислительно-восстановительного потенциала проводилось потенциометрическим методом на приборе «Ионномер И – 130». Величину органического углерода ($\text{C}_{\text{орг.}}$) определяли методом мокрого сжигания по Тюрину (Аринушкина, 1970).

По всем результатам экспедиционных работ составлены акты отбора проб и заполнены протоколы исследований. Проведена статистическая обработка данных: определены коэффициенты корреляции, доверительные границы изменения параметров для вероятности 0,95.

Результаты исследований и их обсуждение. *Содержание тяжелых металлов в воде.* При современном уровне водоохранных мероприятий они неизбежно поступают в водные объекты. Содержание тяжелых металлов в придонной воде Белой специфично для каждого из металлов, однако пространственное распределение их концентраций неравномерно. По мере приближения к устьевой зоне концентрации тяжелых металлов в придонной воде незначительно увеличивается. Установлено, что по величине концентрации элементы располагаются в следующей последовательности: $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb}$.

Установлено, что концентрация металлов в воде реки варьирует в широком диапазоне: 0,19 – 2,70 мг/дм³ (железо), 0,007 – 0,22 мг/дм³ (марганец), 0,0009 – 0,14 мг/дм³ (медь), 0,0013 – 0,043 мг/дм³ (цинк) и 0,00008 – 0,0025 мг/дм³ (свинец).

Наиболее высоким содержанием отличается железо и марганец. Средние концентрации растворенных форм металлов в поверхностных водах превышают по железу предельно допустимый уровень для вод хозяйственно-бытового назначения, и составляют 1,1 – 5,2 ПДК; по марганцу превышение незначительное. Сравнение полученных результатов с более жестким нормативом, разработанным для водоемов рыбохозяйственного назначения, позволило установить, что диапазон варьирования значений составляет для железа от 1,2 до 27,0 ПДК (в среднем 8 – 13 ПДК), для марганца – от 0,7 до 31,0 ПДК (в среднем 1,2 – 11,0 ПДК). Цинк отмечается в воде только в весенний период, в среднем составляя 1,3 – 2,1 ПДК.

Превышение железа и марганца для рыбохозяйственного назначения обнаружено на участках реки повсеместно, но наибольшие концентрации отмечаются в среднем течении реки, а именно под городом Майкопом. Причиной такой ситуации можно считать месторождение железо-марганцевых

руд в прослое биогермов верхнего сармата (рудообразование древнего морского бассейна).

Анализ полученного материала на содержание тяжелых металлов в придонной воде р. Белая показал, что выборки исследуемых створов по отношению к кордону Лагерному (фон) отмечаются достоверные различия. По содержанию Fe по трем из семи створов достоверны (ст. Даховская ($t = 2,54$), пос. Краснооктябрьский ($t = 2,24$) и ст. Ханская ($t = 2,73$)) и по содержанию Mn – в четырех из семи (ст. Даховская ($t = 3,30$), пос. Министочник ($t = 2,20$)) – достоверные различия, ст. Ханская ($t = 4,49$) – очень достоверные и аул Бжедугхабль ($t = 1,96$) – близки к достоверности).

Характеризуя пространственную динамику металлов, можно отметить, что средние концентрации металлов заметно увеличиваются в воде после прохождения рекой населенного пункта. Выявленная пространственная динамика содержания металлов в речной системе обусловлена, вероятно, наличием на исследуемых участках источников их поступления.

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях. Концентрации токсичных веществ в донных отложениях рек обычно превышают их концентрации в водной толще. Донные отложения в среднем течении р. Белая представлены гравелисто-галечниковым аллювием с песчаным наполнением, в нижнем – покрытым глинисто-илистым осадком. Анализ результатов исследования по определению динамики подвижных форм изученных металлов в донных отложениях реки показал, что среднее содержание элементов варьирует по годам и сезонам, однако годовые различия концентраций металлов в отложениях значительно ниже, чем по сезонам года. Показатели варьирования содержания тяжелых металлов в верхнем слое донных отложений колеблются в широких пределах: цинк – от 2,6 до 33,2 мг/кг (в среднем за год 11,3 мг/кг); свинец – от 1,1 до 14,8 мг/кг (в среднем за год 4,9 мг/кг); медь – от 0,5 до 7,5 мг/кг (в среднем за год 3,7 мг/кг); марганец – от 25,1 до 140,7 мг/кг (в среднем за год 73,1 мг/кг); железо – от 276,0 до 2217,3 мг/кг (в среднем за год 1172,8 мг/кг).

Наибольшим количеством подвижного марганца, свинца и меди донные отложения характеризуются в весенний период (табл. 1). В осенний период, для которого характерен интенсивный биологический круговорот, отмечается существенное снижение концентраций железа и цинка, что вызвано перемешиванием водных масс (гомотермия), сопровождающимся окислением металлов и выпадением последних в виде гидроксидов ($\text{Fe}(\text{OH})_3$ и $\text{Zn}(\text{OH})_2$).

В донных отложениях природных вод наиболее типичными движущими силами интенсификации обмена тяжелых металлов в системе "донные отложения – поровой раствор" являются градиент изменения окислительно-восстановительных условий и значение pH, а также концентрация растворенного органического вещества (Förstner, 1995; Зубкова, 1996). Водородный показатель (pH) донных отложений р. Белая изменяется от 7,51 до 8,41 при среднем значении pH 7,98. Содержание

органического углерода в донных отложениях вниз по течению реки увеличивается, и составляет в верхнем и нижнем течениях 19,92% и 45,74% соответственно.

Таблица 1. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в донных отложениях р. Белая, мг/кг

Показатель	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu
Весна					
Среднее значение	1162,99	85,61	7,42	10,10	5,16
Стандартная ошибка	291,75	21,40	0,32	0,41	0,17
Минимум	275,98	47,05	3,00	2,94	1,80
Максимум	2217,25	140,70	14,84	18,85	7,57
Коэффициент вариации, %	25,00	25,01	42,86	41,01	33,94
Осень					
Среднее значение	1178,67	58,84	2,44	12,59	2,59
Стандартная ошибка	294,67	14,30	0,11	0,52	0,09
Минимум	389,94	24,69	1,15	2,64	0,52
Максимум	1737,16	94,56	3,98	33,23	6,24
Коэффициент вариации, %	25,00	24,25	43,03	40,98	33,62

Окислительно-восстановительные процессы, протекающие при диагенезе донных отложений, обуславливают перераспределение химических элементов, поступающих с взвешенным веществом в процессе седиментации. В верхнем слое донных отложений весной окислительно-восстановительные условия составляют + 49 - + 346 мВ. В вегетационный период окислительно-восстановительный потенциал указывает на возникновения восстановительных условий и достигает +163 – - 60 мВ.

В ходе исследования состояния донных отложений на различных участках реки проведена обработка данных по выявлению статистических зависимостей между определяемыми показателями. Были вычислены парные коэффициенты корреляции между показателями загрязнения донных отложений и физико-химическими показателями.

Установлена прямая связь между содержанием цинка и марганца ($r = 0,76$) и очень тесная связь между цинком и медью ($r = 0,90$). Заметно слабее выражена обратная зависимость между величиной рН и содержанием Mn, Pb, Zn и Cu, что подтверждает известную более высокую подвижность их в кислой среде (Орлов и др., 2002). Высокой величиной характеризуется зависимость между окислительно-восстановительным потенциалом и такими металлами как марганец и цинк – 0,88 и 0,69 соответственно. Зависимость концентрации железа и органического углерода характеризуется как средняя ($r = 0,56$).

Между концентрациями металлов и окислительно-восстановительным потенциалом отмечена положительная связь, а между кислотностью, органическим углеродом и металлами – отрицательная.

В исследуемых пробах содержание всех металлов находится на фоновом уровне, исключение составляют лишь отдельные точки отбора, где содержание Pb, Zn, Cu, Fe и Mn немного превышает уровень фона. Зарегистрированы максимальные величины концентраций цинка (в 1,2 – 1,9 раза) и свинца (в 1,4 – 1,7 раза), превышающие природные значения в донных отложениях на участке пос. Министочник, а. Бжедугхабль и устьевой части реки; медь (в 1,2 – 2,0 раза) – в нижнем течении р. Белая; железо (в 1,3 раза) и марганец (в 1,6 раза) – в а. Бжедугхабль.

Анализ динамики содержания металлов в различных слоях донных отложений указывает на то, что оно варьирует под воздействием комплекса эндогенных (микрорельеф, активность микробиологических процессов, содержание органических веществ, рН, окислительно-восстановительные условия) и экзогенных факторов, в том числе антропогенных. Верхние слои более обогащены тяжелыми металлами, что вызвано их поступлением из водной толщи с биологическими компонентами и проточным связыванием с органическими веществами.

По всем изученным разрезам четко прослеживается снижение концентраций свинца, цинка, меди и железа вниз по профилю донных отложений (табл. 2).

Таблица 2 . Содержание тяжелых металлов в иловых горизонтах р. Белая, мг/кг

Глубина отбора, см	Свинец	Цинк	Медь	Железо	Марганец
0 – 10	7,42±0,33	11,34±0,41	3,87±0,17	1235,78±293,23	72,22±17,41
10 – 20	6,87±0,31	8,08±0,33	3,61±0,14	1035,01±258,75	74,23±18,56
20 – 30	5,71±0,24	7,96±0,37	3,76±0,14	1166,43±291,61	77,68±19,42

Незначительное содержание тяжелых металлов в донных отложениях показывает, что вертикальное распределение цинка, меди, свинца и железа достаточно однородное, что свидетельствует о равномерной антропогенной нагрузке и близких к оптимальным условиям для "перемешивания" грунта.

Нами сравнивались выборки по донным отложениям. По трем створам из семи наблюдаются достоверные изменения по содержанию Fe (ст. Ханская – аул Адамий $t = 2,10-2,52$), по содержанию Pb – пяти из семи створов отмечается высокая достоверность различий (пос. Министочник – аул Адамий $t = 3,81-12,13$). Высокая достоверность выявлена по содержанию Zn в пос. Министочник и аул Бжедугхабль ($t = 5,41$ и $t = 4,36$ соответственно), по содержанию Cu от ст. Даховская до аул Адамий ($t = 2,85-16,08$). Из результатов следует, что выборки практически не однородны по изученным створам.

Лесистость бассейна р. Белая. Если густота речной сети и рельеф являются носителями эрозионной энергии территории, то лесистость выступает

как сдерживающий фактор. В южной части района при сложном рельефе и больших количествах осадках, сформировалась древняя гидрографическая сеть и высокая лесистость, а в северных – при плоском рельефе и пониженном увлажнении, речная сеть и лес почти отсутствуют. Территория бассейна обладает очень неравномерной облесенностью. На предгорной территории р. Белая до устья р. Пшеха облесенность превышает 20%, а в нижнем течении и ее притоках составляет 40-80%. В пределах от станицы Даховской до поселка Краснооктябрьский имеет облесенность от 1 до 10%. Лесные участки располагаются в среднем и нижнем течении в основном по долинам рек и по водоразделам в виде колков.

Заключение

Анализ собственных и литературных данных позволяет сделать вывод, что концентрация растворенных и взвешенных форм исследованных элементов в пробах воды из различных участков р. Белая характеризуется неоднородностью. Для Fe, Mn, Zn и Cu проявляется отчетливая тенденция к увеличению их содержания вниз по течению реки с максимальными концентрациями на участке предгорной зоны республики. Для изученных тяжелых металлов характерно преобладание взвешенной формы миграции.

Для концентраций тяжелых металлов в донных отложениях характерна значительная неравномерность их распространения на различных участках Белой. Практически на всем протяжении р. Белая (за исключением притоков и устья реки) донные отложения представлены обломочным и песчаным материалом. Существенному загрязнению донных отложений тяжелыми металлами подвержены участки пос. Министочник, аул Бжедугхабль и устье реки – Zn, Pb, в нижнем течении р. Белая - Cu.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что со сменой окислительно-восстановительной зональности в донных отложениях происходит закономерное изменение форм нахождения металлов. Наиболее подвижными будут те металлы, которые в наибольших количествах находятся в составе обменной, карбонатной фракциях и фракциях железомарганцевых оксидов и гидроксидов. При нарушении равновесных условий на границе контакта твердой и жидкой фаз, прежде всего при снижении рН, окислительно-восстановительных условий и дефиците растворенного кислорода, а также в случае повышения минерализации контактирующей воды возможно увеличение миграционной подвижности металлов и их переход в водную среду.

Характер вертикального распределения тяжелых металлов в донных отложениях связан с их загрязнением тяжелыми металлами. На створах с низким содержанием тяжелых металлов вертикальное распределение их достаточно однородное. В менее загрязненных участках реки важную роль в распределении тяжелых металлов по глубине колонки играет проточность: при слабой проточности (пос. Министочник – аул Бжедугхабль) наибольшие концентрации отмечены в поверхностных слоях 0 – 10 см по сравнению со слоем 10 – 30 см, а при сильной проточности (ст. Даховская) в

поверхностном слое наблюдается наиболее низкое содержание тяжелых металлов в слоях 0 – 10, 10 – 30 см – наиболее высокое.

К числу наиболее важных факторов, определяющих распространение тяжелых металлов в донных отложениях р. Белая, помимо гидрологических условий и условий сброса загрязняющих веществ относятся размеры частиц и редокс-цикл Fe и Mn. Полученные высокие значения коэффициентов корреляции свидетельствуют о важной роли редокс-циклов Fe и Mn могут играть важную роль в геохимическом круговороте таких элементов, как Zn, Cu.

Список литературы

1. Беус А.А. Геохимия литосферы. М.: Недра, 1972. с. 296.
2. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии. - М., 1984. 432 с.
3. Воды суши: проблемы и решения. М.: ИВП РАН, 1994. 560 с.
4. Гапеева М.В, Законнов В.В., Гапеев А.А. // Водные ресурсы. 1997. Т. 24. № 2. с. 174.
5. Денисова А.И, Нахшина Е.П., Новиков Б.И., Рябов В.К. Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды. - Киев., 1987. 164с.
6. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в природных водах. - Л., 1987. 270 с.
7. Линник П.Н., Тимченко В.М. // Гидробиологический журн. 1987. Т. 22. № 3. с. 76–79.
8. Мизандронцев И.Б. Химические процессы в донных отложениях водоемов. – Новосибирск, 1990. 176 с.
9. Мур Дж.В, Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. - М., 1987. 140 с.
10. Потемкин В.Н. Гранулометрический анализ морских донных отложений. - М., 1967. 128 с.
11. Нормы и критерии оценки загрязнения донных отложений в водных объектах. Региональный норматив. - СПб., 1996. 20 с.
12. Савицкий В.Н., Пелешко В.И., Осадчий В.И. // Журн. аналитическая химии. 1987. Т. 42. № 4. с. 677 – 683.
13. Хатчинсон Д. Лимнология. - М., 1969. 592 с
14. Balls P.W. The partition of trace metals between dissolved and particulate phases in European coastal waters: a compilation of field data and comparison with laboratory studies. Netherlands. Journal of Sea Research. 1989. V. 23. No. 1. P. 7 – 14.
15. Horowitz A.J. A primer on trace metal-sediment chemistry. Alexandria, 1985. 67 p.
16. Plant J.A., Raiswell R.. Principles of environmental geochemistry. In: Applied environmental geochemistry. Academic Press. London, 1987. P. 1 – 39.
17. Salomons W. Biogeodynamics of pollutants in soils and sediments / Eds. Stigliani. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 353 p.

ПОЛУЧЕНИЕ УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ВАНН-ДЕР-ВААЛЬСОВСКИХ СИСТЕМ ВБЛИЗИ ТОЧКИ КОНДЕНСАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Хоконов А.Х., Хамукова Л.А., Доттуева М.В.

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
(Нальчик, Россия)*

E-mail: azkh@mail.ru, khamuk@mail.ru

Методом молекулярной динамики реализованном на ЭВМ с параллельной архитектурой изучено поведение инертных газов вблизи точки конденсации. Проанализирован метод построения уравнения состояния ван-дер-ваальсовского газа основанный на вычислении вириала силы.

В настоящее время одним из основных методов получения уравнения состояния является метод молекулярной динамики (МД) [1,2]. Несмотря на достигнутые успехи метод МД далеко не всегда дает результаты, отражающие экспериментальную ситуацию. Например, формирование границ раздела между фазами вблизи точки конденсации, которое происходит за времена на порядок превышающее характерное время межатомных столкновений. Экспериментальная проверка вблизи точки конденсации корректности использования метода МД, как и других вычислительных и теоретических методов получения термодинамического уравнения состояния связана с рядом известных сложностей, а именно отсутствие метода измерения давления под изогнутой поверхностью образующихся капелек при этом оценка этого давления по формуле Лапласа справедлива лишь для достаточно больших кластеров. Теоретическое рассмотрение статистической суммы для ванн-дер-ваальсовских сил до настоящего времени ограничивалась первыми порядками вириального разложения, что применимо лишь для достаточно разреженного газа. Из последних теоретических достижений отметим предпринятую Масловым В.П. попытку точного вычисления большого термодинамического потенциала $\Omega = -PV$ для ванн-дер-ваальсовских систем [3]. Нами проводятся изучения уравнения состояния термодинамических систем в рамках метода МД. Так в работе [4] было получено уравнение состояния для двумерной системы, представляющую собой монослой атомов Кг адсорбированных на базальной плоскости графита. В работе [5] рассмотрены особенности получения уравнения состояния ванн-дер-ваальсовских систем вблизи точки конденсации методом МД при этом основным источником систематических ошибок служила случайная сила, обусловленная с дискретизацией разностной схемы. Для адекватного перехода к термодинамическому пределу

необходимо увеличивать размер системы при неизменном удельном объеме на одну частицу. Время счета в случае однопроцессорных вычислений возрастает пропорционально квадрату числа частиц. В настоящей работе нами использовано многопроцессорная программа МД моделирования LAMMPS (Large-scale Atomic Molecular Massively Parallel Simulator). Пакет использует многопроцессорный интерфейс MPI (Message Passing Interface). Эффективность распараллеливания пакета Lammps исследована в работе [6].

Заклучим систему из N атомов в объем V , задав случайным образом координаты и скорости для каждого атома, будем численно решать классическую систему уравнений движения.

$$\begin{aligned} \frac{dx_{\alpha}^a}{dt} &= v_{\alpha}^a & a &= 1, 2, \dots, N \\ m \frac{dv_{\alpha}^a}{dt} &= -\frac{1}{m_{\alpha}} \frac{\partial}{\partial x_{\alpha}^a} U(x) & \alpha &= 1, \dots, d \end{aligned} \quad (1)$$

В рассматриваемом нами приближении потенциал взаимодействия сводится к сумме парных центральных потенциалов

$$U(\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_N) = \sum_{1 \leq i < j \leq N} \Phi(|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|) \quad (2)$$

Для инертных газов в качестве парного потенциала по - видимому наиболее адекватным является использование потенциал Ми-Леннарда-Джонса [7, 8].

$$\Phi(r) = \frac{\varepsilon}{(b-a)} \left(a \left(\frac{r_0}{r} \right)^b - b \left(\frac{r_0}{r} \right)^a \right) \quad (3)$$

где ε и r_0 - глубина и координата минимума потенциальной ямы, a и b - параметры, характеризующие жесткость и дальноедействие потенциала.

Потенциал Леннарда-Джонса (6 - 12) является частным случаем потенциала (3) при $b = 12$ и $a = 6$, в этом случае $r_0 = 2^{\frac{1}{6}} \sigma$, где значения σ и ε приводятся в таблице 1.

Таблица 1. Значения параметров потенциала Леннарда-Джонса (6 - 12) для инертных газов

Атом – атом	$\sigma, \text{\AA}$	$\varepsilon/k, \text{K}$
Kr – Kr	3.63	165.3
Xe – Xe	3.885	282

В качестве численного метода для решения системы уравнения (1) нами используется алгоритм Верле [2]. Давление в системе вычисляется на основании использования среднего по времени от вириала силы [2, 9].

$$PV = Nk_B T - \frac{1}{D} \langle W(\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_N) \rangle \quad (4)$$

где вириал силы по определению равен

$$W(\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_N) = \sum_{i=1}^N \mathbf{r}_i \nabla U(\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_N) \quad (5)$$

Это выражение так же применимо для случая произвольного непарного и независящего от скоростей потенциала взаимодействия между атомами. Для того чтобы установить точность вычисления давления по формуле (4) проанализируем вывод соотношения связывающего давление с вириалом силы и оценим величину отбрасываемых слагаемых. Используя уравнения движения вириал силы можно представить в виде

$$\begin{aligned} \langle W \rangle &= \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{1}{2\tau} \int_0^\tau dt \sum_i \mathbf{r}_i(t) \cdot \mathbf{F}_i(t) = \\ &= \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{1}{2\tau} \int_0^\tau dt \sum_i \mathbf{r}_i(t) \cdot \frac{m}{2} \frac{d^2 \mathbf{r}_i(t)}{dt^2} \end{aligned} \quad (6)$$

Интегрируя это выражение по частям, получим

$$\langle W \rangle = - \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{1}{2\tau} \int_0^\tau dt \sum_i \frac{m}{2} \left| \frac{d\mathbf{r}_i(t)}{dt} \right|^2 = - \frac{3}{2} Nk_B T \quad (7)$$

В случае конечного предела интегрирования отброшенное слагаемое имеет вид

$$\langle W_1 \rangle = \frac{1}{2\tau} \sum_i \frac{m}{2} \mathbf{r}_i(t) \frac{d\mathbf{r}_i(t)}{dt} \Big|_0^\tau \quad (8)$$

Условие что много меньше $\langle W \rangle$ приводит

$$\tau \gg \frac{L}{\sqrt{\frac{kT}{m}}} \quad (9)$$

где L характерный размер системы. Условия (8) означает, что время моделирования должно заметно превышать время пролета частицы через объем системы со скоростью порядка тепловой.

Усредненная по времени сила, действующая со стороны стенок на молекулы газа выражается через давление P соотношением

$$d\mathbf{F} = -P d\mathbf{S} \quad (10)$$

где $d\mathbf{S}$ элемент ориентированной площади, ограничивающий объем. Тогда, часть вириала силы связанного с воздействием стенок на газ равна

$$\sum_i \mathbf{r}_i \mathbf{F}_i = -P \int \mathbf{r} d\mathbf{S} = P \int \text{div}(\mathbf{r}) dV = 3PV \quad (11)$$

где поверхностный интеграл преобразован в объемный по теореме Гаусса.

$$PV = Nk_B T + \frac{1}{3} \left\langle \sum_i \mathbf{r}_i \mathbf{F}_i \right\rangle \quad (12)$$

Результаты вычисления уравнения состояния методом молекулярной динамики для криптона и ксенона приводятся на рисунках 1 и 2 соответственно. В обоих случаях температуры брались вблизи точки кипения, для того, чтобы можно было реализовать три метода получения уравнения состояния, а именно – по переносу импульса, по усредненному по времени вириалу силы и на основании использования парной корреляционной функции, что соответствует усреднению по ансамблю.

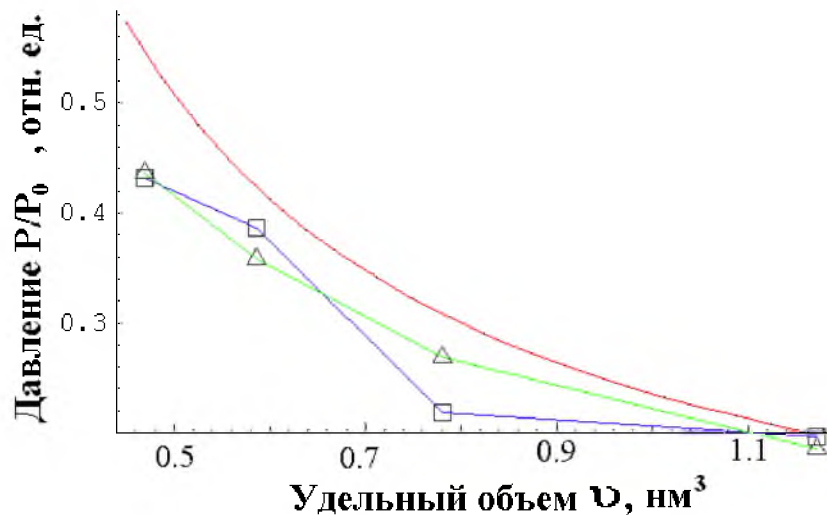


Рис.1. Уравнение состояния криптона при температуре 210 К.

Расчет давления через перенос импульса (квадраты) и вириал силы (треугольники). Красная линия – ван-дер-ваальсовская аппроксимация экспериментальных результатов.

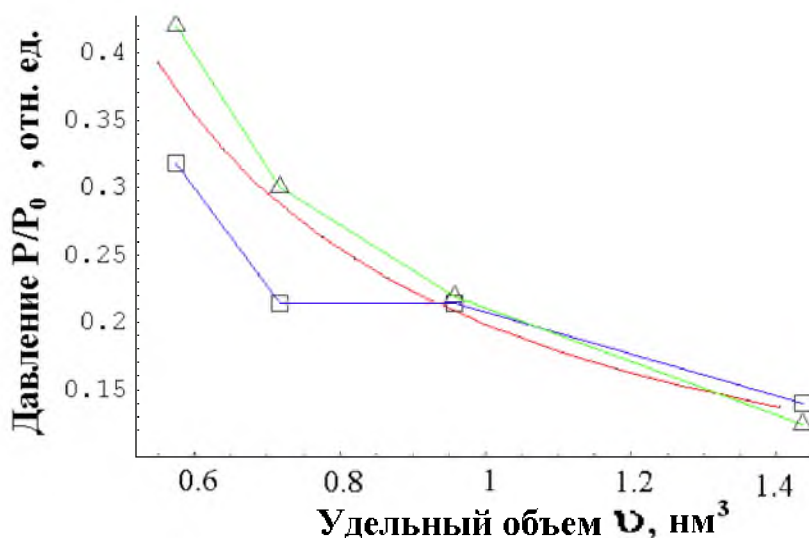


Рис.2. Уравнение состояния ксенона при температуре 170 К.

Расчет давления через перенос импульса (квадраты) и использования парной корреляционной функции (треугольники). Красная линия – ванн-дер-ваальсовская аппроксимация экспериментальных результатов.

С помощью пакета Lammps на вычислительном кластере КБГУ нами проведено моделирование уравнения состояния произвольного инертного газа взаимодействие между атомами, которого описывается потенциалом Леннарда-Джонса. На рисунке 3 показана зависимость давления от объема, приходящегося на один атом для двух значений температуры. На рисунке 4 дается зависимость внутренней энергии газа от температуры. Постоянный наклон соответствует неизменной теплоемкости при постоянном объеме $C_V = 3/2 k_B$.

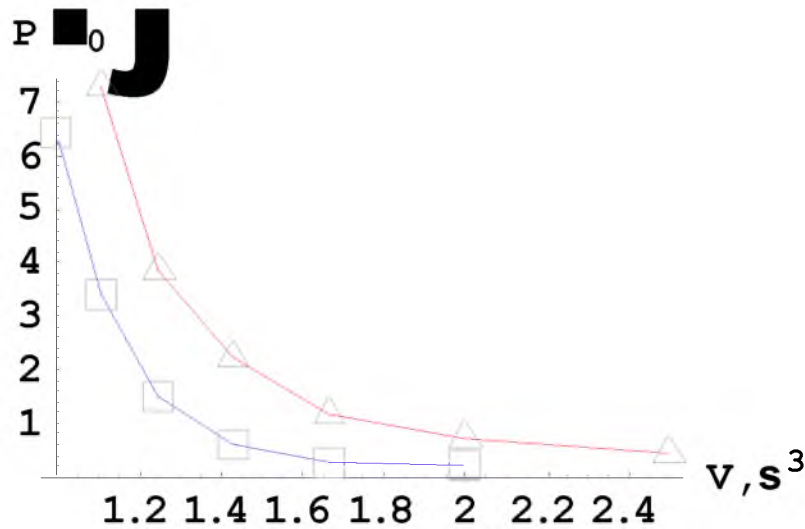


Рис.3. Зависимость давления от объема системы для ван-дер-ваальсовского газа при температурах $T=1$ (квадраты), $T=1.5$ (треугольники). Давление и объем даются в Л-Д единицах, число частиц в системе $N=432000$.

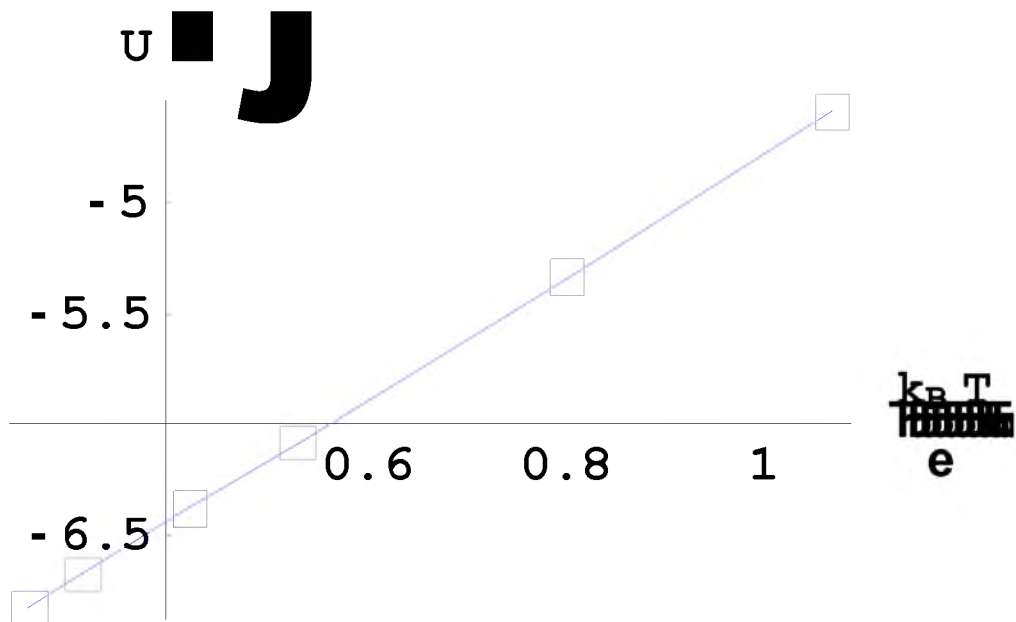


Рис. 4. Зависимость внутренней энергии от температуры для плотности газа соответствующей одной частице на объем равный σ^3 .

Количество частиц составляло $N = 432 \cdot 10^3$, шаг по времени брался равным 0.005 в (LG) единицах в которых энергия измеряется в глубинах потенциальной ямы ε , а за единицу длины берется σ . Расчет проводился до установления термодинамического равновесия характеризующейся стабильной температурой и давлением. Оказалось, что для этого достаточно выполнить около 500 шагов по времени, что занимает примерно 30 с процессорного времени. Ввиду того, что конечная температуру задать не возможно расчеты проводились с разными наборами скоростей молекул до тех пор, пока система не выходила на требуемую температуру. Для компьютерного моделирования методом МД с использованием парных потенциалов наблюдается хорошее согласие с экспериментальными данными для ксенона, в то время как для криптона давления принимает значение до 10% ниже экспериментальных. По - видимому, это связано с тем, что приближение парного потенциала не является адекватным для криптона вблизи точки конденсации.

Список литературы

1. Хокни Р. Численное моделирование методом частиц. – М., 1987. 638 с.
2. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике. – М., 1990. Часть 1. 347 с.
3. Маслов В.П. Термодинамические уравнения состояний для благородных газов // Наноструктуры. Математическая физика и моделирование. 2010, том 3, №1. С. 93-104.
4. Хоконов А.Х., Долов М.Х., Кочесоков Г.Н., Хамукова Л.А. // Теплофизика высоких температур. 2009. Т.47. №5. С. 796-799.
5. Хоконов А.Х., Хамукова Л.А., Камарзаев А.В. Получение уравнения состояния наносистем вблизи точки конденсации в рамках метода молекулярной динамики. / Прикладные аспекты геологии, геофизики и экологии с использованием современных информационных технологий. - Майкоп, 2011. С.224-232.
6. Норман Г.Э., Янилкин А.В., Жилияев П.А., Куксин А.Ю., Писарев В.В., Стегайлов В.В. Применение суперкомпьютеров для молекулярно-динамического моделирования процессов в конденсированных средах // Вычислительные методы и программирование, 2010. Т.11. С. 111-116.
7. Магомедов М.Н. Изучение межатомного взаимодействия, образования вакансий и самодиффузии в кристаллах. – М., 2010. С. 61-65.
8. Магомедов М.Н. О природе геотермального тепла. Международная научно-практическая конференция / Прикладные аспекты геологии, геофизики и экологии с использованием современных информационных технологий. - Майкоп, 2011. С.146-154.
9. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем. – М., 1991. 800 с.

АЛГЕБРАИЧЕСКИЙ МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННОЙ ТОМОГРАФИИ

Хоконов А.Х., Ахматов З.А.

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Бербекова Х.М.

(Нальчик, Россия)

E-mail: azkh@mail.ru, akhmatov_z@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена возможность применения алгебраического алгоритма реконструкции томографического изображения применительно к задачам позитронно-эмиссионной томографии. Реализован итерационный метод Качмажа для решения системы проекционных уравнений.

Введение. Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) – является одним из наиболее перспективных методов медицинской диагностики [1]. Позитронные источники β^+ - нуклиды и др. включаются в состав органических соединений которые вводятся в организм пациента и оказываются в исследуемых областях, например, в кровеносной системе. В проблемных местах, где затруднен кровоток, будет повышаться концентрация активного нуклида. Восстановив пространственное распределение β^+ источников в организме можно локализовать области повреждения. Как правило, для восстановления томографического изображения используются интегральные методы реконструкции [1,2], однако, в этом случае необходим полный набор проекционных данных, что не всегда экспериментально достижимо. В работе [3] предложены алгебраические алгоритмы восстановления томографического изображения использующий ограниченный угловой набор проекционных данных. Этот метод требует прецизионного коллимирования и точности в измерениях углов сканирования. В настоящей работе нами рассмотрена проекционная схемы, позволяющая восстанавливать томографическое изображение по относительно небольшому числу угловых ракурсов.

Математическая формулировка. Задача ПЭТ сводится к восстановлению функции распределения источников позитронов $f(\vec{r})$ внутри объекта по проекционным данным представляющими собой результат регистрации интенсивностей аннигиляционных гамма-квантов противоположно расположенными детекторами, включенными в схему совпадений (см. рис. 1).

Объект разбит на элементы изображения - элизы. Аннигиляционные гамма-кванты регистрируются детекторами Д1 и Д2. Коллимация излученных объектом гамма-квантов необходима для выделения полосы сбора сигнала (см. рис. 1.) Позитрон и электрон аннигилируют в точке

Г образуют гамма-кванта, летящих противоположно и одновременно достигающих детекторов D1 и D2. Диаметр входных отверстий коллиматоров определяет поперечный размер области с которой происходит сбор сигнала. Нами рассмотрена задача в случае выполнения 2-х условий:

1. Можно пренебречь поглощением аннигиляционных фотонов в среде;
2. Считается, что телесные углы $\delta\Omega$ под которым видны детекторы со стороны источников одинаковы.

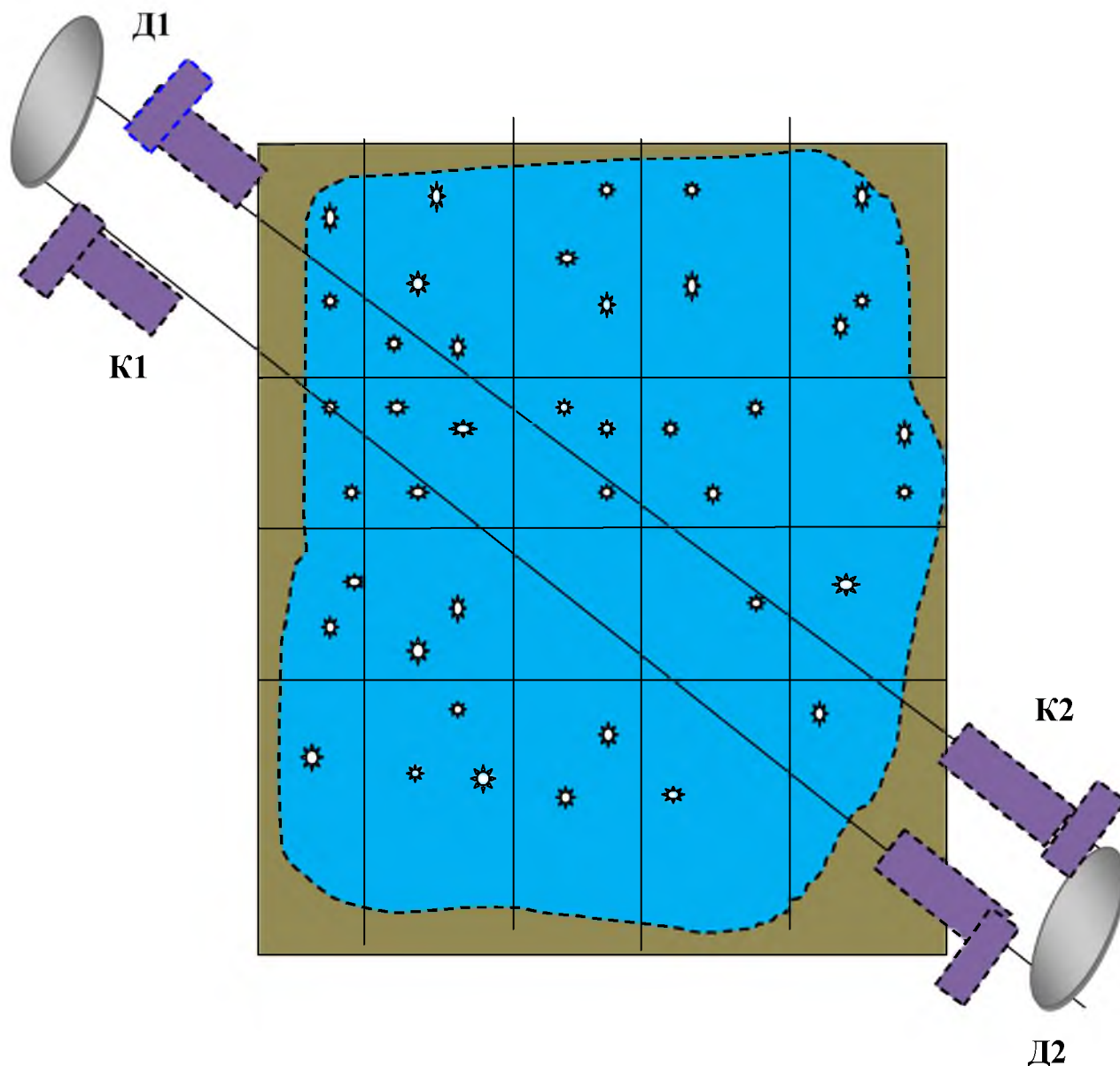


Рис.1. Схема, поясняющая принципы позитронно-эмиссионной томографии.

Звездочки – места аннигиляции позитронов, Д1, Д2-детекторы, К1, К2-коллиматоры.

Первое предположение следует из того что длина поглощения фотона с энергией $E = 511\text{кэВ}$, как правило в несколько раз превышает поперечный размер исследуемой области a . Второе условие означает, что расстояние до

детектора R заметно превышает поперечник объекта $R \gg a$. Количество γ -квантов регистрируемых детектором из элемента объема $d\vec{r}$ равно

$$dN_\gamma = I_0 \left(\frac{\Omega}{4\pi} f(\vec{r}) d\vec{r} \right) \quad (1)$$

где I_0 - интенсивность нуклида, Ω - телесный угол в который попадает детектируемое излучение.

Полное количество фотонов дающий вклад в одну проекцию определяется интегралом

$$\frac{\Omega}{4\pi} \int f(\vec{r}) (\vec{n}\vec{r} - s) d\vec{r} \quad (2)$$

где $\vec{n} = \{\cos\theta, \sin\theta\}$ - единичный вектор нормали к направлению сканирования, s - расстояние от начала координат до полосы-луча сканирования (см. рис. 2).

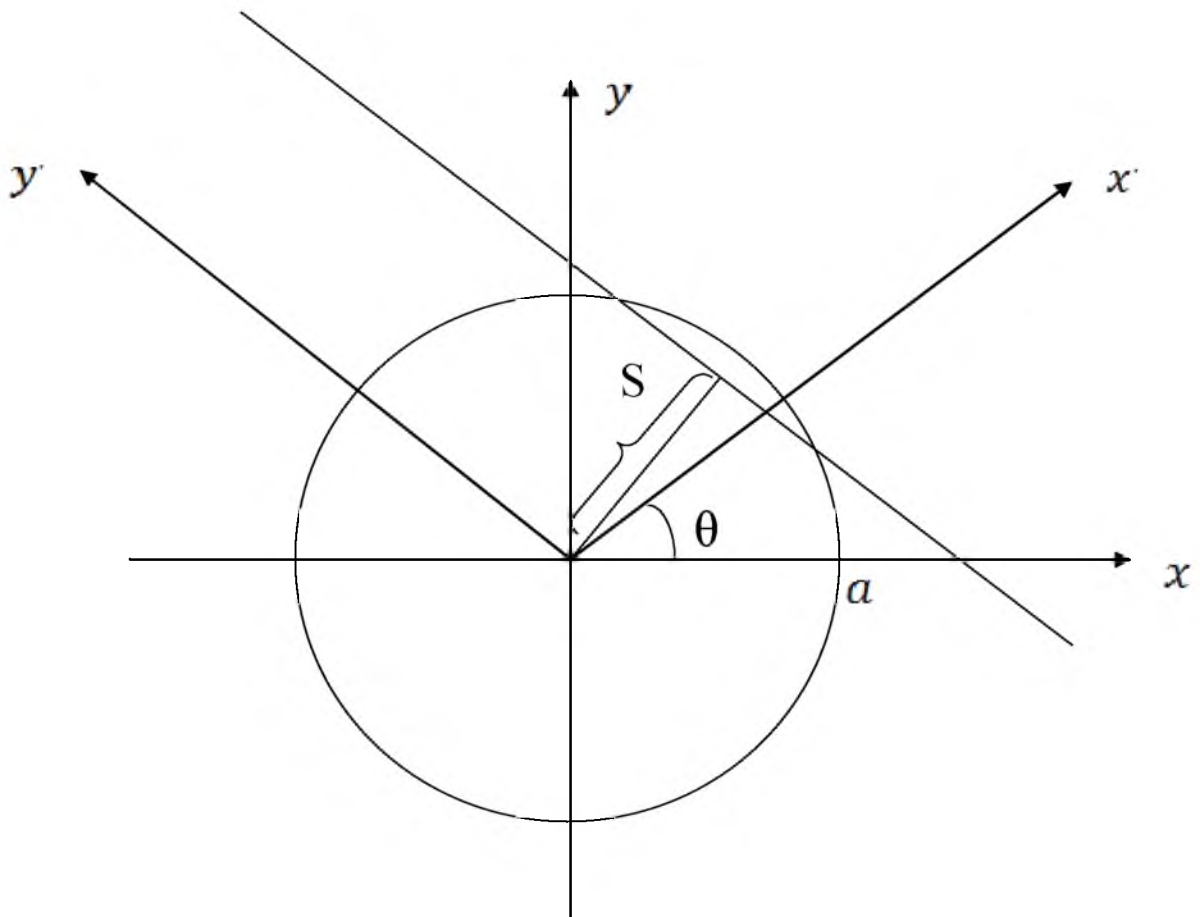


Рис. 2. Параметризация луча вдоль которого происходит сбор проекционных данных. S - расстояние от начала координат до луча сканирования, θ - угол для вектора нормали к лучу, -система координат для интегрирования.

Таким образом, задача восстановления томографического изображения для полученного набора проекционных данных сводится к обращению преобразования Радона определяемого известной формулой [1]

$$(\vec{n}\vec{r} - s)d\vec{r} \quad (3)$$

В 2-х мерном случае 2-х кратный интеграл (3) сводится к однократному интегралу вдоль луча сканирования с помощью поворота системы координат и последующего интегрирования δ – функции. При повороте системы координат на угол Θ для новых координат x' и y' имеем

$$\begin{aligned} x &= x' \cos \theta - y' \sin \theta \\ y &= x' \sin \theta + y' \cos \theta \end{aligned} \quad (4)$$

Якобиан ортогонального преобразования (4) равен единице, что соответствует инвариантности объема

$$dxdy = dx'dy'$$

В результате интеграл (3) сводится к выражению

$$P(s, \theta) = \int_a^a f(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) \delta(x' - s) dx' dy' \quad (5)$$

Интегрируя (5) по x' и обозначая $t = y'$ получим

$$P(s, \theta) = \int_a^a f(s \cos \theta - t \sin \theta, s \sin \theta + t \cos \theta) dt \quad (6)$$

Обращение уравнения (6) возможно, например, относительно неизвестной функции f например, метода свертки и обратного проецирования [4]

Алгебраические методы реконструкции основаны на сведении интегрального уравнения (6), к системе линейных уравнений большого порядка [1]. Для этого проведем дискретизацию исследуемой области на элизы, приписывая каждому k -му элизу соответствующие плотности f_k . Введем матрицу A не нулевые элементы которой равны длине проходимой первым лучом через k -ый элиз. В результате получается система уравнений

$$A_{lk} f_k = p_l \quad (7)$$

где по дважды повторяющемуся индексу k идет суммирование.

Для решение этой системы уравнений нами использован итерационный метод Качмажа [1].

Поясним геометрический смысл метода Качмажа на примере решений системы уравнений

$$\begin{cases} a_{11} \cdot x_1 + \dots + a_{1n} \cdot x_n = b_1 \\ a_{21} \cdot x_1 + \dots + a_{2n} \cdot x_n = b_2 \\ \dots \\ a_{n1} \cdot x_1 + \dots + a_{kn} \cdot x_n = b_n \end{cases} \quad (8)$$

Вводя обозначения,

$$\begin{aligned} \vec{a}_k &= (a_{k1}, a_{k2}, \dots, a_{kn}) \\ \vec{r} &= (x_1, x_2, \dots, x_n) \end{aligned} \quad (9)$$

систему уравнений (8) перепишем в векторной форме

$$(\vec{a}_k \cdot \vec{r}) = b_k \quad (10)$$

Геометрически, уравнение системы (10) представляет собой гиперплоскость с нормалью параллельной вектору \vec{a} . Пересечение этих плоскостей является решением системы. Итерационный метод Качмажа состоит из следующих этапов. В качестве начального приближения выбирается произвольный радиус вектор \vec{r} . Следующее \vec{r}' приближение для решения системы получается проецированием начального вектора \vec{r} на одну из гиперплоскостей системы (10)

$$\vec{r}' = \vec{r} + \frac{\vec{a} (b - (\vec{a} \cdot \vec{r}))}{(\vec{a} \cdot \vec{a})} \quad (11)$$

Данная процедура проецирования многократно повторяется для всех гиперплоскостей системы (8) до тех пор пока не будет достигнута точка пересечения плоскостей с заданной точностью.

На рисунке (3) показана геометрическая интерпретация итерационной процедуры в случае системы n-уравнений.

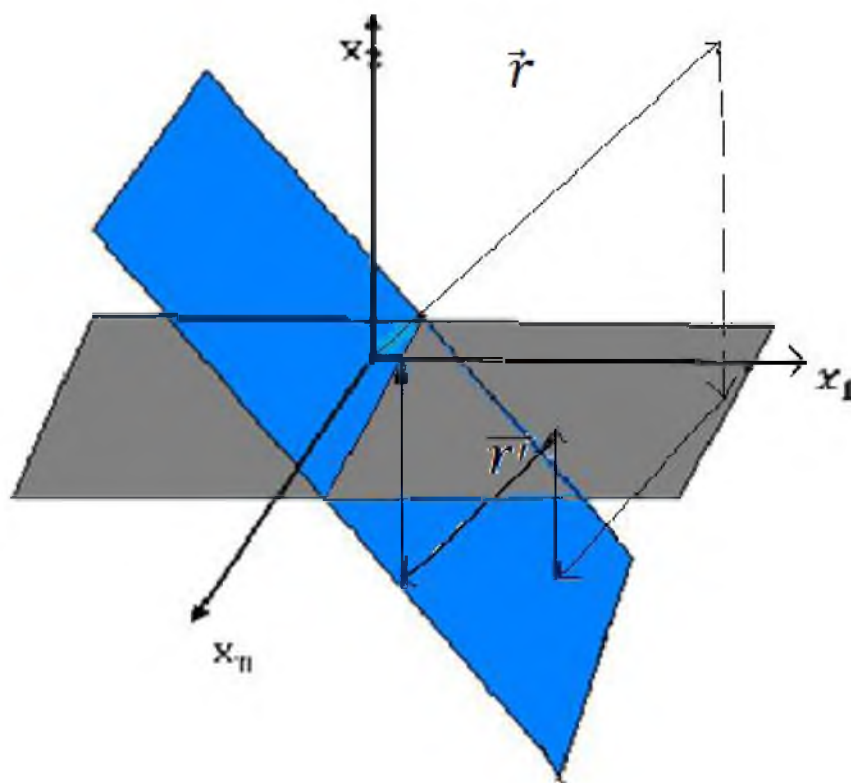


Рис.3. Геометрическое построение последовательных приближений при решении системы n-уравнений методом Качмажа

Из рисунка следует, что процедура Качмажа сходится тем медленнее, чем меньше угол между гиперплоскостями прямыми соответствующими уравнениям системы (10).

В случае параллельных гиперплоскостей система вырождена и решение отсутствует. Детерминант системы при этом обращается в нуль.

Реализация алгебраического алгоритма реконструкции изображения на примере модельного фантома.

Для проведения численного эксперимента нами использован фантом приведенный на рис. 4, где цифрами показаны плотности позитронных источников в объекте.

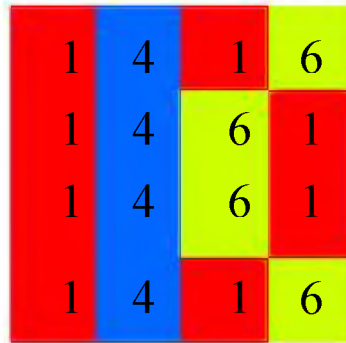


Рис.4. Тестовый объект для вычислительного эксперимента

Проекционная схема, используемая нами для реконструкции объекта представлена на рис. 5.

При нумерации элизов показанной на рис. 5, восстанавливаемому объекту на рис. 4, соответствует вектор

$$\vec{f} = (1, 4, 1, 6, 1, 4, 6, 1, 1, 4, 6, 1, 1, 4, 1, 6) \quad (12)$$

Схеме сканирования показанной на рис. 5 отвечает проекционная матрица

$$(13)$$

Проекционные данные представляют собой вектор \vec{p} получаемый в результате переумножения проекционной матрицы A на вектор изображения \vec{f}

$$A \cdot f = p \quad (14)$$

Таким образом, прямая задача (эксперимент) дает проекционный вектор равный

$$\vec{p} = (4, 12, 14, 14, 11, 11, 11, 11, 2, 14, 1, 0, 2, 12) \quad (15)$$

При решении задачи восстановления томографического изображения, известными являются проекционная матрица A и проекционные данные – вектор \vec{p} , а неизвестным является вектор изображения \vec{f} .

Рис.5. Схема сканированияиспользуемая длятомографической реконструкции объекта. Номера лучей указаны в скобках.

Результаты численного эксперимента

В качестве начального приближения к искомому вектору изображения нами был выбран вектор

$$\vec{F} = (05\ 33\ 06\ 5\ 05\ 32\ 47\ 05\ 05\ 35\ 5\ 06\ 05\ 31\ 04\ 40)$$

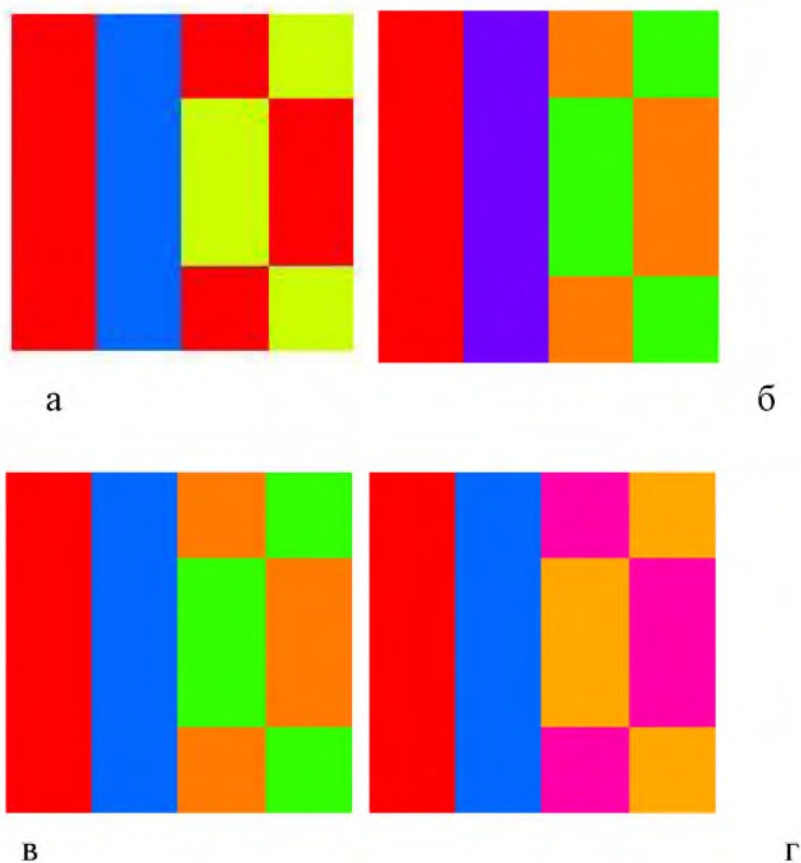


Рис. 6. Результаты итерационной процедуры восстановления томографического изображения при использовании схемы сканирования соответствующей проекционной матрице (б). Исходный вектор изображения показан на рис. (а), начальному вектору изображения соответствует рисунок (б), промежуточные результаты после третьей и пятой итераций показаны на рисунках (в) и (г) соответственно.

Список литературы

1. Натгерер Ф. Математические аспекты компьютерной томографии. – М., 1990. -280 с.
2. Троицкий И.Н. Статистическая теория томографии. – М., 1989. – 240 с.
3. Хоконов А.Х., Шибзухов З.М. О возможности восстановления томографического изображения по ограниченному угловому интервалу проекционных данных. ЖТК, т. 20, 1994. С. 56 – 60.
4. Хоконов А.Х., Степанченко К.А. Вычислительная компьютерная томография интегральные методы реконструкции. - Нальчик, 2003. 42 с.

ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВАРИАЦИЙ ОБЪЕМНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Черепанцев А.С.

ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет» (Таганрог, Россия)

E-mail: s6319a@mail.ru

Контроль и исследование напряженного состояния Земной коры в зонах активных тектонических процессов в значительной степени опирается на наблюдения его проявлений в виде сейсмической активности, закономерностей ее организации в пространственной, временной и энергетической областях, закономерностях ее изменчивости. Данный подход позволил выделить универсальность степенного характера распределений в пространственной и энергетической областях, чувствительность параметров распределения к напряженному состоянию.

Поток сейсмических событий является дискретным отражением непрерывного во времени процесса эволюции напряженного состояния геологической среды. Подход по контролю непрерывных параметров, чувствительных к состоянию, также получил развитие. Сложность подобных наблюдений связана с задачей организацией сети наблюдений при неоднородном характере пространственной организации дискретной среды, контроля большого числа внешних воздействующих источников, надежного метрологического обеспечения.

Непрерывный характер наблюдений параметров состояния среды по данным наблюдений уровня воды в скважине, электрического сопротивления, деформаций, наклонов, концентрации радона и т.д. позволяют расширить и спектр подходов к исследованию поведения деформационных процессов и выделению новых закономерностей. Одним из таких подходов является анализ параметров динамической системы, построенной по наблюдаемому физическому параметру.

Обоснованность выбора подобного подхода определяется сопоставлением закономерностей, присущих нелинейным динамическим системам и имеющимся экспериментальным данным геофизических наблюдений. Это прежде всего степенной характер распределений магнитуд землетрясений и межамплитудных расстояний точек траектории динамической системы типа странного аттрактора в фазовом пространстве, фрактальное пространственное распределение эпицентров землетрясений и точек траектории в фазовом пространстве, ограниченность временного прогноза землетрясений и предсказания поведения хаотической системы, присутствие в обоих случаях нелинейности взаимодействия и диссипативный характер рассматриваемых процессов.

В методической основе исследования динамической системы, формирующей наблюдаемый процесс, лежит возможность построения по

данным временного ряда отдельной проекции неизвестной системы модельной динамической системы, имеющей те же основные (инвариантные) параметры, что и исследуемая неизвестная система. В практике исследования экспериментальных данных различной природы наибольшее внимание уделяется параметру размерности системы n - числу динамических уравнений первого порядка, описывающих ее поведение, корреляционной размерности d_2 , являющейся нижней оценкой информационной и фрактальной размерности точек траекторий в полном фазовом пространстве. Достоинством рассмотрения указанных параметров по сравнению с эмпирически полученными закономерностями является их ясный физический смысл, основывающийся на физико-математических представлениях теории динамических систем.

Физическое предположение о чувствительности параметров динамической системы к напряженному состоянию геофизической среды во многом лежит в основе интереса к исследованию наблюдаемых геофизических полей с позиций нелинейной динамики. Увеличение длины выборки в этом случае не приводит к повышению точности оценки параметров динамической системы, а лишь усложняет анализируемую систему, добавляя к ней соотношения, определяющие изменение во времени коэффициентов связи между элементами системы, увеличивая тем самым ее параметры n и d_2 .

С целью анализа временной изменчивости рассмотрен временной ход основных параметров динамической системы n, d_2 по данным наблюдений объемной деформации в различных точках полигона Паркфилд (США).

На рис. 1 А, Б представлен полученный временной ход размерностей n, d_2 в скользящем временном окне $T_w = 90$ суток со сдвигом $T_{shift} = 45$ суток. Среднее значение погрешности оценок n составляет $\sigma_n = 1$, $\sigma_{d_2} = 0.1$. Зависимость $n(t)$ демонстрирует отсутствие значимого изменения размерности динамической системы в пределах погрешности: $n = 8 \pm 1$ в течении анализируемого времени 1990- 2007 гг. В отличие от n , параметр d_2 испытывает значимые изменения в диапазоне $d_2 = 2.3 \div 5.8$.

Возможной причиной такого поведения может быть сезонный фактор воздействия и связанный с ним температурный и гидрологический режим в верхних слоях литосферы.

На рис. 2 даны изменчивость среднего значения компоненты параметра d_2 для точек наблюдения в течении года. Сезонная составляющая присутствует в вариации параметра d_2 во всех точках наблюдения. Минимальные значения d_2 соответствуют летним месяцам с минимальным количеством выпадения осадков.

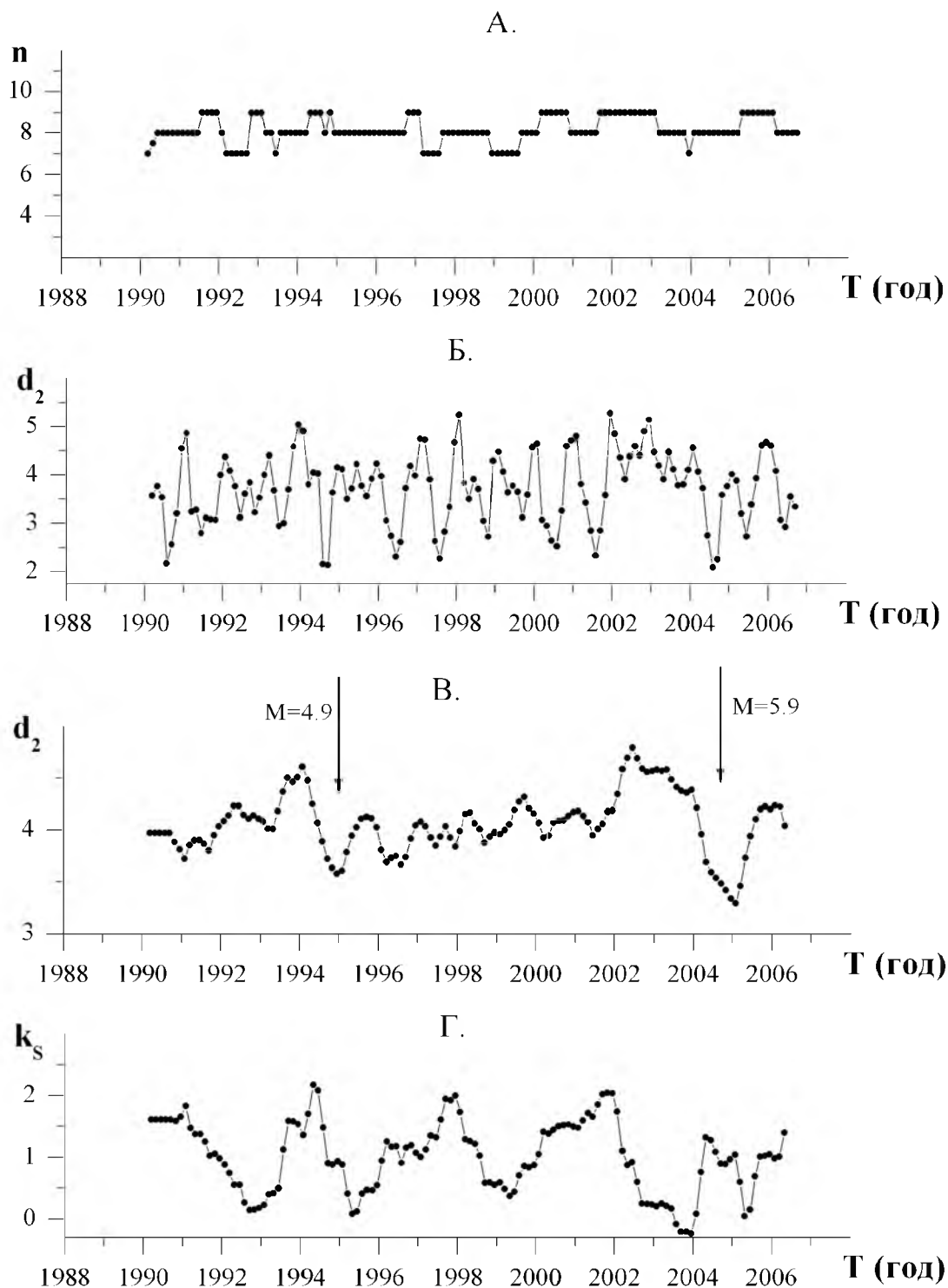


Рисунок 1. Временная изменчивость параметров динамической системы по данным наблюдений объемной деформации на станции РК DLT. А.- временной ход размерности динамической системы с интервалом дискретизации данных 1 час.; Б.- временной ход корреляционной размерности динамической системы; В.- временной ход корреляционной размерности динамической системы после снятия сезонной составляющей; Г.- временной ход амплитуды сезонной составляющей корреляционной размерности.

Наиболее сильное влияние сезонной составляющей присутствует в точке наблюдения РК VCN. Как отмечено в работе [1], для данной точки характерно аномальное проявление барического и приливного воздействий в объемной деформации. Наблюдаемое высокое значение в этом случае может быть связано со сложным характером взаимодействия элементов среды, обусловленным пространственной неоднородностью.

С целью снятия сезонного фактора рассмотрен

модифицированный метод наложения эпох [2], позволяющий учесть при снятии изменение амплитуд сезонной компоненты. Такой подход представляется обоснованным исходя из большого количества как внешних воздействующих факторов, в которых присутствует сезонная компонента, так и временной изменчивости напряженного состояния геологической среды, могущей влиять на передачу внешнего воздействия.

На рис. 1 В, Г представлены результаты выделения и снятия сезонной компоненты. Временной ход зависимости $d_2(t)$ демонстрирует вариации параметра до 2002 года, по величине, не превышающее амплитуду среднего сезонного размаха $Rd_2^{season} \approx 1$. Временная область 2002-2005 соответствует последовательному росту d_2 до максимального значения $d_2 = 4.6$ и затем быстрому спаду d_2 до минимального значения $d_2 = 3.2$. Размах $Rd_2 = 1.4$ превышает среднее значение сезонного размаха и может указывать на значительные изменения поведения динамической системы в данном временном интервале. Возможной причиной выделенного поведения параметра является изменение напряженного состояния среды, связанное с накоплением и сбросом напряжений в ходе Паркфилдского землетрясения ($M=5.9$, 28.09.2004 г.), с эпицентром, удаленным примерно на 14 км южнее вдоль разлома Сан-Андреас от точки наблюдения РК DLT. При этом область максимальной афтершоковой активности располагалась в непосредственной близости ($r \sim 4-6$ км севернее по разлому от точки наблюдения объемной деформации). Размерность системы достигает аномально низких значений за 8,3 месяца до землетрясения. Оценка времени переходного процесса восстановления динамической системы к фоновым значениям параметра d_2

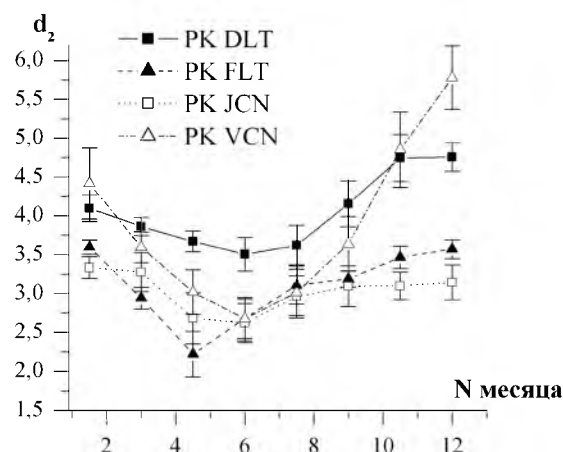


Рисунок 2. Средние значения сезонной компоненты в вариациях корреляционной размерности динамических систем объемной деформации на станциях наблюдения полигона Паркфилд

составляет 5.6 месяца. Погрешность приводимых оценок временных интервалов составляет 45 суток и равна T_{shift} .

Полученный ход изменения корреляционной размерности d_2 перед землетрясением может быть сопоставлен с данными о последовательности стадий развития разрушения в ходе лабораторных испытаний по нагружению горных пород и материалов [3-4]. В соответствии с данными экспериментов выделяются три стадии развития макроразрушения образца: 1. рассеянное по объему накопление трещин; 2. слияние и укрупнение трещин по мере достижения ими критической концентрации в единице объема; 3. постепенное стягивание трещин к поверхности будущего макроразрыва. На качественном уровне интерпретировать такой процесс на основе изменения характеристик динамической системы, описывающий процесс на каждой стадии, можно как: 1. рост размерности системы n и связанный с этим рост корреляционной размерности d_2 , отражающие увеличение числа источников, формирующих скачки деформации. Диффузное распределение указывает на слабую связь между ними и соответственно высокие значения n, d_2 . 2. укрупнение трещин характеризуется плавным уменьшением параметров n, d_2 , обусловленное уменьшением числа слабо связанных источников и возникновением связи между ними с малым радиусом корреляции. 3. резкое уменьшение параметров n, d_2 при пространственном формировании будущего макроразрыва с высокой степенью взаимодействия источников в данной области. Такое поведение по данным наблюдений объемной деформации характерно для параметра d_2 (рис. 1 В). При этом параметр n оказывался практически неизменным в предсейсмической фазе. Причины такой закономерности связаны с протеканием процесса в реальной среде, которая сформирована как блочно структурная и в ней отсутствует формирование новых структурных элементов, а происходит лишь перераспределение напряжений и соответственно связности между отдельными элементами на различных стадиях процесса. В этом случае естественно предположить большую чувствительность параметра d_2 по сравнению с n .

Выделенная особенность поведения d_2 во временной области подготовки сильного землетрясения может также быть сопоставлена с данными наблюдений изменения наклона графика повторяемости b и фрактальной размерности D_2 пространственного распределения эпицентров перед землетрясением. В работе [5] на основе обработки каталога в области (200×200 км), включающей очаг землетрясения Kobe (январь 1995, $M_w = 7.3$), показано увеличение b -value, начиная с 1990.4 года, временной интервал слабой изменчивости максимального значения $b \approx 1.34$ (при фоновом значении $b = 1$) в течении 1.3 года и сопровождаемое сейсмическим затишьем и быстрое уменьшение этого параметра в течении нескольких месяцев до основного события. Фрактальная размерность D_2 при этом

демонстрировала синхронные изменения. Выделенные временные стадии изменения b , D_2 соответствуют рассмотренным выше трем стадиям развития разрушения горных пород и соответствующей изменчивости d_2 в предсейсмической фазе Паркфилдского землетрясения.

Вариации параметра d_2 в точке РК DLT (рис.1 В.) имеют еще одну особенность поведения меньшей амплитуды и длительности, но сохраняющую характер поведения, аналогичный временной области Паркфилдского землетрясения. В 1993-1995 года временной ход d_2 демонстрирует значимое увеличение относительно средних значений, а далее спад но аномально низких значений. Такое поведение может быть связано с деформационными процессами, сопровождавшими произошедшее в непосредственной близости от точки наблюдения ($R \approx 5.5$ км) землетрясения $M = 4.9$. За рассматриваемый период наблюдений сейсмичности на сегменте Паркфилд (1990-2007 гг.) оно является вторым по силе после рассмотренного выше Паркфилдского землетрясения 2004 года. Данный результат является обнадеживающим указанием на чувствительность рассматриваемого параметра динамической системы объемной деформации к процессам перестройки геофизической среды, сопровождаемых сейсмическими событиями большой магнитуды.

Список литературы

1. *Roeloffs E., Hodgkinson K., Bryan C.* Review of Borehole Strainmeter Data Collected by the U.S. Geological Survey, 1985-2004. // report in Review of USGS Borehole Strain Data. / May 2004.
2. *Смирнов В.Б., Пономарев А.В., Qian Jiadong, Черепанцев А.С.* Ритмы и детерминированный хаос в геофизических временных рядах // *Физика Земли*. 2005. №6. с. 6-28.
3. *Соболев Г.А.* Основы прогноза землетрясений. М. Наука, 1993. 313 с.
4. *Соболев Г.А., Пономарев А.В.* Физика землетрясений и предвестники. М. Наука, 2003. 270 с.
5. *Enescu B., Ito K.* Values of b and p : their Variations and Relation to Physical Processes for Earthquakes in Japan // *Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, No.46 B, 2003.

УСТАНОВКА ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО МОНИТОРИНГА МЮОННОЙ КОМПОНЕНТЫ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ, α -ЧАСТИЦ И ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ СЦИТИЛЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Ширяев В.Т., Хоконов А.Х., Масаев М.Б., Шестак Д.С.

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
(Нальчик, Россия)
E-mail: azkh@mail.ru, d2_1@mail.ru

Аннотация

На основе использования большого сцинтилляционного кристалла $NaI(Tl)$, пластикового сцинтиллятора, люминофорных покрытий на основе сульфида цинка с добавлением резонансного захватчика нейтронов изотопа 6Li создана установка, позволяющая проводить одновременный мониторинг мюонной компоненты КЛ, α -активности воздуха и потока тепловых нейтронов. Установка позволяет сепарировать нейтроны космогенного происхождения от нейтронов обусловленных радиоактивным распадом.

Введение. В настоящее время в ведущих научных физических центрах проводятся мониторинговые исследования вариации интенсивности различных компонент КЛ. Галактические космические лучи – ГКЛ на 90% состоят из протонов. При столкновении протона высокой энергии с ядром азота или кислорода в верхних слоях атмосферы на толщине, что соответствует длине ядерного поглощения λ_{tot} , начинается развитие широкого атмосферного ливня – ШАЛ [1]. На измерении вариаций интенсивности адронной и мюонной компонент основывается предсказание магнитных бурь, обусловленных корональными выбросами солнечной плазмы в межпланетное пространство [2].

В лаборатории Субатомной физики КБГУ, для одновременного мониторинга вариаций интенсивности адронной и мюонной компонент КЛ и измерения концентрации α -частиц в воздухе, нами был создан сцинтилляционный монитор мюонов и тепловых нейтронов, обусловленных адронной компонентой КЛ – СММН-1.

Экспериментальная установка СММН-1. В состав установки входят два мюонных детектора, первый из которых использует большой сцинтилляционный кристалл $NaI(Tl)$ спектрометра БДЭГ-12, а второй – пластиковый сцинтиллятор с РОРОР-смесителем спектра; детектор тепловых нейтронов, представляющий собой люминофорные покрытия со светосоставом активированным изотопами 6Li [см. рис.1.]. Система регистрации аналогична описанной [4], при этом информация с детекторов поступает в режиме on-line на дисплей компьютера [см. рис.2].



Рис.1. Схема установки СММН-1

1 – сцинтиляционный детектор БДЭГ-12 с большим кристаллом *NaI(Tl)*, 2 – конструктив НМ-64, 3 – ячейка Лукаса с люминофорными регистрирующими покрытиями, 4 – ячейка Лукаса с органическим сцинтилятором с РОРОР-смесителем, 5 – детектор тепловых нейтронов.

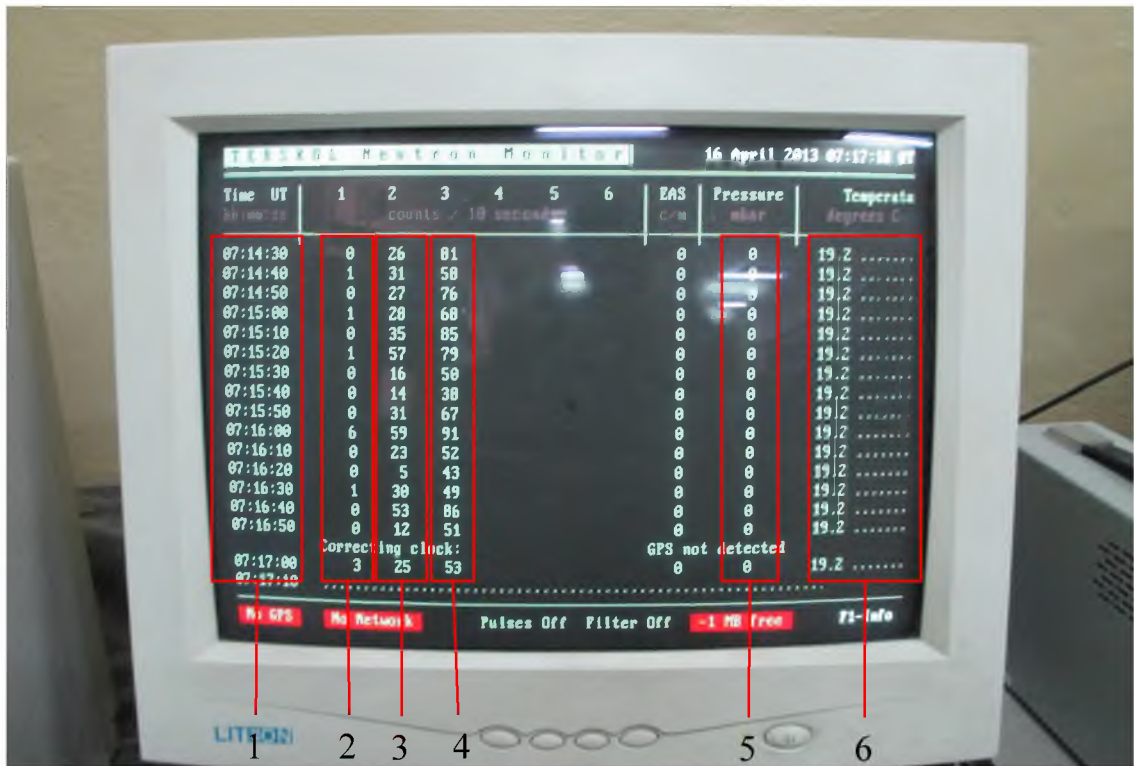


Рис.2. Представление мониторинговой информации, получаемой с помощью установки СММН-1

1 – время регистрации по GMT; 2,3,4 – количество регистрируемых в течение 10сек. нейтронов, α -частиц, мюонов соответственно; 5 – данные с датчика давления; 6 – данные с датчика температуры

Регистрация мюонной компоненты ШАЛ. ШАЛ представляет собой адронный каскад, который сопровождается мюонной и электромагнитной компонентами [1]. Такие данные представляют большой научный и практический интерес. Измерение вариаций интенсивности угловых распределений мюонов позволяет предсказывать за несколько часов краткосрочные метеоаномалии [2].

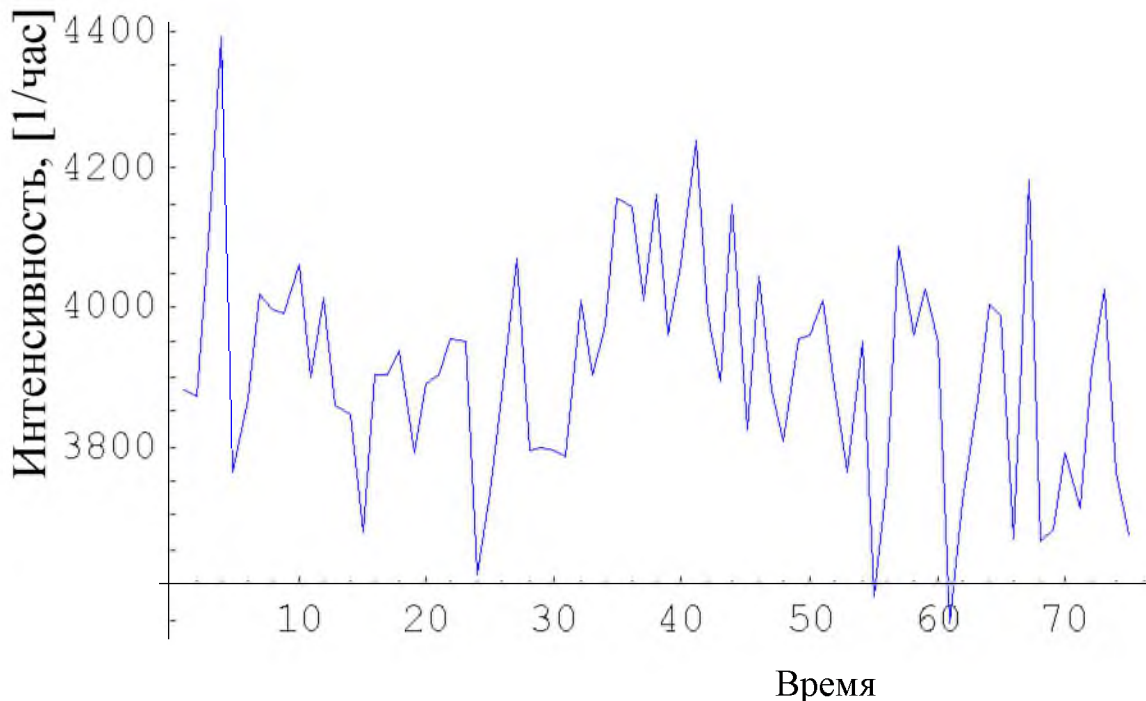


Рис.3. Результаты измерений потока мюонов, с использованием детектора БДЭГ-12 с 00 часов 12.04.2013 по 24:00 12.04.20

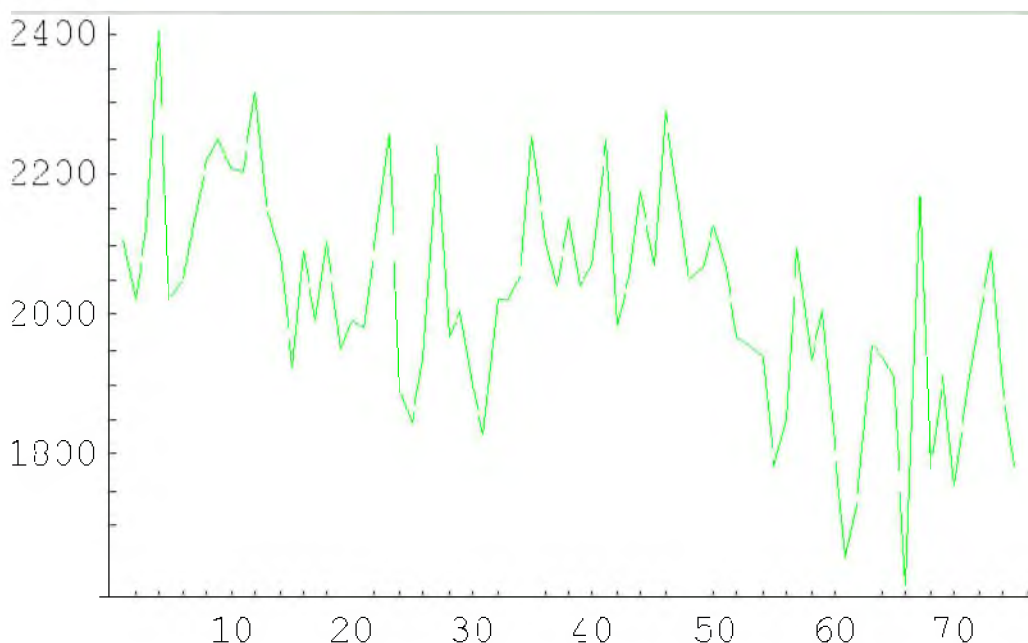


Рис.4. Регистрация вариации потока мюонов пластиковым сцинтиллятором (полистирол с РОРОР) с 0 часов 12.04.2013 по 24:00 12.04.2013

Изготовление люминофорных покрытий для регистрации α -частиц. Для регистрации α -частиц, сцинтилляционным методом, нами применен светосостав (люминофор ФС-4) на основе $ZnS(Ag)$, спектр люминисценции которого при фотовозбуждении показан рис.5.

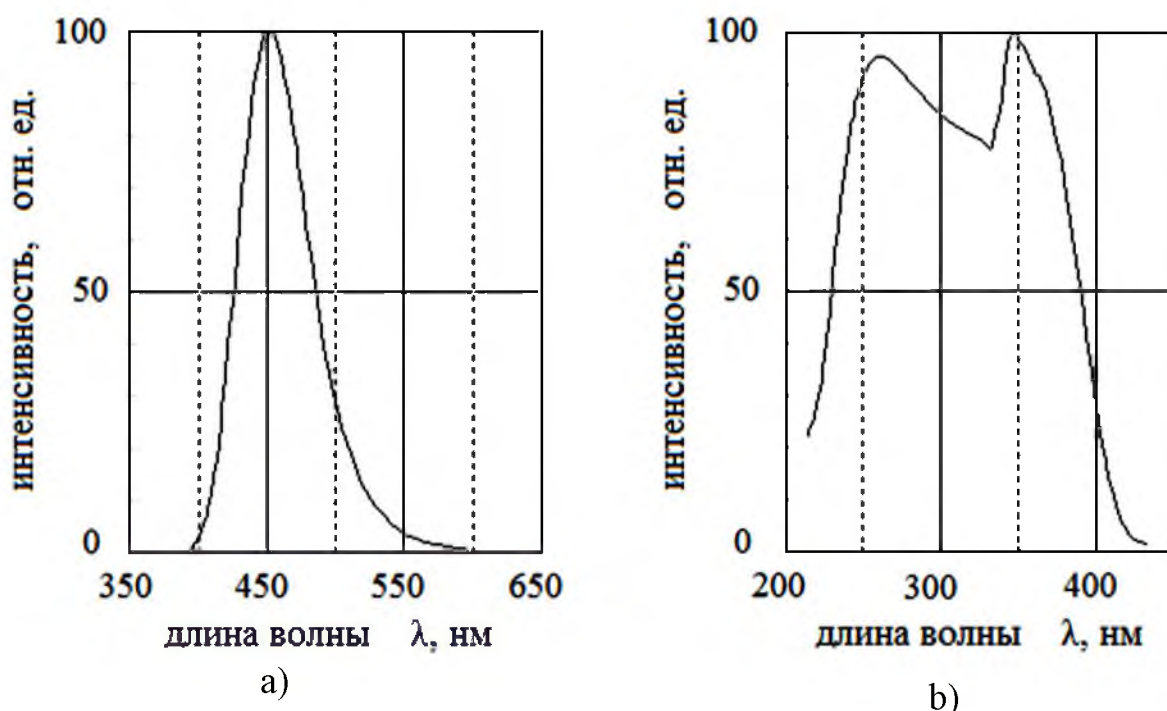


Рис.5. Нормированные спектры люминисценции люминофора ФС-4 ($ZnS(Ag)$) при фотовозбуждении. спектр возбуждения – а); спектр излучения – б).

Нанесение покрытий методом осаждения суспензии люминофора. Первый из использованных методов [3] основан на осаждении люминофора из суспензий. Достоинствами этого метода являются его универсальность, возможность обеспечить не только оптимальную толщину слоя суспензии, но и равномерность покрытия по поверхности. В качестве связующего элемента используются растворы силиката калия. При изготовлении покрытия, люминофор на основе сульфида цинка заливался в предварительно обезжиренную оправку со стеклянной подложкой. Используемая для нанесения люминофора оправка и результат, полученный при высадке люминофора из суспензии приведены на рис.6. Оценка толщины полученного слоя люминофора проводилась на микроскопе ОРМ-1 и составила 40-42 мкм, что соответствует люминофорным покрытиям с размером зерен люминофора 8мкм.

Нанесение люминофоров методом сухого напыления. Этот способ пригоден для изготовления покрытий из крупнозернистых сыпучих порошков люминофоров с размерами зерен в интервале 3-15 мкм. Способ состоит в том, что на подложку покрытия наносится слой биндера, после подсыхания которого до клейкого состояния, на него наносится сухой

порошок люминофора методом пульверизации или насыпанием, для более равномерного распределения порошка люминофора по поверхности подложка находится на вибростенде, колеблющемся в горизонтальной плоскости с частотой 7 – 10 Гц. После прилипания люминофора к биндеру избыток стряхивают с поверхности. На рисунке 6 показана оправка, использовавшаяся при высадке люминофора методом сухого напыления. Навеска люминофора сульфида цинка активированного серебром (4 грамма), которая должна обеспечить толщину слоя 40-50 мкм, была высажена на лаковый биндер из полиметилметакрилата, растворенного в толуоле марки ОСЧ. Образец (диск) покрывался тонким слоем лака и выдерживался в течение 30 мин. до почти полного его загустевания. Затем в лак засыпался люминофор и при легком покачивании оправки равномерно распределялся по поверхности диска.

По данным Российского химико-технологического университета, метод сухого напыления позволяет увеличить яркость свечения люминофора приблизительно на 25%.



a)



b)

Рис.6. Оправка, которая применялась для получения слоя люминофора методом сухого напыления – а), результат нанесения люминофорного покрытия методом осаждения суспензии – б).

Измерения активности α -частиц в воздухе проводилось в ячейке Лукаса, включенной в систему регистрации совместно с детекторами мюонов и нейтронов. Конструкция используемой нами ячейки Лукаса подробно приведена в [4].

Нейтроны. Регистрация тепловых нейтронов. Для регистрации тепловых нейтронов был использован светосостав СЛ6-5 [5], представляющий собой гранулированный сплав кристаллов неорганического сцинтиллятора $ZnS(Ag)$ и LiF , обогащенного до 90% изотопом 6Li . Используется реакция ${}^6_3Li + {}^1_0n \rightarrow {}^3_1H + {}^4_2\alpha + 4,7 \text{ МэВ}$. Ввиду невысокой оптической проницаемости кристаллов $ZnS(Ag)$ светосостав наносится тонким слоем в 1 гранулу на белую пластиковую пленку, которая

ламинируется с двух сторон тонкой прозрачной пленкой. Лист с люминофором прикреплялся к окну ФЭУ-49Б см рис.8. и помещался в конструктив нейтронного монитора НМ-64 [4] вместо пропорционального счётчика тепловых нейтронов СНМ-15.

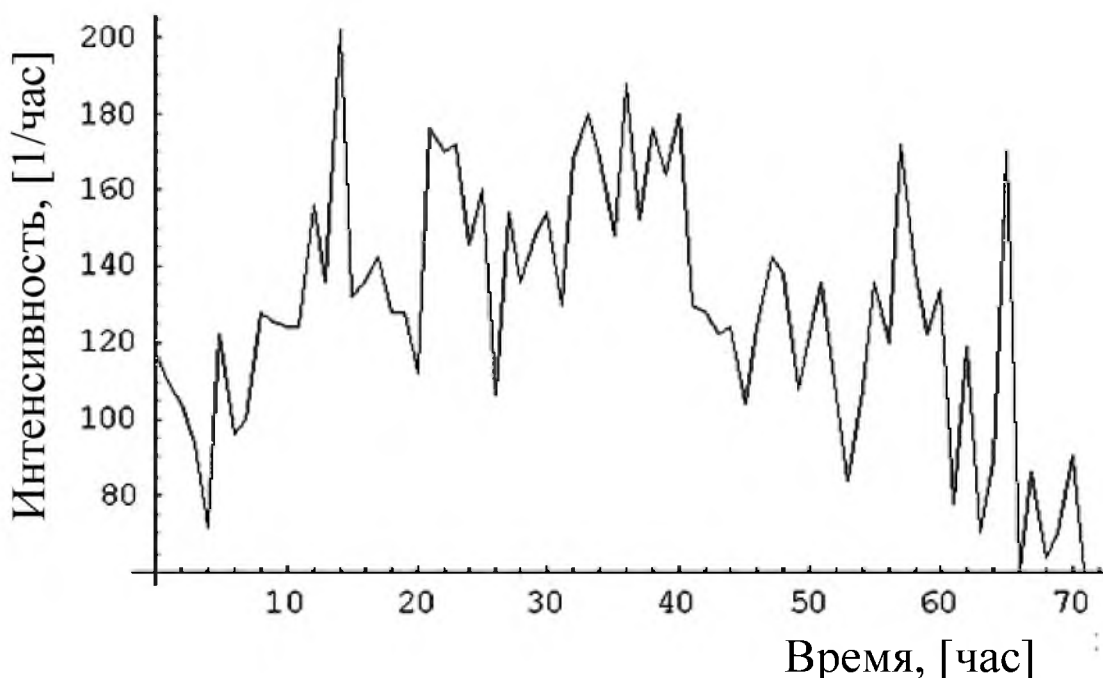


Рис.7. Результаты измерений фона альфа частиц с помощью ячейки Лукаса с люминофором $ZnS(Ag)$ с 0 часов 23.06.12 по 24:00 25.06.12.



a)



b)

Рис.8. Регистрация тепловых нейтронов сцинтилляционным методом внутри конструктива НМ-64.

ФЭУ-49Б и люминофор $ZnS(Ag) + {}^6Li$ – а); размещение ФЭУ-49Б в полиэтиленовом пенале конструктива – б).

Результат регистрации сцинтиляционным методом вариации потока тепловых нейтронов представлен на рис. 9.

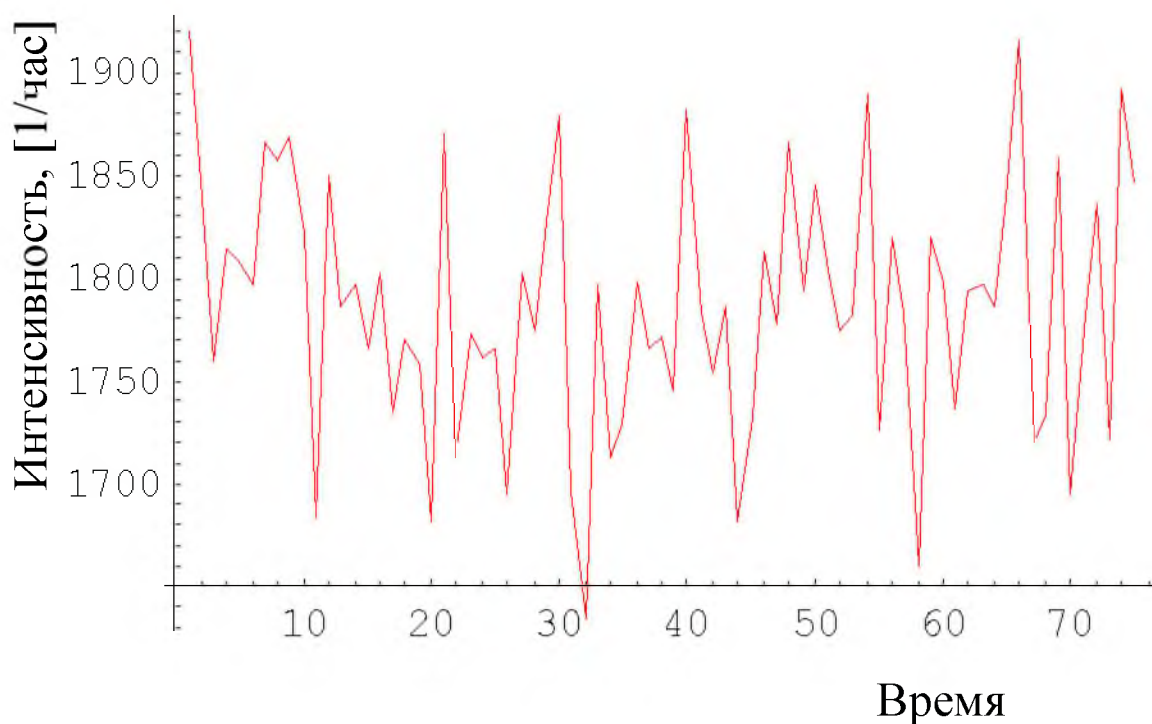


Рис.9. Результаты измерений фона тепловых нейтронов, с помощью сцинтиляционного детектора с люминофором $ZnS(Ag) + {}^6Li$, с 0 часов 12.04.2013

При использовании сцинтиляционного метода регистрации нейтронов мы столкнулись с 2 проблемами, первая связана с тем, что имеет место послесвечение люминофора, которое необходимо отделять от полезного сигнала, вторая – связана с отсутствием эффективного метода фотосбора с внутренней поверхности конструктива НМ-64, что делает не эффективным использование пассивной генерации вторичных нейтронов в свинце конструктива.

Авторы выражают свою признательность В.И. Кузьминову за содействие в выполнении работы.

Список литературы

1. Мурзин С. В. Введение в физику космических лучей. - М., 1979.
2. Дорман Л.И. Вариации КЛ и космическая погода. УФН, 2012г. Т.180, вып. 5.
3. Гурецкая З.И. Химическая технология материалов электронных приборов. Люминофоры. - М., 1986-1987. 67 с.
4. Хоконов А.Х., Масаев М.Б., Савойский Ю.В. Мониторинг радона в воздухе методом аэрозольных фильтров ячейки Лукаса и потока вторичных нейтронов / Материалы Международной научно-практической конференции

«Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий». - Майкоп, 16-20 мая, 2011. С.212-223.

5. Стенькин Ю.В. Нейтроны в космических лучах / Труды 7 БМШ ЭТЭФ – 2006. т.1. – М., 2007. С. 55-71.

ЛЬДООБРАЗУЮЩАЯ АКТИВНОСТЬ ЕСТЕСТВЕННОГО АЭРОЗОЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕХАНИЗМА НУКЛЕАЦИИ ЛЬДА

Шогенова М.М., Балкарова С.Б.

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
(Нальчик, Россия)*

E-mail: shogenova_mar@mail.ru, balkarova-07@mail.ru

Исследованию естественных льдообразующих ядер посвящено большое количество работ. В настоящее время имеются сведения о концентрации льдообразующих ядер (ЛОЯ) над различными континентами, в основных чертах установлено изменение их концентрации с высотой. В монографии [6,708] обобщены данные изменений ЛОЯ для различных регионов земного шара. Несмотря на то, что концентрация ЛОЯ даже при одинаковой температуре меняется в широких пределах как во времени, так и в пространстве, качественный ход ее зависимости от температуры, полученный различными авторами, удовлетворительно аппроксимируется соотношением, предложенным Флетчером [5,270]

$$N = N_0 \exp(\beta \Delta T), \quad (1)$$

где $\beta=0,6$ и $\Delta T = T_0 - T$ – температура переохлаждения.

Данные о вкладе различных механизмов нуклеации очень ограничены и весьма противоречивы даже для такого известного реагента как *AgI*, для естественных аэрозолей таких исследований еще меньше. Например, считается, что для частиц *AgI* и естественного аэрозоля основным механизмом нуклеации является сублимация.

Учитывая ограниченное количество исследований различных механизмов нуклеации, были проведены исследования льдообразующих свойств естественного аэрозоля в зависимости от температуры, пересыщений над льдом и размеров аэрозольных частиц.

Забор проб естественного аэрозоля осуществлялся трехкаскадным импактором [2], в котором происходило разделение частиц по размерам. На первом каскаде прибора осаждались гигантские частицы диаметром от 3 до 200 мкм, на втором от 0,5 до 7 мкм и на третьем каскаде частицы размерами более 0,01 мкм. Конструкция подложек осаждения выполнена таким образом, что имеется возможность исследовать спектр и концентрацию аэрозольных частиц с помощью оптического и электронного микроскопа, а затем изучать льдообразующие и конденсационные свойства частиц в термодиффузионной полупроводниковой камере «Град-3» [1]. Применяемое устройство в термодиффузионной камере устраняют объемный эффект.

Пробы естественного аэрозоля брались в приземном слое атмосферы в антициклональную погоду в течение нескольких дней. Пробы исследовались при температуре -8 , -12 , -15 , -20°C . Для каждой фиксированной

температуры пересыщение относительно льда изменялось от 5% до 25. Осредненные концентрации естественных льдообразующих ядер разных размеров, активных при различных температурах и насыщенный над водой, приведены в таблице 1 [3, 933–936].

Таблица 1.

Концентрация ЛОЯ ($л^{-1}$) разного размера, активных при различных температурах и насыщении над водой (в знаменателе указан процентный вклад ядер каждой фракции размеров в общую концентрацию ЛОЯ)

Диаметр ядер, мкм	Температура, °C				
	-8	-10	-12	-15	-20
100	$\frac{0,030}{17}$	$\frac{0,038}{15}$	$\frac{0,039}{8}$	$\frac{0,040}{2}$	$\frac{0,048}{4}$
30	$\frac{0,061}{35}$	$\frac{0,070}{27}$	$\frac{0,082}{17}$	$\frac{0,110}{4}$	$\frac{0,320}{4}$
10	$\frac{0,052}{30}$	$\frac{0,060}{23}$	$\frac{1,080}{16}$	$\frac{0,190}{8}$	$\frac{0,700}{10}$
1,0	$\frac{0,020}{12}$	$\frac{0,045}{17}$	$\frac{0,100}{20}$	$\frac{0,670}{28}$	$\frac{1,300}{18}$
0,1	$\frac{0,010}{6}$	$\frac{0,048}{18}$	$\frac{0,020}{41}$	$\frac{1,400}{58}$	$\frac{4,900}{67}$
Общая концентрация	$\frac{0,173}{100}$	$\frac{0,261}{100}$	$\frac{0,491}{100}$	$\frac{2,410}{100}$	$\frac{7,268}{100}$

Как видно из таблицы 1, при высоких температурах наиболее активны гигантские и сверхгигантские ядра, при понижении температуры возрастает активность мелких частиц и при $-20^{\circ}C$ их вклад становится преобладающим. При $-10^{\circ}C$ концентрация ЛОЯ всех размеров одинакова.

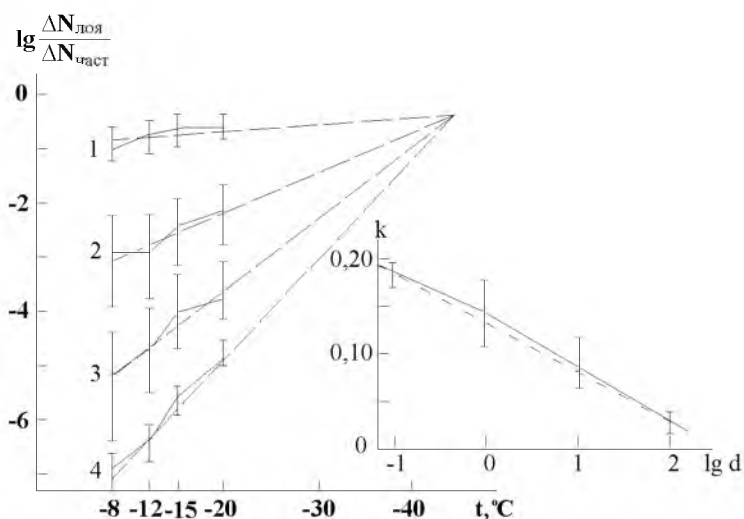


Рис 1. Температуры при насыщении над водой (а) и коэффициента наклона кривых 1–4 от размера частиц (б). Цифры у кривых- среднеквадратичный диаметр ядер: 1–100 мкм, 2–10 мкм, 3–1 мкм, 4–0,1 мкм

Концентрации, представленные в таблице 1, отражают их реальное содержание в атмосфере, но не дают четкого представления об активности, т.е. активной доле частиц каждой фракции размеров, ибо она затушевывается большим различием содержания в атмосфере частиц разного размера. Более наглядным в этом отношении является рис.1 [3,933–936], отражающий зависимость активной доли $\Delta N_{\text{лоя}} / \Delta N_{\text{част}}$ каждой фракции размеров части аэрозоля от температуры (здесь $\Delta N_{\text{лоя}}$ – концентрация льдообразующих ядер одного размера, $\Delta N_{\text{част}}$ – концентрация аэрозольных частиц того же размера).

Из рисунка 1 следует, что частицы $\bar{d}_2 = 100$ мкм почти всю свою возможную активность проявляют при высокой температуре, тогда как активность мелких аэрозолей существенно зависит от температуры. Полученные кривые аппроксимировались прямыми, которые при экстраполяции пересекались в одной точке. Эта точка лежит на линии 100% активности и располагается на температурной шкале между точками спонтанной сублимации (-60°C) и замерзания (-38°C) [7, 333–346]. Этот факт является косвенным подтверждением правильности полученных экспериментальных зависимостей и позволяет описать их уравнением пучка прямых, которое в трансформированном виде определяется формулой

$$\Delta N_{\text{лоя}} = \Delta N_{\text{част}} \cdot 10^{R(t-t_0)} \quad (2)$$

где $t_0 = -45^\circ\text{C}$, t – температура активации аэрозоля, а R зависит от размеров частиц \bar{d}_2 как

$$R = 0,14 - 0,055 \lg \bar{d}_2 \quad (3)$$

Здесь \bar{d}_2 – среднеквадратический диаметр льдообразующих ядер, выраженный в микрометрах.

Уравнение (2) и (3) охватывают фактически весь диапазон размеров аэрозольных частиц, имеющих в атмосфере. Для их практического применения необходимо знание распределения аэрозольных частиц в реальных условиях, что определяется на много легче, чем содержание льдообразующих ядер разного размера в тех же атмосферных условиях. Таким образом, зная (или задавая) концентрацию частиц континентального аэрозоля \bar{d}_2 , всегда можно рассчитать концентрацию ядер $\Delta N_{\text{лоя}}$ того же размера и прогнозировать ее изменение с изменением температуры в интервале $-8 - -20^\circ\text{C}$.

Проведенные эксперименты свидетельствуют о том, что для естественного аэрозоля имеют место механизмы как сублимации, так и конденсации- замерзания и иммерсионный рассматривается как один ввиду их близости по физической сущности и трудности различения при массовой обработке проб.

Механизм конденсации- замерзания играет основную роль при высоких температурах. С понижением температуры увеличивается вклад механизма сублимации. Такой вывод представляется вполне естественным ввиду широкого спектра конденсационной и льдообразующей активности у частиц естественного аэрозоля. Происходит своего рода конкуренция между механизмами нуклеации и переход от одного к другому не может быть резким. Быстрое увеличение зависимости концентрации ЛОЯ от пересыщений с повышением температуры для самых мелких частиц ($\bar{d}_2 \approx 0,1$ мкм) и сумм всех частиц, по- видимому, объясняется тем, что у естественных ЛОЯ имеется спектр пороговой активности и спектр кристаллических размеров, зависящий не только от температуры, но и от пересыщений. Это объясняется действием нескольких механизмов нуклеации и большим разнообразием свойств частиц естественного аэрозоля, определяющих их льдообразующую активность: широким диапазоном размеров, химическим составом, кристаллографическими свойствами, водонерастворимостью и др.

Значительное число ядер имеют растворимую (солевую или кислотную) компоненту, препятствующую льдообразованию. В [6, 708] было показано, что лишь при концентрациях раствора 10^{-3} моль/л растворенное вещество оказывает влияние на замерзание воды. В таблице 2 приведены размеры капель с указанной выше концентрацией раствора, размеры ядер, на которых они образовались, при различном содержании в них соли, а также время достижения этого размера при конденсационном росте в термодиффузионной камере.

Таблица 2

Размер капель с концентрацией 10^{-3} моль/л, выросших на частицах различных размеров, имеющих 10% примесей *NaCl*, и время их роста

№	Размер ядра, мкм	Размер капли, мкм	Время роста
1	1	15,9	11 с
2	10	126	11 мин
3	30	464	10ч 30 мин

Для расчета бралось максимальное пересыщение, которое устанавливалось в камере. Так как концентрация частиц на первом каскаде была незначительной, предполагалось, что отсутствует взаимное влияние растущих капель. Пренебрегалось влиянием радиуса кривизны на давление пара над каплей, что вполне допустимо для частиц таких размеров. Предполагалось, что температура капель не меняется из-за выделения скрытой теплоты конденсации, т.к. в связи с хорошей теплопроводностью воды капли быстро принимали температуру термостатируемой подложки, на которой они находились.

Формула для изменения радиуса капли во времени имеет следующий вид:

$$-\frac{dv_k}{dt} = \frac{2\rho D}{\rho_k}(s_k - s_\infty) \quad (4)$$

или

$$r^2 - r_0^2 = \frac{2\rho D}{\rho_k}(s_\infty - s_k)t \quad (5)$$

где ρ – плотность воздуха, D – коэффициент молекулярной диффузии водяного пара в воздухе (при 0°C составляет $0,22 \text{ см}^2/\text{сек}$, при других температурах $D = 0,22 + 0,0015 t$), s_k – удельная влажность капли, ρ_k – плотность капли.

Температура поверхности капли определяется по формуле

$$T_k = T_\infty + \frac{L\rho_k r_k}{\lambda} \frac{dr_k}{dt} \quad (6)$$

где T_∞ – температура воздуха на достаточно большом расстоянии от капли, λ – коэффициент молекулярной теплопроводности воздуха

$$(5,77 + 0,16 t) \cdot 10^{-5} \frac{\text{ккал}}{\text{град.см.сек.}}$$

Формула для скорости роста капли будет иметь вид:

$$\frac{R_n \rho_k}{D} r \frac{dr}{dt} = \frac{l_\infty}{T_\infty} - \frac{E(T_\infty)}{T_\infty} \left[1 - C_m \left(\frac{\gamma_0}{\gamma} \right)^3 \right] \times \exp \left[\frac{2\sigma}{R_n \rho_k r_k T_k} + \frac{\alpha L}{AR_n T_\infty (1 + \alpha)} \right] \quad (7)$$

где C_m – константа, зависящая от физической природы растворенного вещества, r_0 – радиус капли в тот момент, когда раствор соли остается еще насыщенным, σ – коэффициент поверхностного натяжения на границе капля-воздух.

Это трансцендентное относительно $\frac{dr}{dt}$ уравнение было положено

М. Нуйбургером и К. Чином [4,543] в основу расчета скорости роста капель на гигроскопических частицах. Расчет по уравнению (7) выполнялся на электронной вычислительной машине. Результаты изменения размеров капель и приводится в таблице 3.

Таблица 3

Размер капель выросших на частицах различных размеров, имеющих 10% примесей NaCl , и время их роста

№	Размер ядра, мкм	Размер капли, мкм	Время роста
1	1	15,9	45 с
2	10	126	48 мин
3	30	464	24 ч 30 мин

Рассмотрим другой подход. Обратимся сразу к «зрелому облаку», опуская из рассмотрения стадию формирования облачных частиц, чтобы можно было пренебречь влиянием ядер конденсации и зависимостью давления насыщенного пара от кривизны поверхности. Тогда для скорости роста капли можно использовать уравнение [4,543]

$$\frac{dr_k}{dt} = \frac{D\rho_{ex}}{r_k\rho_k} \cdot \frac{\mu E_e}{p} (f-1) \frac{\gamma(Re)}{1+v_k}, \quad (8)$$

$$\gamma(Re) = 1 + 0.24\sqrt{Re}, \quad (9)$$

$$v_k = \frac{D\mu^2 L^2 \rho_{ex} E_e}{\kappa N_A M T^2 \lambda p}, \quad (10)$$

где r_k – радиус капли, t – время, D – коэффициент молекулярной диффузии пара, ρ_k и ρ_{ex} , μ и M – плотности и молярные массы капли и воздуха соответственно, E_e – давление насыщенного водяного пара над водой, p – давление, f – относительная влажность в облаке, κ – постоянная Больцмана, N_A – число Авогадро, $\gamma(Re)$ – безразмерный коэффициент вентиляции.

Расчет по формуле (8) для размеров указанных в экспериментах выполнялся на ЭВМ и результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4

Размер капель выросших на частицах различных размеров и время их роста

№	Размер ядра, мкм	Размер капли, мкм	Время роста
1	1	15,9	51 с
2	10	126	51 мин 75 с
3	30	464	11 ч 30 мин

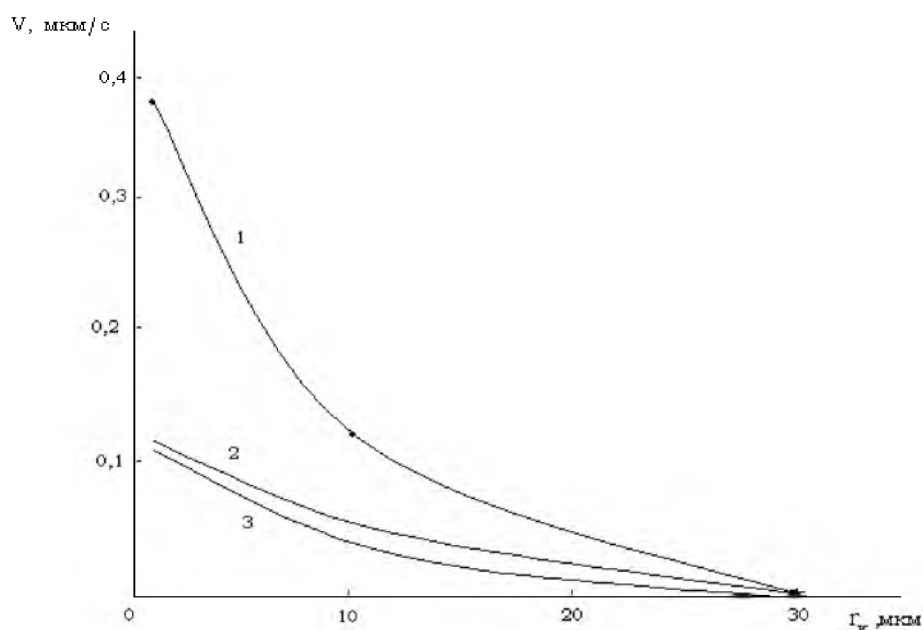


Рис. 3. Зависимость скорости конденсационного роста капли от её первоначального размера (1 – кривая полученная по экспериментальным данным, 2 – кривая полученная по формуле (7), 3 – кривая полученная по формуле (8)).

Результаты полученные входе эксперимента по исследованию конденсационного роста капель были сравнены с результатами расчетов полученными по формулам (7) и (8) при различных значениях первоначального размера капли (ядра) (рис. 3).

Рисунок 3 показывает, что с увеличением размера капли скорость её конденсационного роста уменьшается.

Список литературы

1. Авторское свидетельство № 919491 «Термоэлектрическая диффузионная камера для исследования процессов градо и облакообразований» Черный А.П., Сергеева Л.И., Спиридонов В.М., Степанов Г.В., Березинский Н.А., Хоргуани В.Г.// Заявл. 17.70.1978г., Опубл. 7.12.1981 г.

2. Авторское свидетельство № 1055997 «Импактор» Березинский Н.А., Саркисов С. Л. и Степанов Г.В. // Заявл. 10.08.1982 г. Опубл. 23.11. 1983г., Бюл. № 43.

3. Степанов Г.В., Березинский Н.А. Зависимость концентрации естественных льдообразующих ядер разного размера от температуры и пересыщения. // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. –1986. – Т.22, № 9 – С. 933–936.

4. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физические атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат. – 1961. – 543с.

5. Fletcher N.H. The chemical physics of ice. -Cambridge University Press., 1970- 270 p.

6. Pruppacher H.R. and Klett J.D. Microphysics of clouds and precipitation.- London, 1978- 708 p.

7. Vali G. Advances in ice nucleation research. // Proc. 9th Intern. Conf. on Atmos. Aerosol, Condensation and ice nuclei, Ireland, 1977– P. 333–346

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ В КОНДЕНСИРОВАННОЙ ФАЗЕ

Шоранова Л.О., Леднев О.Б., Бештоев Б.З., Беданокоев А.Ю.

*Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»,
Государственный научный центр РФ Федеральное государственное
унитарное предприятие «Ордена Трудового Красного Знамени научно-
исследовательский физико-химический институт имени Л.Я. Карпова»
(Москва, Россия)
E-mail: azamat2@mail.ru*

Представлен анализ литературы в области исследования механизма горения полиолефинов в конденсированной фазе. Рассмотрены физические и химические процессы, протекающие в процессе горения полимеров и кинетика процесса горения в конденсированной фазе.

В настоящее время на базе НИФХИ им. Л.Я. Карпова проводятся исследовательские и технологические работы по получению огнестойких композитных материалов на основе полиолефинов, гидроксида магния и специально разработанных синергетических добавок. Полученные результаты показывают большую эффективность разработанных рецептур. Например, кислородный индекс полученных материалов в зависимости от состава достигает значений 40-70%, при этом сохраняются высокие физико-механические показатели.

На сегодняшний день спектр, как производителей, так и потребителей полимерных материалов весьма широк. В связи с участвовавшими в последнее время случаями пожаров, причиной которых служило воспламенение полимерных материалов, разработка специальных огнестойких полимерных композитов особенно актуальна для решения проблемы пожаробезопасности строительных, кабельных, конструкционных материалов. Основной причиной гибели людей при пожарах, является отравление продуктами горения, что не удивительно, принимая во внимание массовое потребление в нашей стране дешёвых материалов (оконные профили, кабельная изоляция, отделочные материалы, детали и корпуса техники и др.) на основе токсичного при небольшом нагреве поливинилхлорида (ПВХ). В этой связи приоритетной является задача снижения горючести изделий и понижения выделения дыма и ядовитых газов из полимерных материалов. На сегодня одним из способов решения данной проблемы является использование современных безгалогенных антипиренов в производстве полимерных композитов.

Горение полимеров представляет собой сложную совокупность многостадийных физико-химических превращений, происходящих в конденсированной и газовой фазах, а также на поверхности их раздела –

мезофазе (рисунок 1) [1]. Для решения проблем снижения горючести полимерных материалов необходимо знать особенности механизма воспламенения и горения полимеров.

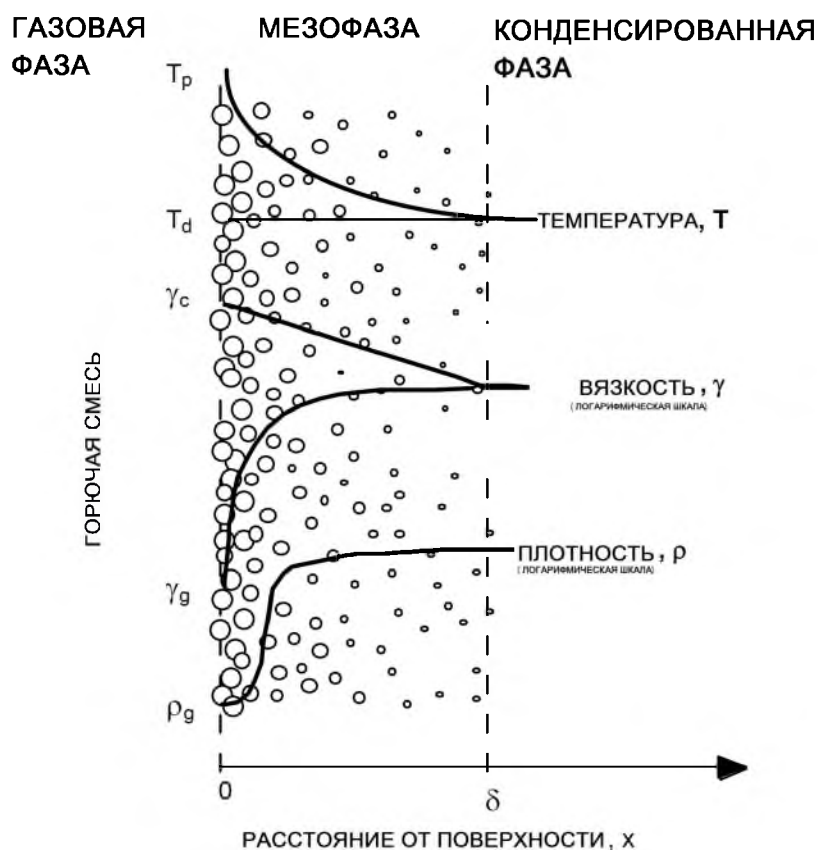


Рисунок 1. Процесс горения полимера [1].

Реакции в конденсированной фазе включают поверхностные и подповерхностные реакции. Подповерхностные реакции представлены процессами разложения твердой фазы, которые протекают по той причине, что разложение начинается раньше газификации.

Например, основными углеводородными продуктами окислительного пиролиза полиэтилена высокого давления (ПЭВД) при $T = 500$ °C (представлены в относительных процентах) являются этилен (36,6 %), пропилен (15,1 %), бутадиен (9,9 %), бутан (7,7 %), метан (7,2 %), бутин (7,1 %), бензол (5,5 %), изобутан (5,0 %). В малых количествах зарегистрированы пропин (2,8 %), этан (2 %), толуол (1,4 %). Основными углеводородными продуктами горения ПЭВД при $T = 850$ °C являются этилен (43,5 %), метан (21,5 %), бензол (19,2 %). В малых количествах обнаружены пропилен (2,8 %), 1-бутин (2,7 %), бутадиен (2,6 %), изобутан (2,6 %), этан (1,5 %), 2-бутин (1,5 %), толуол (1,3 %) [12].

Скорость, с которой тепло транспортируется и хранится в конденсированной фазе имеет принципиальное значение, так как эти процессы определяют время возгорания и скорость горения полимеров.

На первой стадии происходит взаимодействие источника зажигания с материалом. Это взаимодействие выражается в нагревании материала, степень и скорость которого зависят от теплопроводности материала, теплоты его плавления, теплоемкости, включаемых добавок, от характера источника зажигания и его мощности. Нагревание сопровождается воздействием на полимер светового импульса, активных частиц пламени. Активизацию поверхности полимерного материала при воздействии теплового, пламенного или электрического источника называют иногда первичным химическим процессом. Сопровождение этой активизации экзотермическими эффектами может перейти в самовоспламенение материала [1-6].

Общим токсичным компонентом продуктов горения полимеров является оксид углерода [7]. Кроме того, в них могут присутствовать хлористый водород, метан и другие углеводороды. Состав газообразных и жидких веществ, образующихся при разложении полимеров, зависит от температуры и наличия кислорода. Наиболее опасным периодом является период от начала термического разложения до температуры самовоспламенения, поскольку выделяющиеся в это время вещества наиболее активны и концентрации их значительно выше предельно допустимых [8].

К сожалению, кинетика и механизм деструкции многих природных и синтетических полимеров в конденсированной фазе даже при невысоких температурах и скоростях термического воздействия изучены недостаточно. Это весьма наглядно показывает ситуация даже с таким широко распространенным полимером как поливинилхлорид (ПВХ). Так, в работе [9] указывается, что термодеструкция ПВХ начинается при температурах, немногим превышающих 100 °С, и практически единственным продуктом при этом является негорючий HCl. До температуры 300-350 °С дегидрохлорирование остается основным процессом деструкции ПВХ и содержание HCl в летучих продуктах составляет 96-99 % (мол.).

Однако в работе [7] указывается, что распад ПВХ-материалов начинается при 160-180 °С, и в хлористый водород превращается до 95 % всего наличного хлора. В интервале 180-250 °С потеря массы происходит за счет отщепления хлористого водорода. Но при температурах выше 200 °С появляются и другие продукты деструкции: CO, CO₂, углеводороды (наиболее значимый из них - бензол) [2-6,10]. С увеличением температуры увеличивается вклад радикальных реакций распада C-C связей основной цепи макромолекулы.

Важным обстоятельством, влияющим на все стадии горения полимеров, является образование кокса при воздействии пламени на полимер. Первое важное следствие образования кокса – это снижение выхода горючих продуктов в газовую фазу, уменьшение потока горючих газов к пламени еще в конденсированной фазе горения [11]. Например, если хлорпарафин при нагревании испаряется до разложения и остальные

превращения претерпевает в газовой фазе, то действие хлора невелико и сводится, лишь к слабому разбавлению горючих газов небольшим количеством хлористого водорода, кислородный индекс (КИ) остается на уровне 17-19%. Если же разложение хлорпарафина происходит в конденсированной фазе, то КИ становится весьма высоким 40 – 45%. При этом существенно меняется состав газов, попадающих в пламя [11].

В целом, процесс термодеструкции полимера состоит из совокупности гетерогенных химических реакций и фазовых превращений, сопровождающихся поглощением тепла и потерей массы за счёт выделения летучих продуктов разложения.

Поэтому скорость процесса разложения определяется следующими факторами [9]:

- скоростью химической реакции (или фазового превращения);
- скоростью десорбции продуктов деструкции с внешней поверхности полимера;
- скоростью отвода газообразных продуктов.

Поскольку указанные процессы протекают последовательно, то скорость процесса определяется наиболее медленной стадией.

Как показывают данные [10,12], разложение органического связующего в пластмассах сопровождается поглощением тепла, образованием газообразных продуктов разложения, формированием пористой структуры поверхностного слоя. Стенки пор и внутренних каналов представляют собой спечённые частично разрушенные волокна наполнителя, между которыми находятся твёрдые частички кокса - второго конечного продукта термического разложения органического связующего.

Таким образом, проведенный анализ литературы показывает, что исследование конденсированной фазы горения является важной задачей при создании огнестойких полимерных композитных материалов.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2013 годы» по ГК №16.523.11.3014.

Список литературы

1. S. Nazare, T. R. Hull, B. Biswas, F. Samyn, S. Bourbigot, C. Jama, A. Castrovinci, A. Fina and G. Camino, Chapter 12, p. 430.
2. Зенков Н.И. Строительные материалы и поведение их в условиях пожара.—М.: Изд-во Академии МВД СССР. 1974. - 176 с.
3. Баратов А.Н., Андрианов Р.А., Корольченко А.Я. и др. Пожарная опасность строительных материалов. - М.: Стройиздат. 1988. - 380 с.
4. Щеглов П.П. Продукты разложения и горения полимеров при пожаре. — М.:Изд-во ВИПТШ МВД СССР. 1981. - 70 с.

5. Stromberg R.R., Strauss S., Achhammer B.C. Thermal decomposition of polyvinylchloride// J. PolymerSci. 1959. V. 35, № 129. P. 355-368.
6. Tallamini G., Pezzin G. Kinetic study on the reaction on polyvinyl chloride thermal dehydrochlorination// Makromol. Chem. 1960. Bd. 39, № 1/2. p. 26
7. Н. Н. БАХМАН, А. Ф. БЕЛЯЕВ. Горение гетерогенных конденсированных систем. - М.: НАУКА, 1967.Глава 1, с.125.
8. Трушкин Д.В., Аксенов И.М. Проблемы определения горючести строительных материалов // Пожаровзрывобезопасность. 2001. № 4. С. 3-8.
9. V. Babrauskas and S.J. Grayson, eds., *Heat Release in Fires*, Elsevier Applied Science, London, UK, 1992, p. 23-26.
- 10.Winkler D.E. //Mechanism of polyvinyl chloride destruction and stabilization// J.Polymer Sci. 1949. V. 35, № 128. p. 3-16.
- 11.А.А.Берлин //Снижение горючести полимеров//«Соросовский образовательный журнал», №9, 1996, с.36.
- 12.Font R., Aracil I., Fullana A., Conesa J. A. //Semivolatile and volatile compounds in combustion of polyethylene // Chemosphere. 2004. V. 57. - P. 615-627.

ЕСТЕСТВЕННОЕ И АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА КАРСТОВЫЕ ПЕЩЕРЫ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Экба Я.А., Дбар Р.С., Ахсалба А.К., Барциц К.Л.

*Абхазский государственный университет,
Институт экологии Академии наук Абхазии (Сухум, Абхазия)
E-mail: ekba-yan@yandex.ru, asida_cen@mail.ru*

Количество туристов, посещающих Ново-Афонскую пещеру, в последние 10 лет увеличилось в 6 раз и достигает 290 тыс. человек за сезон, в отдельные дни через пещеру проходит до 4 тыс. туристов. Одновременное присутствие такого количества рекреантов, при практически непрерывном использовании осветительных приборов, приводит к повышению общей температуры воздуха внутри пещеры на 0,2-0,4⁰С, что является существенным. Выявлены особенности воздухообмена пещеры с дневной поверхностью и установлен сезонный ход концентрации углекислого газа в пещере. Важной частью охраны карстовых полостей является создание системы прогноза негативных процессов и разработка мер по обеспечению экологической безопасности этих уникальных природных объектов.

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].

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].

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.

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.

На рис.1. показана динамика роста количества туристов. Количество рекреантов посетивших Новоафонскую пещеру за последнее десятилетие увеличилось почти в шесть раз с 48000 чел.в 2000г.до 290000чел в2007г.. Максимум рекреантов наблюдался в 2007г., в дальнейшем наблюдается снижение посещаемости пещеры, связанное с оттоком туристов в связи с агрессией в 2008г Грузии против Южной Осетии и Абхазии.

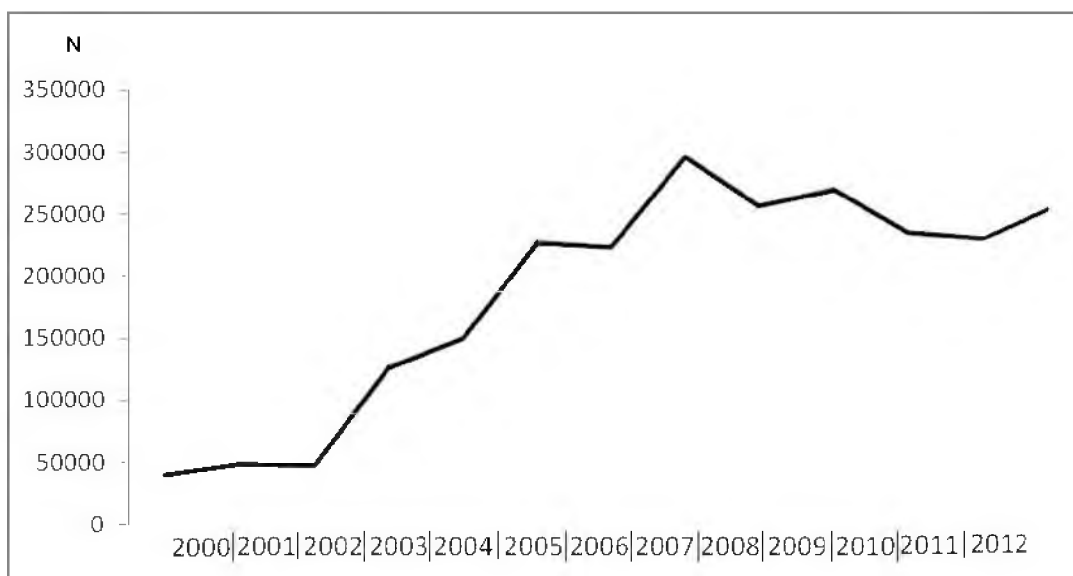


Рис.1. Динамика роста количества туристов (N) с 2000 по 2012 гг.

Сезонное распределение туристов в Ново-Афонской пещере (табл.1) испытывает существенную неравномерность: 90% рекреантов посещают её в летние месяцы- с июня по сентябрь, с максимумом в августе (31%). В отдельные дни количество рекреантов достигает 4000 чел.

Таблица 1.

Сезонное распределение туристов по месяцам в Новоафонской пещере

месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Всего
N, чел.	3472	831	1345	2827	6449	24635	67414	83064	65778	7965	2232	1367	267379
%, чел	1,3	0,3	0,5	1,1	2,4	9,2	25,2	31,1	24,6	3	0,8	0,5	100

Динамика температуры внутренней среды пещеры

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 0,2-0,4⁰ С, что является довольно существенным.

На рис.2. видно, что среднегодовая температура внутри пещеры повысилась в среднем на $0,6^{\circ}\text{C}$.

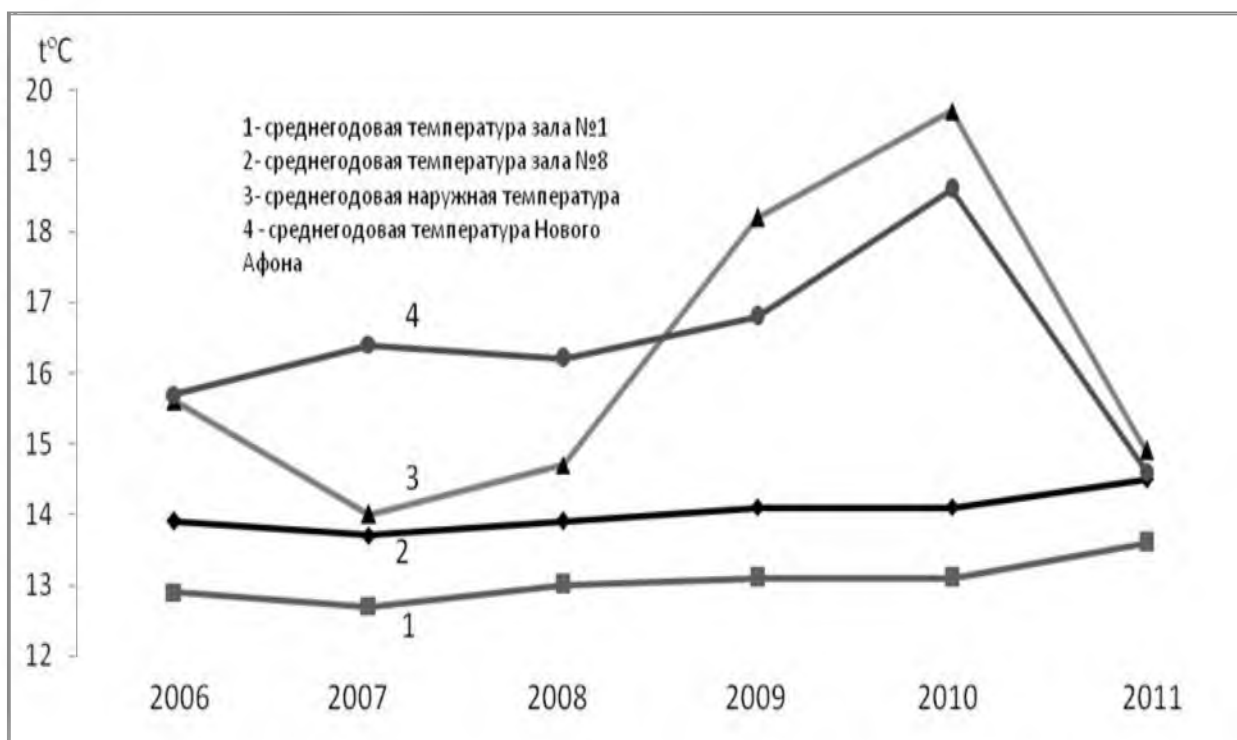


Рис.2. Изменение температуры по годам с 2006 по 2011 гг

По сравнению с широким диапазоном колебаний среднегодовых температур дневной поверхности, которые достигают 3-4 градуса, внутри пещеры эти отклонения значительно сглаживаются и составляют $0,5^{\circ}\text{C}$ - $0,6^{\circ}\text{C}$. Однако среднегодовая температура воздуха внутри пещеры в последнее десятилетие непрерывно возрастает и отражает, скорее всего, динамику глобальной температуры приземного воздуха умеренных широт северного полушария, чем региональные отклонения.

Сезонное распределение температуры воздуха внутри пещеры является отражением особенностей тепло-массообмена с внешней средой. Минимальная температура, соответствующая $12,5^{\circ}\text{C}$ наблюдается в феврале-марте, в дальнейшем температура с небольшими колебаниями остаётся практически неизменной до мая, что свидетельствует о термостатировании воздуха пещеры в связи с отсутствием или значительным ослаблением проникновения воздуха в пещеру. К этому времени завершается период весеннего реверса и тёплый воздух с поверхности начинает проникать в пещеру, что приводит к возрастанию температуры, достигающей своего максимального значения $13,5^{\circ}\text{C}$ в сентябре-октябре. Максимум температуры воздуха пещеры смещён на два месяца относительно максимума температуры дневной поверхности, что объясняется особенностями воздухообмена и осенним реверсом.

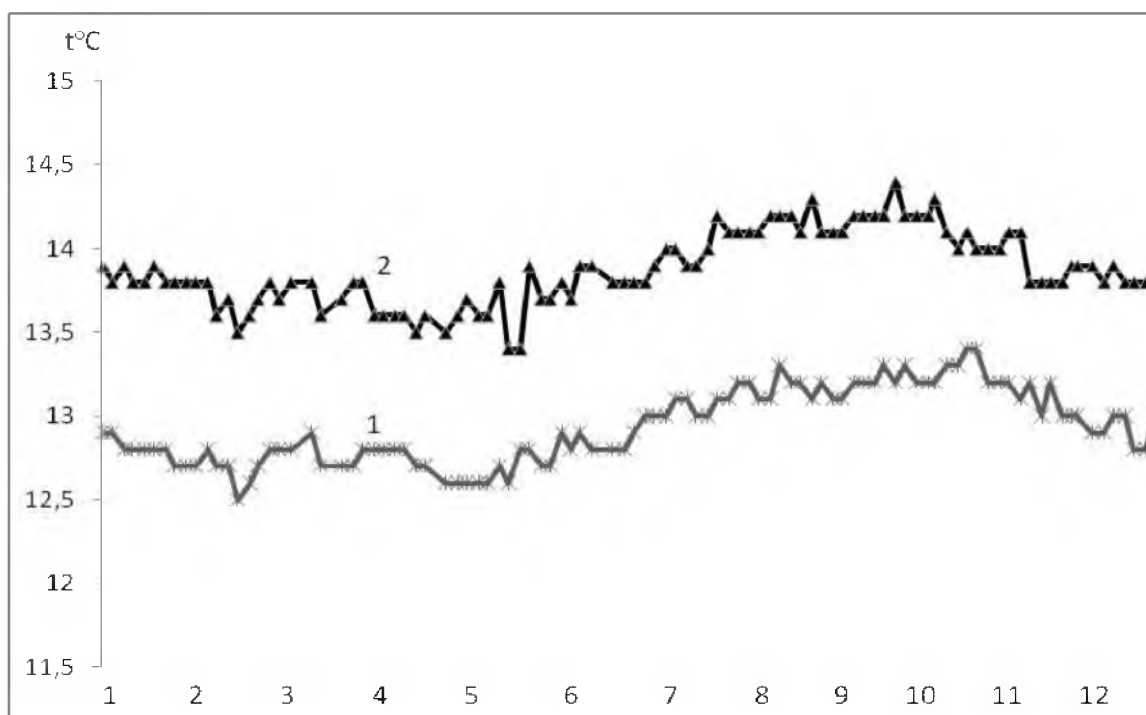


Рис.3.Сезонное распределение температуры внутри пещеры (1-первый зал, 2-восьмой зал).

Температура окружающих стен карстовых полостей оказывает существенное влияние на влажность воздуха и конденсацию водяных паров.

В южной обводненной части Новоафонской пещерной системы ход влажности характеризуется незначительными колебаниями. Соответственно распределению температуры, самый влажный слой воздуха отмечается вдоль дна пещеры, а выше влажность уменьшается.

Колебания влажности воздуха определяются ходом температуры воздуха внешней среды и особенностями проветривания пещеры.

В Новом Афоне абсолютная влажность воздуха наибольшая в июле-августе (21,2-22,2 мб), наименьшая в январе-феврале (6,4-7,2 мб), среднегодовые показатели приближаются друг к другу (13,1-14,2 мб на поверхности, 13,5-14,2 мб в пещере). Годовая амплитуда абсолютной влажности на поверхности – 12-15 мб, в пещере – 0,5-0,7 мб. Максимум влажности воздуха (15,6 мб) отмечено в зале Апсны, в остальных же частях пещеры колеблется в пределах 13,0-14,5 мб.

Относительная влажность воздуха в южных залах составляет 98-100%. На отдельных участках пещерной системы выпадение конденсационных осадков имеет систематический характер. По данным [7] количество конденсационной влаги в Новоафонской пещере (в тёплый период) составляет 16900 тонн. Конденсационной коррозии принадлежит незначительная роль в формировании карстовых полостей.

Относительная влажность воздуха в Новоафонской пещере незначительно меняется при удалении от входа. Влажность больше в зимние

месяцы (98%) и меньше летом (96%). В пещере годовая амплитуда колебания влажности составляет 2-5%. Суточный ход влажности в летний период (рис.4) имеет характерное понижение с 12 до 15 часов, соответствующее максимальным значениям температуры дневной поверхности.

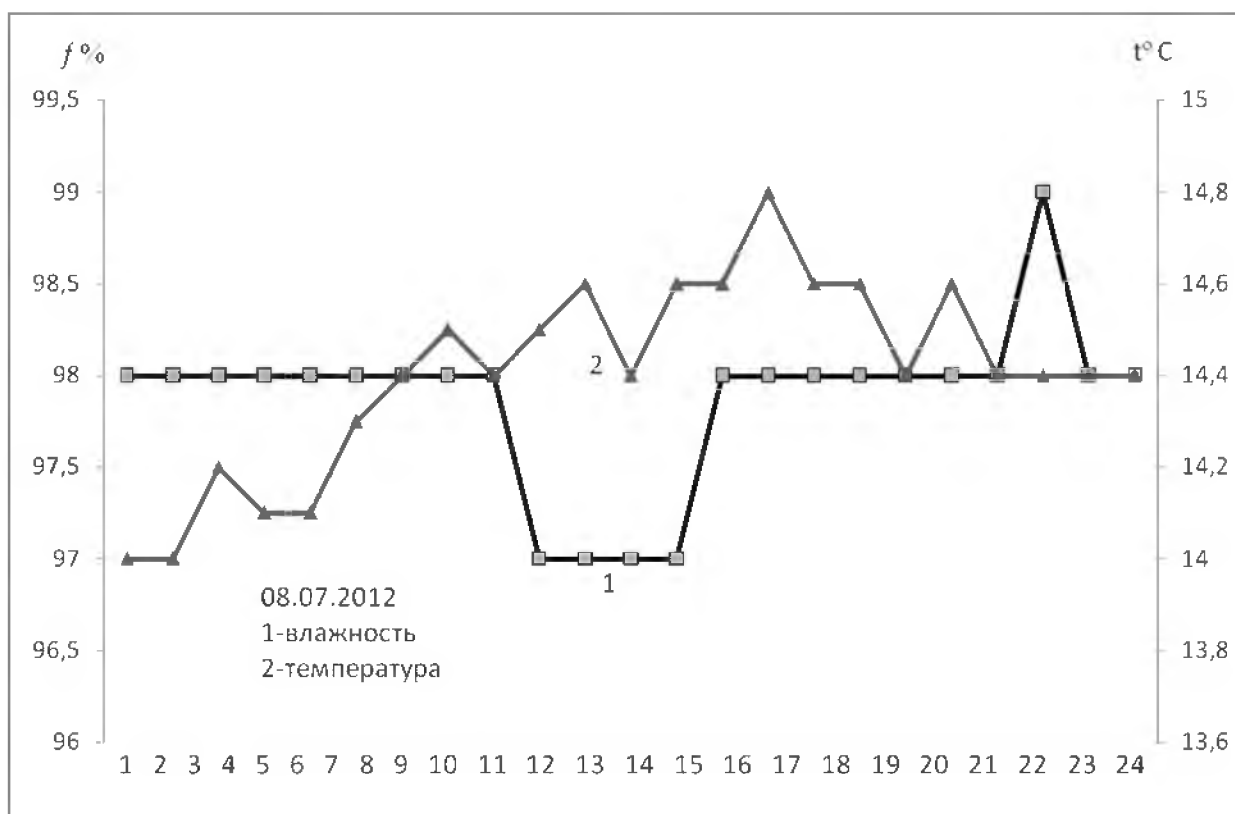


Рис.4. Суточный ход влажности (1) и температуры (2) внутри пещеры

Движение воздуха в пещере

Пещера представляет собой весьма сложную вентиляционную систему с множеством входов и выходов, по которым воздух поступает или выносятся из пещеры.

Воздух в карстовых пустотах находится в движении под влиянием естественной тяги, циркуляции подземных вод и воздействия ветров. Поэтому причины, вызывающие движение воздуха в карстовых полостях делят на статические и динамические.

Изменение количества воздуха, исходящего из штольни показывает, что эта величина является нестабильной и зависит от величины естественной тяги. В связи с этим можно заключить, что движение воздуха в южной части пещеры, в основном происходит под влиянием статических причин.

Количество воздуха, исходящего из зала «Апсны» характеризуется значительной пульсацией, что связано с преобладанием в северной части пещеры динамического воздействия.

В результате барометрических и газово-воздушных съёмок [5,6], удалось выявить и закартировать ранее неизвестные очаги трещиноватости

внутри пещеры, через которые происходит воздухообмен с внешним миром. Составленные на основе этих исследований картосхемы дают представление о предполагаемых направлениях воздушных токов по коридорам пещеры. Например, в августе, при максимальной разности температур воздуха в пещере и вне её полным ходом работают всасывающие трещины, и господствует тяга к залам пещеры, в декабре – наоборот, те же ходы представляются в качестве дующих на дневную поверхность.

Особый интерес вызвало изучение количества воздуха, поступающего под землю за единицу времени. В целом, режим проветривания пустот носит сезонный характер и в существенной мере зависит от градиентов температуры с дневной поверхностью. Количество поступающего в пещеру воздуха в среднем составляет 1580 м³/мин.

Существенное влияние на движение воздуха под землей 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. 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, 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 тех 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°С), движение воздуха в гигантских залах практически не замечается и воздухообмен происходит только лишь на основе термической циркуляции [12]. Самое ветреное место во всей Новоафонской пещерной системе — это древний сифонный канал, — «Ворота Арсена», 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	1,6	0,55	-0,6	-0,55	-1,2	-0,85	-0,05	-0,85	-0,5	-0,2	0,6	1,55
Δt	6,5	2	-5,5	-5,6	-7,5	-9	-7,5	-10	-9,5	-5,5	0	3

Изменение скорости воздушного потока в залах пещеры, наиболее интенсивно подверженных воздухообмену с дневной поверхностью проведенные в 2004-2012гг. [8-11], подтвердили наличие реверса в осенний и весенний периоды. При этом максимальные скорости потоков (4-5м/с) наблюдается в мае, августе и январе, когда разности температур дневной поверхности и внутренней среды – максимальны.

Сезонное распределение основных газовых компонентов в НАП

Кислород. В 2010 году было начато исследование газового состава воздуха Новоафонской карстовой пещеры с использованием промышленных газоанализаторов типа ПГА-7. Пробы воздуха отбирались как вдоль главной пешеходной магистрали пещеры, так и в отдалённых залах. Концентрация кислорода в пещере непосредственно связана с его содержанием на дневной поверхности и изменяется синхронно с ней, оставаясь в пределах нормы во все сезоны года (рис. 5). Это означает, что источником O_2 является дневная поверхность, при этом концентрация кислорода в приземном воздухе испытывает существенные колебания по сезонам, что связано как с фотосинтезом зелёных растений, так с адвективным переносом воздушных масс. Ограниченный воздухообмен с поверхностью лимитирует поступление кислорода внутрь пещеры и тем самым сглаживает колебания его концентрации. В обоих случаях прослеживается явная тенденция повышения концентрации O_2 от весны к осени, что по-видимому, связано с нарастанием интенсивности фотосинтеза в указанный период.

Углекислый газ. Наиболее изменчивым компонентом пещерного воздуха является углекислый газ. 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).

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.

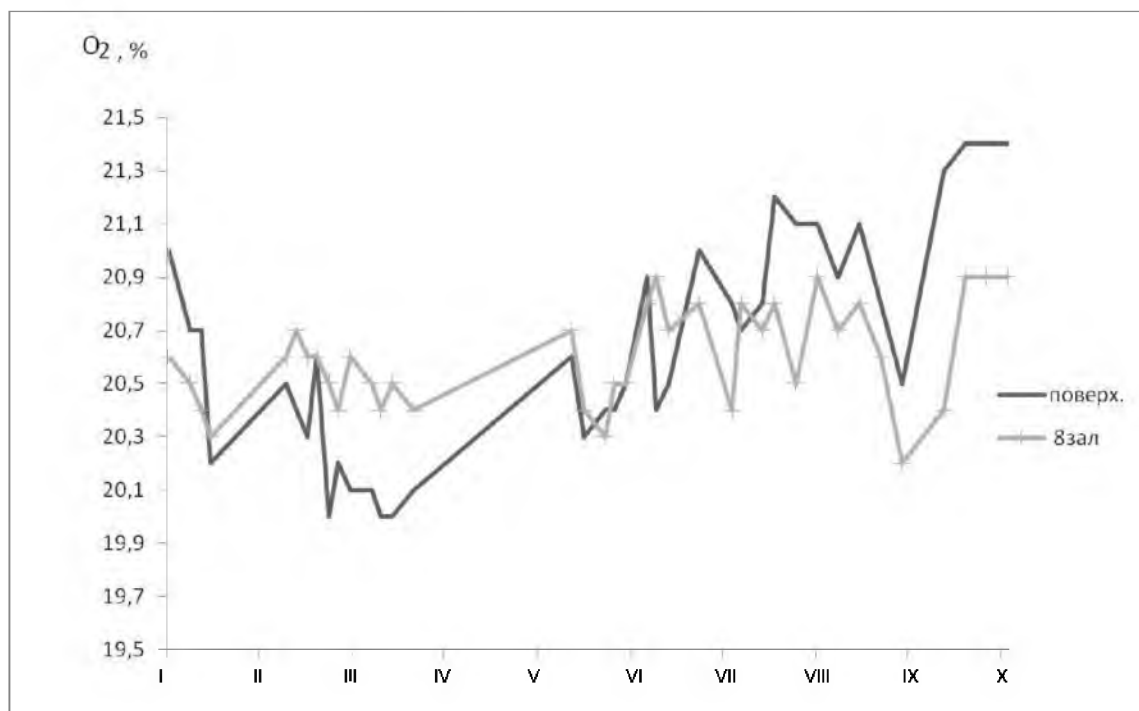


Рис. 5. Сезонное изменение объёмной концентрации кислорода на поверхности и в пещере

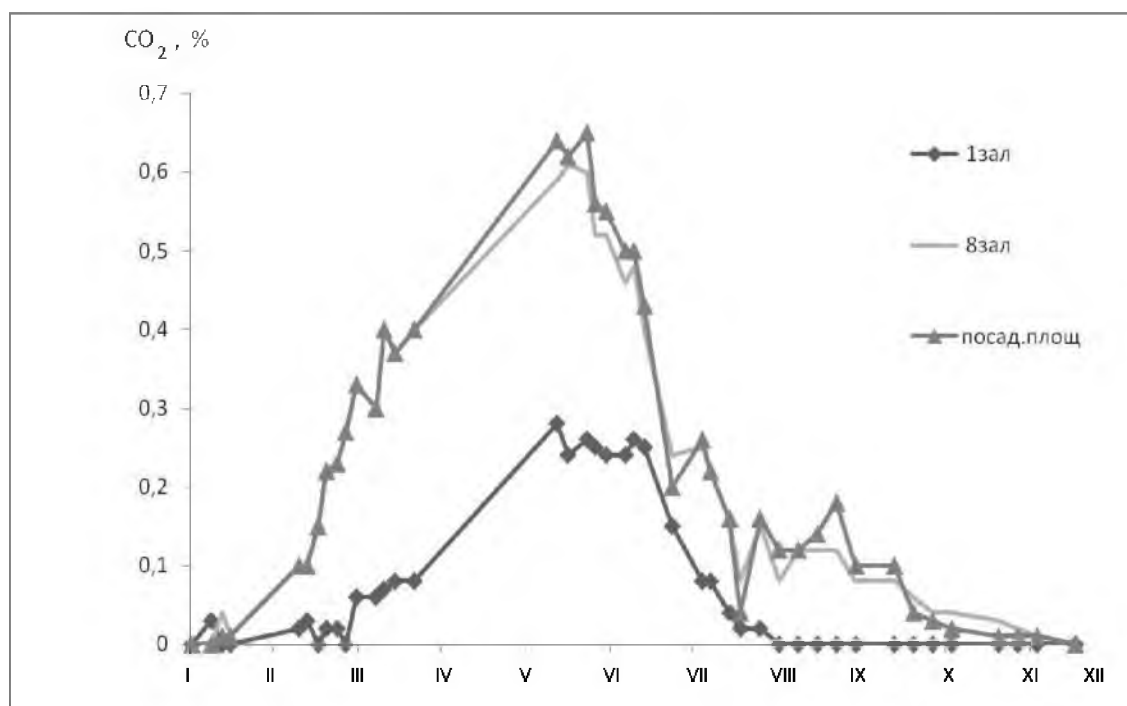


Рис.6. Сезонное изменение содержания углекислого газа в пещере

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 CO_2 , по всей вероятности, связан с обилием натечно-капельных агрегатов, точнее, частичным улетучиванием углекислого газа из эпизодически проникающих в ту часть пещеры трещино-карстовых вод.

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, скольнибудь, 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.

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 ее.

Сезонное распределение кислорода O_2 находится в пределах 19,9-21,3%, что соответствует норме.

Слабый воздухообмен и его практически полное отсутствие в весенний и осенний сезоны ограничивают количество туристов, допускаемых в пещеру.

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 и интенсивным поступлением в пещеру подземных вод, обогащённых углекислым газом ювенальных вод.

Список литературы

1. Гамкрелидзе П.Д. Геология СССР. Грузинская ССР. – М., 1964, 360 с.
2. Гвоздецкий Н.А. Проблемы изучения карста и практика. – М., 1977. 392 с.
3. Максимович Г.А. Основы карстоведения. – Пермь, 1963. 260 с.
4. Супаташвили Г.Д. Некоторые закономерности формирования химического состава атмосферных осадков в Грузинской ССР / Тр. ин-та Океанологии. – М., 1973, т.63. С.72-91.
5. Тинтилозов З.К. Карстовые пещеры Грузии. – Тбилиси, 1976. 276 с.
6. Тинтилозов З.К. Новоафонская пещерная система. - Тбилиси, 1983. 149 с.
7. Цикаришвили К.Д. Изучение микроклимата Ново-Афонской пещеры. Пещеры Грузии. - Тбилиси, 1978. 150 с.
8. Экба Я.А., Дбар Р.С., Ахсалба А.К. Исследования загрязнения атмосферных осадков на территории Абхазии / Материалы 2-ой науч.-пр. конф. «Актуальные проблемы экологии». – Майкоп, 2002. С.76-78.
9. Экба Я.А., Дбар Р.С. Особенности антропогенного воздействия на экосистемы карстовых пещер Абхазии / Тр. междунар. конф. «Горные экосистемы и их компоненты». – Нальчик, т.II, 2005. С.187-192.
10. Экба Я.А., Дбар Р.С. Экологическая климатология и природные ландшафты Абхазии. - Сочи, 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., 2007. С.195-202.

12. Эмба Я.А., Ахсалба А.К., Ларченко И.Н., Закирян Р.Г. Некоторые особенности моделирования воздухообмена карстовых пещер // Доклады АМАН. – Нальчик, 2011, том 13, №2, С 122-128.