

Сравнительный анализ климатических изменений в Антарктике и Арктике

П. В. Храпов, В. В. Канибер

Аннотация—В статье методом наименьших квадратов в классе линейных функций на основе базы исторических данных Facebook по погоде “The Global Climate Statistical Analysis Library (GCSAL)” обработаны данные наблюдения метеорологических станций в Антарктике вблизи Атлантического побережья и Арктике на острове Южный за период 40 лет, выявлена тенденция в сторону потепления климата. Построены трендовые прямые по среднегодовой температуре, давлению и скорости ветра. Дан трендовый прогноз дальнейшего изменения климата на пять лет. По графикам линейных трендов на высоте 5 км в Антарктике видно постепенное увеличение температуры, примерно на 2-3 градуса за 40 лет. На высоте свыше 10 км наблюдается понижение среднегодовой температуры, примерно на 3-4 градуса за 40 лет. Это косвенно свидетельствует о том, что над Антарктикой в промежутке между 5 и 10 км существует экранирующий слой, блокирующий дальнейшее распространение тепла от поверхности Земли. В Арктике на высоте до 5 км линейный тренд показывает повышение температуры на 3-4 градуса. На высоте свыше 10 км наблюдается также повышение среднегодовой температуры, примерно на 1-2 градуса. Поэтому экранирующий слой на высоте 5-10 км либо слабый, либо совсем отсутствует. Линейные тренды скорости ветра разных высот пересекаются, что косвенно может говорить о серьезных изменениях в атмосферной динамике. Выявлена большая корреляция значений среднегодовых температур, давления, скорости ветра на различных высотах.

Ключевые слова—климат; глобальное потепление; прогноз; Антарктика; Арктика; Северный полюс; Южный полюс; метод наименьших квадратов; класс линейных функций.

I. ВВЕДЕНИЕ

Климат – один из важнейших факторов, влияющий на все живые организмы, обитающие на Земле, в

частности на людей [1]. Климатические изменения имеют колоссальное влияние на жизнедеятельность человека. Изменения влекут за собой различные стихийные бедствия, от которых страдает инфраструктура. Глобальное изменение климата ведет к необратимым последствиям по всей планете. Важно выявить закономерности изменений. Как правило, они происходят постепенно, и хорошо описываются математическими моделями. Очень важным является наблюдение и прогнозирование изменений климата на полюсах, так как они вносят глобальный вклад в изменение климата на Земле. Тренд изменений климата на полюсах Земного шара хорошо улавливается аппроксимацией методом наименьших квадратов среднегодовой температуры за 30-40 лет полиномом первой степени [2]. Мы рассмотрим метеостанции вблизи каждого из полюсов: на Северном полюсе на острове Южный с координатами 72.3 с. ш. 52.5 в. д., и на Южном полюсе вблизи Атлантического побережья Антарктиды с координатами 75.4 ю. ш. 26.2 з. д. На основе базы исторических данных Facebook по погоде “The Global Climate Statistical Analysis Library (GCSAL)” [3] методом наименьших квадратов в классе линейных функций обработаны данные наблюдения этих метеорологических станций. Аппроксимация сделана на множестве порядка 15000 тысяч точек (число дней за рассматриваемый период). Построены графики изменения среднегодовой температуры, давления и скорости ветра от уровня земли до высоты 25 км над уровнем моря.

II. ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

По графикам линейных трендов (рис. 1) на высоте 5 км в Антарктике наблюдается постепенное увеличение температуры, примерно на 2-3 градуса за 40 лет. На высоте свыше 10 км наблюдается понижение среднегодовой температуры, примерно на 3-4 градуса за 40 лет. Это явление может говорить нам о том, что над Антарктикой в промежутке между 5 и 10 км существует экранирующий слой, блокирующий дальнейшее распространение тепла от поверхности Земли.

Статья получена 28 июня, 2019.

П. В. Храпов – Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана, 105005, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6269-0727>, e-mail: khrapov@bmstu.ru.

В. В. Канибер – Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана, 105005, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0846-6641>, e-mail: kanibervolodya@bk.ru.

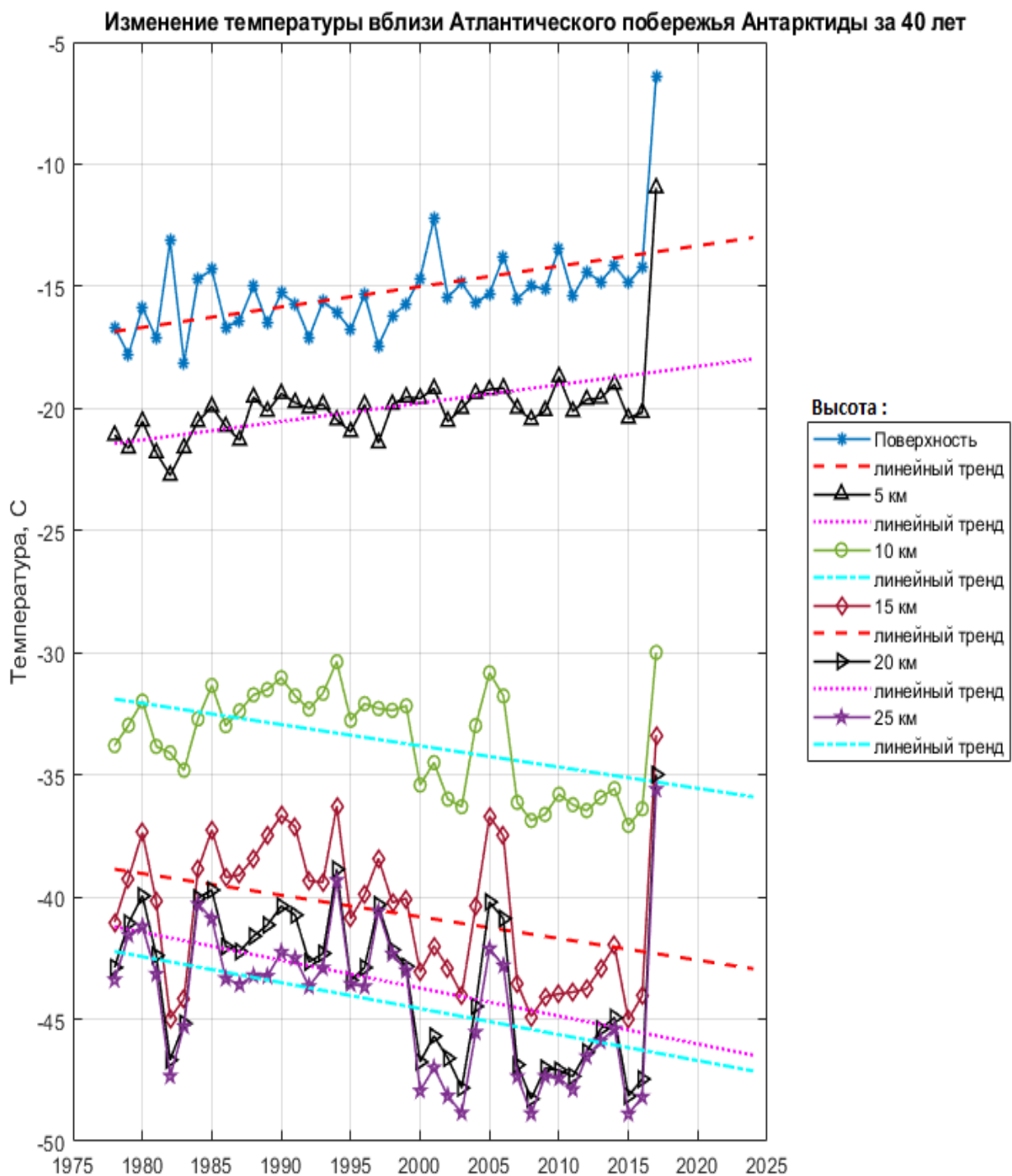


Рис. 1. Графики изменения среднегодовой температуры в Антарктиде за 40 лет на уровне поверхности земли, 5 км, 10 км, 15 км, 20 км, 25 км и линейного тренда с прогнозом на 5 лет.

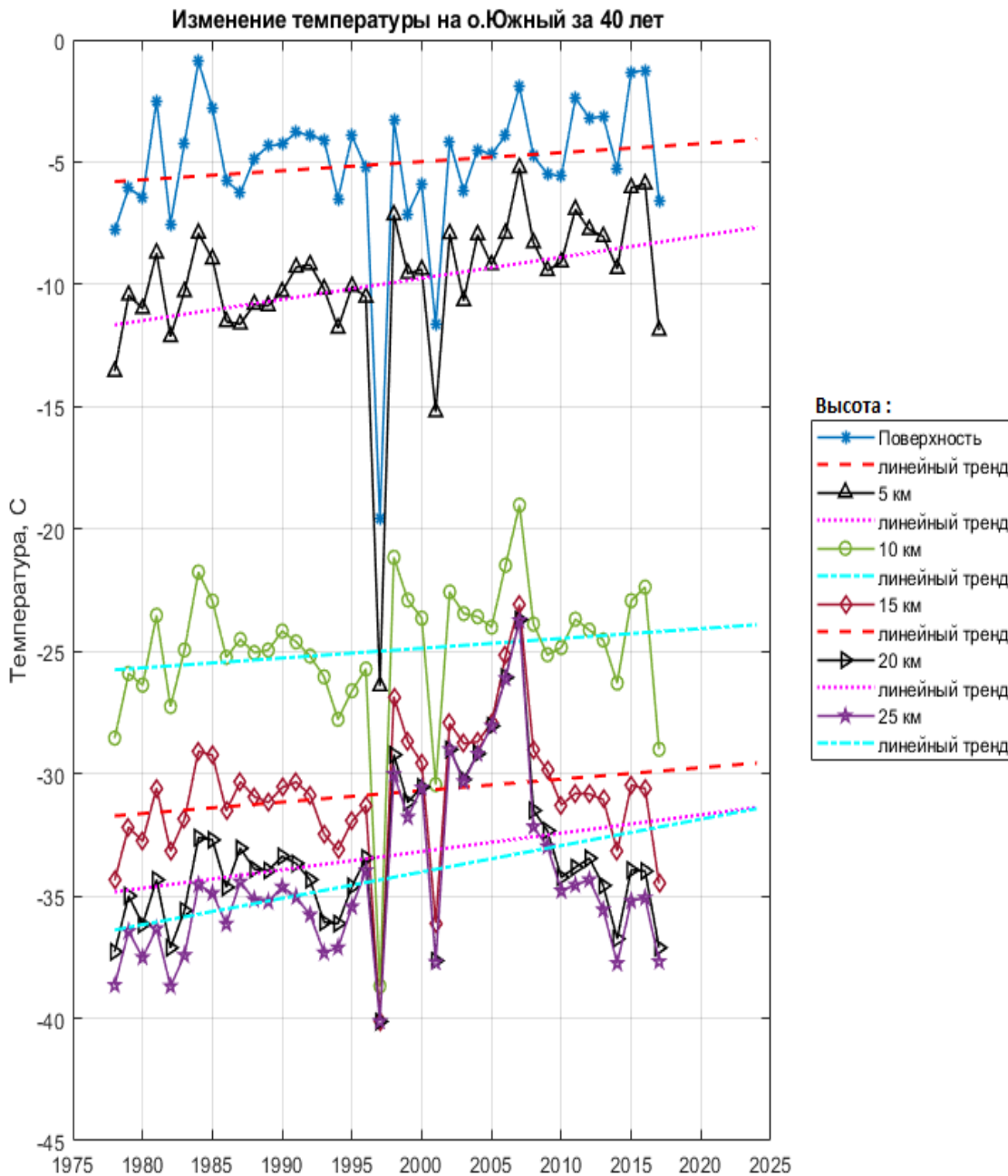


Рис. 2. Графики изменения среднегодовой температуры в Арктике за 40 лет на уровне поверхности земли, 5 км, 10 км, 15 км, 20 км, 25 км и линейного тренда с прогнозом на 5 лет.

На рис. 2 из графиков линейных трендов на высоте до 5 км в Арктике мы видим повышение температуры на 3-4 градуса. На высоте свыше 10 км наблюдается также повышение среднегодовой температуры, примерно на 1-2 градуса. Это свидетельствует о наличии слабого экранирующего слоя на высоте 5-10 км, либо о его полном отсутствии [4].

Также над Антарктикой наблюдается резкий рост температуры в последний год на всех высотах. Над Арктикой наоборот, было резкое падение, но оно не сильно отразилось на тренде потепления [17].

Точные численные значения среднегодовых изменений температуры даны в таблице 1.

Таблица 1. Температура, полученная на основе линейного тренда за 40 лет, и прогноз на 5 лет вперед.

Высота над уровнем моря	Антарктика			Арктика		
	40 лет назад	Настоящее время	Прогноз через 5 лет	40 лет назад	Настоящее время	Прогноз через 5 лет
поверхность	-16.81	-13.39	-13.04	-5.80	-4.29	-4.11
5 км	-21.44	-18.32	-18.01	-11.65	-8.11	-7.67
10 км	-31.90	-35.49	-35.86	-25.74	-24.10	-23.91
15 км	-38.86	-42.53	-42.94	-31.72	-29.81	-29.57
20 км	-41.21	-45.89	-46.47	-34.83	-31.73	-31.41
25 км	-42.23	-46.58	-47.12	-36.39	-31.98	-31.48

III. ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

В Антарктике на уровне поверхности Земли (рис. 3) атмосферное давление в течение 40 лет постепенно падало, что может являться следствием увеличения температуры. На высоте 5 км давление повышается (рис. 3). Это может свидетельствовать об изменении состава воздуха, которое влечет за собой его утяжеление. Такой воздух, насыщенный парниковыми газами (водяными парами, углекислым газом), образует экранирующий тепло слой, который имеет свойство дополнительно поглощать солнечные лучи в дальнем инфракрасном диапазоне, отраженные от поверхности Земли, и сильнее нагреваться. В стратосфере наблюдается тенденция понижения атмосферного давления, которая становится все более очевидной при удалении от поверхности Земли.

На уровне поверхности Земли в Арктике (рис. 4) давление понижается, а на высоте 5 км наблюдается

аномальный рост. Из-за истончения мерзлоты в Арктике выделяется большое количество парниковых газов (метана), который усиливает рост температуры [9], [21]. В стратосфере происходит замедленный рост давления. Это может означать, что над Северным Полюсом все же есть экранирующий тепло слой, но он совсем незначительный.

Графики атмосферного давления на высоте 10-25 км демонстрируют нам сильные перепады давления на обоих полюсах в 2000 и 2005 гг. Это могло быть вызвано образованием озоновой дыры в 2000 году и увеличением выбросов загрязняющих веществ в атмосферу до 2005 года [10], [16-17].

Точные численные значения среднегодовых изменений давления отражены в таблице 2.

Таблица 2. Давление ($\times 10^4$ Па), полученное на основе линейного тренда за 40 лет, и прогноз на 5 лет вперед.

Высота над уровнем моря	Антарктика			Арктика		
	40 лет назад	Настоящее время	Прогноз через 5 лет	40 лет назад	Настоящее время	Прогноз через 5 лет
поверхность	9.62	9.21	9.16	9.89	9.53	9.50
5 км	7.69	7.93	7.96	8.20	8.67	8.71
10 км	6.25	5.57	5.50	6.40	6.42	6.43
15 км	5.28	4.51	4.43	5.46	5.55	5.56
20 км	4.85	3.74	3.63	4.89	5.20	5.23
25 км	4.58	3.34	3.20	4.51	5.13	5.20

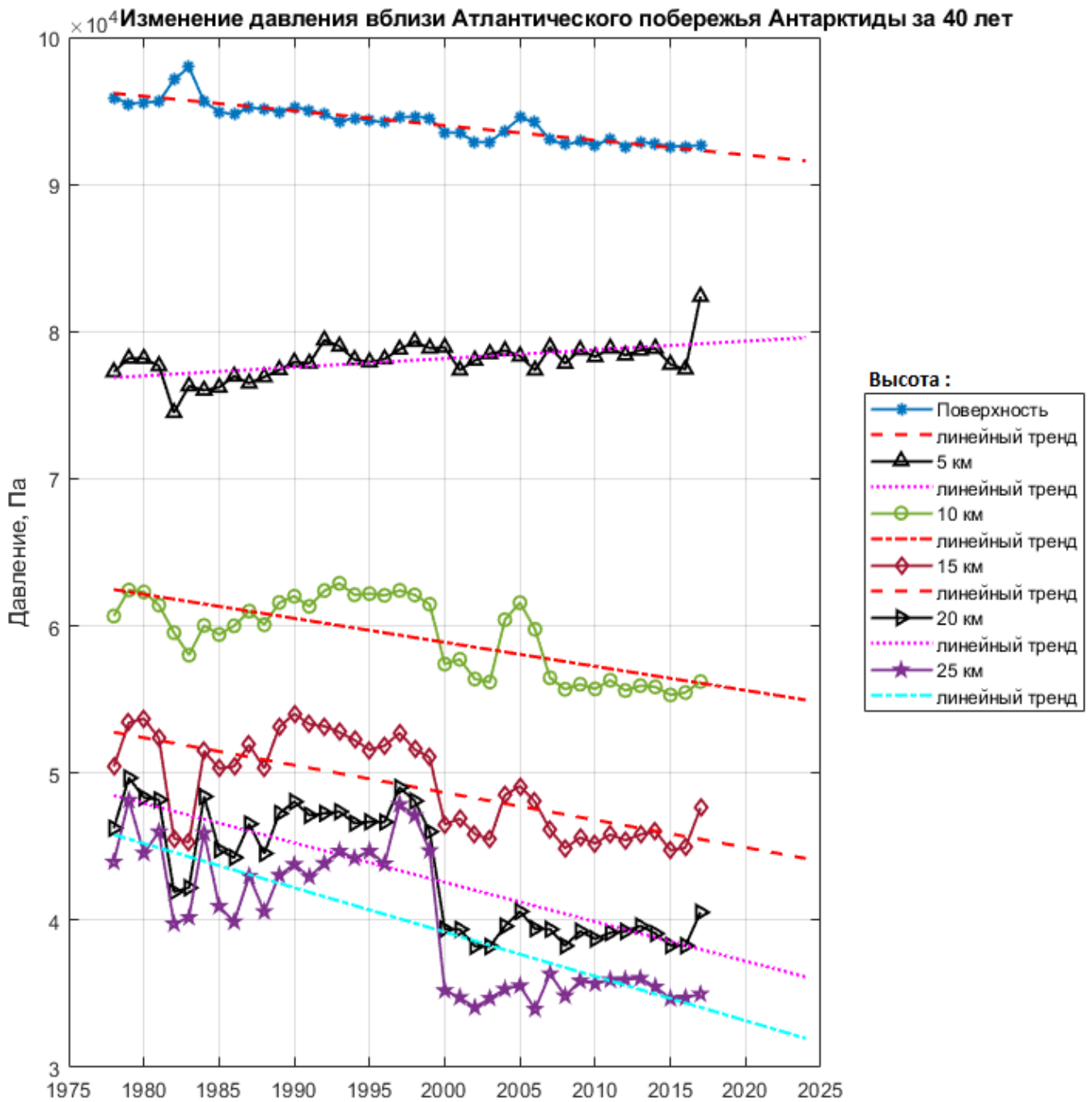


Рис. 3. Графики среднегодового давления в Антарктике на уровне поверхности земли, 5 км, 10 км, 15 км, 20 км, 25 км и линейного тренда с прогнозом на 5 лет.

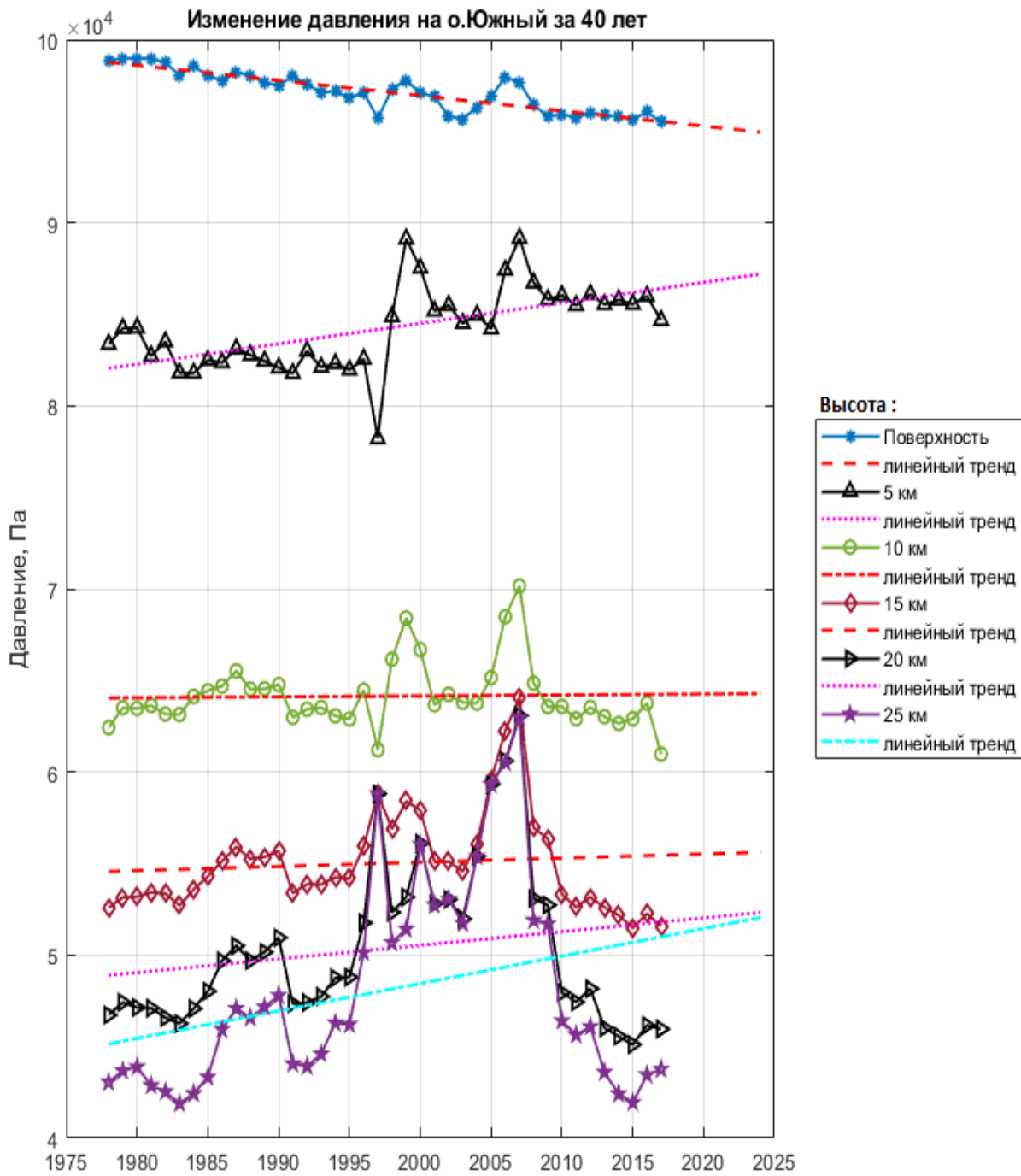


Рис. 4. Графики среднегодового давления в Арктике на уровне поверхности земли, 5 км, 10 км, 15 км, 20 км, 25 км и линейного тренда с прогнозом на 5 лет.

IV. ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА

Динамика изменения скорости ветра на различных высотах отражена на рис. 5, 6.

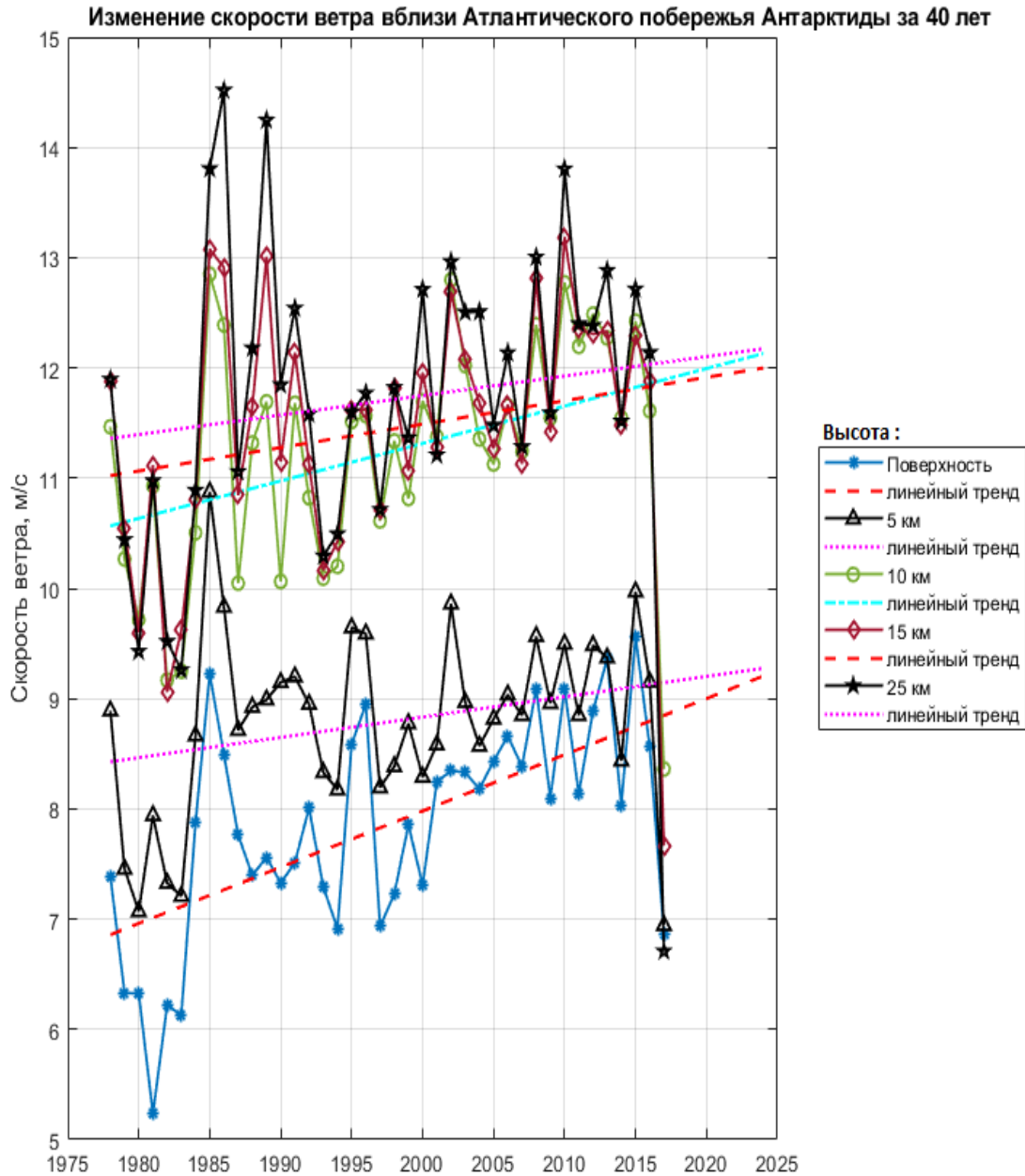


Рис. 5. Графики среднегодовой скорости ветра в Антарктиде на уровне поверхности земли, 5 км, 10 км, 15 км, 25 км и линейного тренда с прогнозом на 5 лет. График среднегодовой скорости ветра на высоте 20 км практически совпадает с графиком на высоте 25 км.

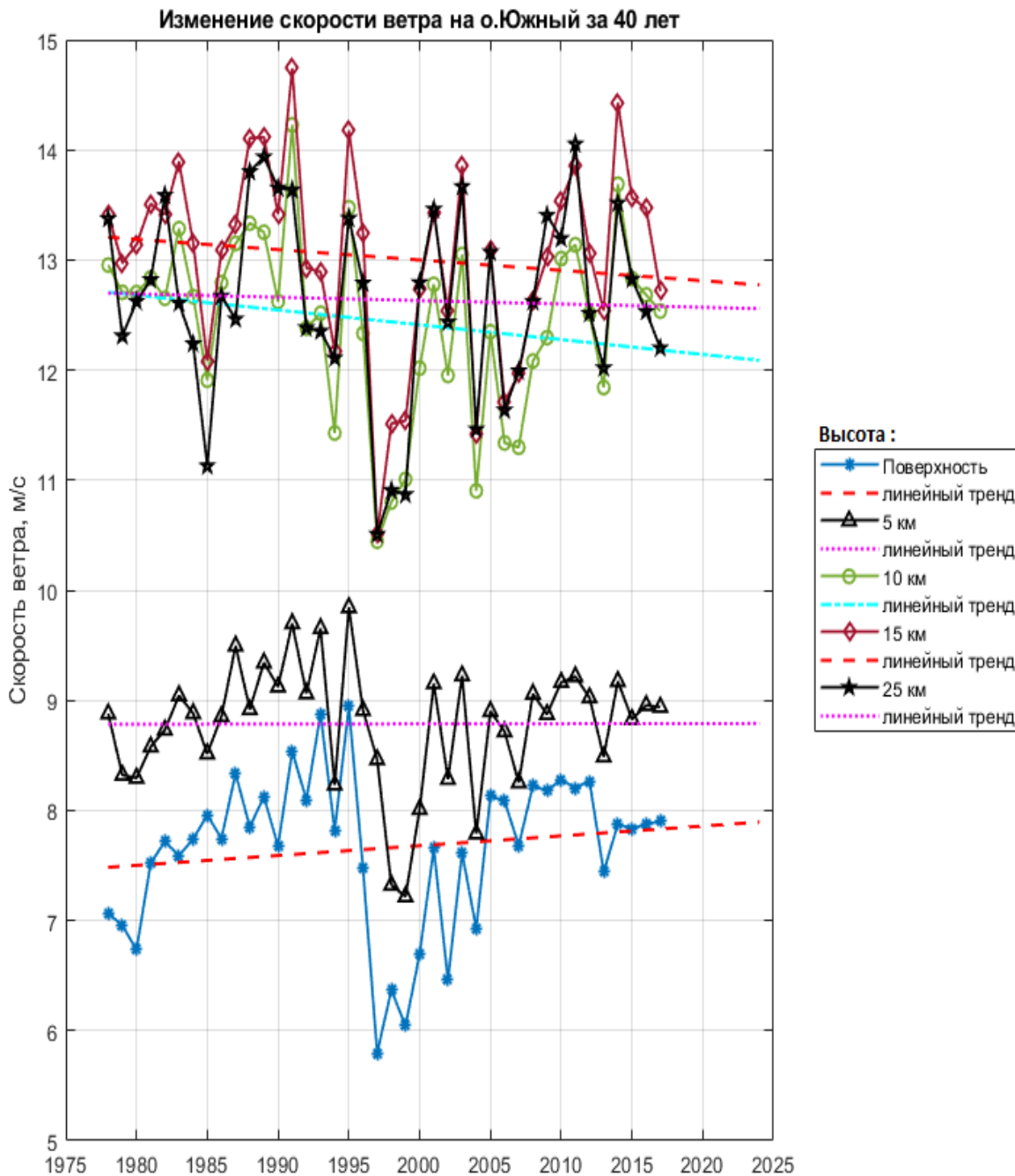


Рис. 6. Графики среднегодовой скорости ветра в Арктике на уровне поверхности земли, 5 км, 10 км, 15 км, 25 км и линейного тренда с прогнозом на 5 лет. График среднегодовой скорости ветра на высоте 20 км практически совпадает с графиком на высоте 25 км.

Графики линейного тренда показывает усиление среднегодовой скорости ветра во всех слоях атмосферы Антарктики за последние 40 лет (рис. 5). Наиболее сильные изменения происходят на поверхности Земли.

В Арктике (рис. 6) рост скорости ветра наблюдается на высоте до 5 км, а затем он сменяется незначительным понижением.

Нужно отметить, что линейные тренды разных высот пересекаются, что косвенно может говорить о

серьезных изменениях в атмосферной динамике. Для более точной картины происходящих изменений в атмосферных потоках нужно построить трехмерную модель атмосферы, и смоделировать эти потоки.

Точные численные значения среднегодовых изменений давления отражены в таблице 3.

Таблица 3. Скорость ветра (м/с), полученная на основе линейного тренда за 40 лет, и прогноз на 5 лет вперед.

Высота над уровнем моря	Антарктика			Арктика		
	40 лет назад	Настоящее время	Прогноз через 5 лет	40 лет назад	Настоящее время	Прогноз через 5 лет
поверхность	6.86	8.97	9.18	7.48	7.85	7.89
5 км	8.43	9.19	9.27	8.78	8.79	8.79
10 км	10.57	11.97	12.11	12.71	12.16	12.09
15 км	11.02	11.89	12.00	13.20	12.82	12.77
25 км	11.36	12.09	12.17	12.70	12.57	12.56

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На графиках рис.1 - 6 видна большая корреляция значений среднегодовых температур, давления и скорости ветра на различных высотах.

Среднегодовая температура в Антарктике и Арктике, а значит, и всей планеты в целом, постепенно повышается [16-20]. Из-за изменений климата увеличивается количество природных катаклизмов. Глобальное потепление вызывает изменения почв в северных широтах. Проводится колоссальное количество исследований данных изменений в областях вечной мерзлоты [11]. Уменьшается площадь поверхности, занимаемая льдом, тают ледники и, как следствие, повышается уровень мирового океана [25]. Уничтожается естественная среда обитания многих видов животных и растений по всей планете [12-14], [22-24]. Чтобы избежать необратимых последствий для всей планеты, человечеству важно остановить тенденцию к потепления.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1]Ревич Б. А. Изменение климата и угроза здоровью населения России. 2004г, с. 63.
- [2]Кирсанова В.А., Храпов П.В. Прогнозирование изменений климата России на основе многолетних наблюдений. Актуальные проблемы современной науки, № 4, 2017, С. 280-286.
- [3]The Global Climate Statistical Analysis Library (GCSAL). <https://github.com/facebookresearch/GCSAL> (дата обращения: 20.06.2019).
- [4]Косовский Д.В., Храпов П.В. Прогнозирование климатических изменений в Байкальском регионе. Актуальные проблемы современной науки, № 6, 2018, С. 222-233.
- [5]О.И.Хуриганова, В.А.Оболкин, Л.П.Голобокова, Т.В.Ходжер, В.Л.Потемкин. Озон, оксиды

серы и азота в приземной атмосфере на Байкальской природной территории. Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле», 2018, Т.24, С.111-123.

- [6]Gbangou, T., Sylla, M.B., Jimoh, O.D. et al. Assessment of projected agro-climatic indices over Awun river basin, Nigeria for the late twenty-first century/ Climatic Change , october, 2018, <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2295-у>.
- [7]Woolway, R.I., Simpson, J.H., Spiby, D. et al. Physical and chemical impacts of a major storm on a temperate lake: a taste of things to come? Climatic Change, october, 2018, <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2302-3>.
- [8]Гласко А.В., Калмыков А.М., Мецгерин И.В., Федотов А.А., Храпов П.В. Замораживание грунтов оснований геотехнических объектов в криолитозоне с помощью вертикальных термостабилизаторов. Инженерный журнал: наука и инновации, 2012, вып. 7(7), URL: <http://engjournal.ru/catalog/appmath/hidden/305.html>
- [9]EPA United States Environmental Protection Agency "Methane and Black Carbon Impacts on the Arctic: Communicating the Science", September 2016 URL:https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/arctic-methane-blackcarbon_communicating-the-science.pdf
- [10]Исаев А. А. Экологическая климатология. М.: Научный мир, 2003, с. 472.
- [11]N. I. Sidnyaev, Yu. S. Mel'nikova, P. V. Khrapov, A. V. Glasko. Impact of the temperature regime of cryolithozone on the safety of basements/ Journal of Machinery Manufacture and Reliability , May 2012, Volume 41, Issue 3, pp 252-258 .
- [12]"Global Security, Climate Change, and the Arctic" – 24-page special journal issue (Fall

- 2009), Swords and Ploughshares, Program in Arms Control, Disarmament, and International Security (ACDIS), University of Illinois URL : <https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/15118/Global-Security-Climate-Change-and-the-Arctic.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [13] Shepherd, A.; Wingham, D. (2007). "Recent Sea-Level Contributions of the Antarctic and Greenland Ice Sheets". *Science*. 315 (5818):1529-1532
URL:Bibcode:2007Sci...315.1529S. doi:10.1126/science.1136776. PMID 17363663
- [14] Schneider et al., Chapter 19: Assessing Key Vulnerabilities and the Risk from Climate Change, Section 19.3.4: Ecosystems and biodiversity, in IPCC AR4 WG2 2007 URL: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch19s19-3-4.html
- [15] Алексеев, Г. В., Радионов, В. Ф., Александров, Е. И., Иванов, Н. Е., & Харланенкова, Н. Е. (2010). Климатические изменения в Арктике и северной полярной области. Проблемы Арктики и Антарктики, (1), 67-80.
- [16] Turner, J., Overland, J. E., & Walsh, J. E. (2007). An Arctic and Antarctic perspective on recent climate change. *International Journal of Climatology*, 27(3), 277-293.
- [17] Marshall, J., Armour, K. C., Scott, J. R., Kostov, Y., Hausmann, U., Ferreira, D., ... & Bitz, C. M. (2014). The ocean's role in polar climate change: asymmetric Arctic and Antarctic responses to greenhouse gas and ozone forcing. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 372(2019), 20130040.
- [18] Maxwell, J. B., & Barrie, L. A. (1989). Atmospheric and climatic change in the Arctic and Antarctic. *Ambio*, 42-49.
- [19] Overland, J., Turner, J., Francis, J., Gillett, N., Marshall, G., & Tjernström, M. (2008). The Arctic and Antarctic: Two faces of climate change. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 89(19), 177-178.
- [20] Walsh, J. E. (2009). A comparison of Arctic and Antarctic climate change, present and future. *Antarctic Science*, 21(3), 179-188.
- [21] Semiletov, I., Makshtas, A., Akasofu, S. I., & L Andreas, E. (2004). Atmospheric CO2 balance: The role of Arctic sea ice. *Geophysical Research Letters*, 31(5).
- [22] Cavalieri, D. J., Parkinson, C. L., & Vinnikov, K. Y. (2003). 30-Year satellite record reveals contrasting Arctic and Antarctic decadal sea ice variability. *Geophysical Research Letters*, 30(18).
- [23] Johannessen, O. M., Bengtsson, L., Miles, M. W., Kuzmina, S. I., Semenov, V. A., Alekseev, G. V., ... & Hasselmann, K. (2004). Arctic climate change: observed and modelled temperature and sea-ice variability. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 56(4), 328-341.
- [24] Weller, G. (1998). Regional impacts of climate change in the Arctic and Antarctic. *Annals of Glaciology*, 27, 543-552.
- [25] Parkinson, C. L., & Cavalieri, D. J. (2012). Antarctic sea ice variability and trends, 1979-2010.

Comparative analysis of climate change in the Antarctic and Arctic

P. V. Khrapov, V.V. Kaniber

Abstract— In this paper, the data of observations of meteorological stations in the Antarctic near the Atlantic coast and the Arctic on the South Island for a period of 40 years based on the Facebook database of historical data on weather “The Global Climate Statistical Analysis Library (GCSAL)” is processed using the least squares method in the class of linear functions. A trend towards climate warming is revealed. Trend lines on average annual temperature, pressure and wind speed are constructed. A trend forecast of further climate change for five years is given. According to the linear trends plots at the height of 5 km, a gradual increase in temperature is visible in the Antarctic, approximately by 2-3 degrees in 40 years. At the height over 10 km, a decrease in average annual temperature, approximately by 3-4 degrees every 40 years, is observed. It indirectly demonstrates that in an interval between 5 and 10 km over the Antarctic, there is a shielding layer blocking further spread of heat from the Earth's surface. In the Arctic at the height up to 5 km the linear trend shows temperature increase by 3-4 degrees. At the height over 10 km, an increase in average annual temperature, approximately by 1-2 degrees, is also observed. Therefore, the shielding layer at the altitude of 5-10 km is either weak or completely absent. The linear trends of wind speed at different heights intersect, what can indirectly speak about serious changes in atmospheric dynamics. A large correlation was found between the values of average annual temperature, pressure, and wind speed at various altitudes.

Keywords—climate; global warming; forecast; Antarctic; Arctic, North Pole; South Pole; the least squares method; linear function class.

REFERENCES

- [1] Revich B. A. *Izmenenie klimata i ugroza zdorov'ju naselenija Rossii*. 2004g, s. 63.
- [2] Kirsanova V.A., Hrapov P.V. *Prognozirovanie izmenenij klimata Rossii na osnove mnogoletnih nabljudenij. Aktual'nye problemy sovremennoj nauki*, # 4, 2017, S. 280-286.
- [3] The Global Climate Statistical Analysis Library (GCSAL). <https://github.com/facebookresearch/GCSAL> (data obrashhenija: 20.06.2019).
- [4] Kosovskij D.V., Hrapov P.V. *Prognozirovanie klimaticheskikh izmenenij v Bajkal'skom regione. Aktual'nye problemy sovremennoj nauki*, # 6, 2018, S. 222-233.
- [5] O.I.Huriganova, V.A.Obolkin, L.P.Golobokova, T.V.Hodzher, V.L.Potemkin. *Ozon, oksidy sery i azota v prizemnoj atmosfere na Bajkal'skoj prirodnoj territorii. Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Nauki o Zemle»*, 2018, T.24, S.111-123.
- [6] Gbangou, T., Sylla, M.B., Jimoh, O.D. et al. *Assessment of projected agro-climatic indices over Awun river basin, Nigeria for the late twenty-first century/ Climatic Change*, october, 2018, <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2295-y>.
- [7] Woolway, R.I., Simpson, J.H., Spiby, D. et al. *Physical and chemical impacts of a major storm on a temperate lake: a taste of things to come? Climatic Change*, october, 2018, <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2302-3>.
- [8] Glasko A.V., Kalmykov A.M., Meshherin I.V., Fedotov A.A., Hrapov P.V. *Zamorazhivanie gruntov osnovanij geotekhnicheskikh ob"ektov v kriolitozone s pomoshh'ju vertikal'nyh termostabilizatorov. Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii*, 2012, vyp. 7(7), URL: <http://engjournal.ru/catalog/appmath/hidden/305.html>
- [9] EPA United States Environmental Protection Agency "Methane and Black Carbon Impacts on the Arctic: Communicating the Science", September 2016
URL:https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/arctic-methane-blackcarbon_communicating-the-science.pdf
- [10] Isaev A. A. *Jekologicheskaja klimatologija*. M.: Nauchnyj mir, 2003, s. 472.
- [11] N. I. Sidnyaev, Yu. S. Mel'nikova, P. V. Khrapov, A. V. Glasko. *Impact of the temperature regime of cryolithozone on the safety of basements/ Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, May 2012, Volume 41, Issue 3, pp 252-258.
- [12] "Global Security, Climate Change, and the Arctic" – 24-page special journal issue (Fall 2009), Swords and Ploughshares, Program in Arms Control, Disarmament, and International Security (ACDIS), University of Illinois URL : <https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/15118/Global-Security-Climate-Change-and-the-Arctic.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [13] Shepherd, A.; Wingham, D. (2007). "Recent Sea-Level Contributions of the Antarctic and Greenland Ice Sheets". *Science*. 315 (5818):1529-1532 URL:[Bibcode:2007Sci...315.1529S. doi:10.1126/science.1136776. PMID 17363663](https://doi.org/10.1126/science.1136776)

- [14] Schneider et al., Chapter 19: Assessing Key Vulnerabilities and the Risk from Climate Change, Section 19.3.4: Ecosystems and biodiversity, in IPCC AR4 WG2 2007 URL: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch19s19-3-4.html
- [15] Alekseev, G. V., Radionov, V. F., Aleksandrov, E. I., Ivanov, N. E., & Harlanenkova, N. E. (2010). Klimaticheskie izmeneniya v Arktike i severnoj poljarnoj oblasti. Problemy Arktiki i Antarktiki, (1), 67-80.
- [16] Turner, J., Overland, J. E., & Walsh, J. E. (2007). An Arctic and Antarctic perspective on recent climate change. International Journal of Climatology, 27(3), 277-293.
- [17] Marshall, J., Armour, K. C., Scott, J. R., Kostov, Y., Hausmann, U., Ferreira, D., ... & Bitz, C. M. (2014). The ocean's role in polar climate change: asymmetric Arctic and Antarctic responses to greenhouse gas and ozone forcing. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 372(2019), 20130040.
- [18] Maxwell, J. B., & Barrie, L. A. (1989). Atmospheric and climatic change in the Arctic and Antarctic. Ambio, 42-49.
- [19] Overland, J., Turner, J., Francis, J., Gillett, N., Marshall, G., & Tjernström, M. (2008). The Arctic and Antarctic: Two faces of climate change. Eos, Transactions American Geophysical Union, 89(19), 177-178.
- [20] Walsh, J. E. (2009). A comparison of Arctic and Antarctic climate change, present and future. Antarctic Science, 21(3), 179-188.
- [21] Semiletov, I., Makshtas, A., Akasofu, S. I., & L Andreas, E. (2004). Atmospheric CO₂ balance: The role of Arctic sea ice. Geophysical Research Letters, 31(5).
- [22] Cavalieri, D. J., Parkinson, C. L., & Vinnikov, K. Y. (2003). 30-Year satellite record reveals contrasting Arctic and Antarctic decadal sea ice variability. Geophysical Research Letters, 30(18).
- [23] Johannessen, O. M., Bengtsson, L., Miles, M. W., Kuzmina, S. I., Semenov, V. A., Alekseev, G. V., ... & Hasselmann, K. (2004). Arctic climate change: observed and modelled temperature and sea-ice variability. Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography, 56(4), 328-341.
- [24] Weller, G. (1998). Regional impacts of climate change in the Arctic and Antarctic. Annals of Glaciology, 27, 543-552.
- [25] Parkinson, C. L., & Cavalieri, D. J. (2012). Antarctic sea ice variability and trends, 1979-2010.