

THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS
Institute for Nature Management

BELARUS IN ANTARCTIC

*On the 10th anniversary of the beginning of scientific
and expeditional research*

Edited by Academician V. F. Loginov

Minsk
«Belaruskaya Navuka»
2016

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Институт природопользования

БЕЛАРУСЬ В АНТАРКТИКЕ

*К 10-летию начала регулярных научных
и экспедиционных исследований*

Под редакцией академика В. Ф. Логинова

Минск
«Беларуская навука»
2016

УДК 910.4(292.3:476)
ББК 26.89(00)
Б43

Авторы:

В. Ф. Логинов, А. А. Гайдашов (главы 1, 6); А. П. Чайковский, Э. П. Зеге, И. Л. Кацев, М. М. Король, А. П. Иванов, С. В. Денисов, В. П. Дик, А. В. Малинка, Ф. П. Осипенко, А. С. Прихач, А. С. Слесарь, Л. И. Чайковская, В. П. Кабашников, Н. С. Метельская, Я. А. Король, Л. А. Бондарчик, В. А. Свидинский, А. Н. Красовский, Л. Н. Турышев, А. Г. Светашев, В. С. Дёмин, В. Я. Венчиков, В. Н. Венчиков, В. В. Жучкевич, В. Л. Тавгин, С. К. Бородко, И. И. Бручковский, Я. М. Мицкевич, P. Golou, T. Podvin, L. Blarell, A. Laryonok (Франция), В. Ф. Радионов (Россия), А. К. Карабанов (глава 2); Р. Г. Гарецкий, Г. И. Каратаев, О. В. Мясников, И. В. Данкевич (глава 3); Ю. Г. Гигиняк, О. И. Бородин, В. Е. Мямин (глава 4); С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик, С. В. Саливончик (глава 5)

Рецензенты:

доктор географических наук, профессор П. С. Лопух,
доктор географических наук, профессор А. А. Волчек

Беларусь в Антарктике = Belarus in Antarctic : к 10-летию начала регулярных научных и экспедиционных исследований / В. Ф. Логинов [и др.] ; под ред. акад. В. Ф. Логинова. – Минск : Беларуская навука, 2016. – 175 с. : ил.
ISBN 978-985-08-2001-3

В книге представлен краткий исторический очерк становления и развития научных и экспедиционных исследований белорусских ученых и специалистов в Антарктике. Приведены сведения о работе восьми белорусских антарктических экспедиций. Рассмотрены перспективы развития инфраструктуры (белорусской антарктической станции), научных и экспедиционных исследований в рамках утвержденной Правительством Республики Беларусь Государственной программы на период с 2016 по 2020 г. и последующие годы. Изложены результаты изучения газового и аэрозольного состава атмосферы, свойств подстилающей поверхности, растительного и животного мира, геофизических полей, тектоники и геологии Восточной Антарктиды с помощью наземных, лидарных и спутниковых средств и методов наблюдений. Значительная часть книги посвящена вопросу выбора местоположения белорусской антарктической станции и всесторонней оценке состояния окружающей среды в районе ее базирования.

Предназначена для специалистов в области физики атмосферы и физики Земли, геологии и биологии полярных районов, а также может быть полезна широкому кругу читателей, интересующихся историей исследований Антарктики.

УДК 910.4(292.3:476)
ББК 26.89(00)

ISBN 978-985-08-2001-3

© Институт природопользования
НАН Беларуси, 2016
© Оформление. РУП «Издательский дом
«Беларуская навука», 2016





Предисловие	10	Foreword	10
Глава 1. Краткий исторический очерк становления и развития научных исследований и экспедиционной деятельности в Антарктике (Логинов В. Ф., Гайдашов А. А.)	18	Chapter 1. A brief historical sketch of the formation and development of scientific research and forwarding activities in the Antarctic (Loginov V. F., Gaidashov A. A.)	18
1.1. Краткий исторический очерк участия белорусских ученых и специалистов в осуществлении научной и экспедиционной деятельности в Антарктике в Советский период	18	1.1. A brief historical sketch of participation of Belarusian scientists and experts in the implementation of scientific and forwarding activities in the Antarctic during the Soviet period	18
1.2. Хронология белорусских антарктических исследований: события, документы и факты (2005–2015 гг.)	20	1.2. Chronology of the Belarusian Antarctic research: events, documents and facts (2005–2015)	20
1.3. Научная и логистическая деятельность в рамках Государственных программ полярных исследований	36	1.3. Scientific and logistic activities under the state program of polar research	36
1.4. Проведение экспедиций и формирование инфраструктуры в Антарктиде	38	1.4. Carrying out the expeditions and formation of infrastructure in Antarctica	38
Глава 2. Оптические исследования атмосферы и подстилающей поверхности в Антарктике (Чайковский А. П., Зеке Э. П., Кацев И. Л., Король М. М., Иванов А. П., Денисов С. В., Дик В. П., Малинка А. В., Осипенко Ф. П., Прихач А. С., Слесарь А. С., Чайковская Л. И., Кабашников В. П., Метельская Н. С., Король Я. А., Бондарчик Л. А., Свидинский В. А., Красовский А. Н., Турышев Л. Н., Светашев А. Г., Дёмин В. С., Венчиков В. Я., Венчиков В. Н., Жучкевич В. В., Тавгин В. Л., Бородко С. К., Бручковский И. И., Мицкевич Я. М., Golou P., Podvin T., Blarell L., Lapyonok A. (Франция), Радионов В. Ф. (Россия), Гайдашов А. А., Логинов В. Ф., Карабанов А. К.)	50	Chapter 2. Optical studies of the atmosphere and surface in Antarctic (Chaikovsky A. P., Zege E. P., Katsev I. L., Korol M. M., Ivanov A. P., Denisov S. V., Dik V. P., Malinka A. V., Osipenko F. P., Prikhach A. S., Slesar A. S., Chaikovskaya L. I., Kabashnikov V. P., Miatselskaya N. S., Karol Y. A., Bondarchik L. A., Svidinsky V. A., Krasouskiy A. N., Turishev L. N., Svetashev A. G., Diomin V. S., Venchikov V. Y., Venchikov V. N., Zhuchkevich V. V., Tavgin V. L., Barodka S. K., Bruchkouski I. I., Mitskevich J. M.; Golou P., Podvin T., Blarell L., Lapyonok A. (France); Radionov V. F. (Russia); Gaidashov A. A., Loginov V. F., Karabanov A. K.)	50
2.1. Аппаратура и методика измерений	51	2.1. Instrumentation and measuring procedure	51
2.1.1. Приборы для измерений интенсивности солнечной УФ-радиации, концентрации озона и окиси азота	52	2.1.1. Instruments to measure solar UV radiation intensity, ozone and nitrogen oxide concentrations	52
2.1.2. Приборы для измерения характеристик атмосферного аэрозоля, облаков и подстилающей поверхности	62	2.1.2. Equipment to measure parameters of atmospheric aerosol, cloud and surface	62

2.2. Исследования атмосферного озона, окиси азота и интенсивности солнечной радиации у земной поверхности	67	2.2. Studies of the atmosphere ozone, nitrogen oxide, and solar radiation intensity at the ground surface	67
2.3. Восстановление оптических параметров подстилающей поверхности по данным наземных и спутниковых спектрометрических измерений; радиометрическая калибровка спутниковых оптических инструментов.....	78	2.3. Retrieving optical parameters of surface from earth-based and satellite spectrometric measurement data; radiation calibration of satellite optical sensors	78
2.3.1. Измерения спектров альbedo в районе станций «Молодежная» и «Гора Вечерняя».....	78	2.3.1. Measurements of albedo spectra in the region of stations «Molodezhnaya» and «Vechernyaya Hill»	78
2.3.2. Средний размер зерен снега и концентрация сажевого загрязнения снега по данным наземных спектрометрических измерений	80	2.3.2. The average snow grains size and the snow soot contamination retrieved from spectrometric field measurements	80
2.3.3. Радиометрическая калибровка спутниковых оптических инструментов по снимкам Антарктиды и натурным подспутниковым данным	82	2.3.3. Radiation calibration of satellite optical sensors with satellite images of Antarctica and ground truth data	82
2.3.4. Восстановление характеристик снега по данным спутниковых наблюдений	84	2.3.4. Retrieval snow microphysical characteristics from satellite data	84
2.4. Лидарное и радиометрическое зондирование атмосферного аэрозоля; моделирование аэрозольных полей в Антарктике	87	2.4. Lidar and radiometric sounding of atmospheric aerosol; modeling of aerosol in Antarctic and comparison with the data of radiometric measurements.....	87
2.4.1. Радиометрические и лидарные исследования атмосферного аэрозоля	87	2.4.1. Radiometric and lidar sounding of atmospheric aerosol	87
2.4.2. Результаты моделирования аэрозольных полей в Антарктиде и сравнение с данными радиометрических наблюдений	94	2.4.2. Modeling of aerosol in Antarctic and comparison with the data of radiometric measurements.....	94
Глава 3. Белорусские геолого-геофизические исследования на Земле Эндерби (Гарецкий Р. Г., Каратаев Г. И., Мясников О. В., Данкевич И. В.)	102	Chapter 3. Belarusian geological and geophysical research in Enderby Land (Garecki R. G., Karataev G. I., Myasnikov O. V., Dankevich I. V.).....	102
Глава 4. Исследования белорусских биологов в Антарктике (Гигиняк Ю. Г., Бородин О. И., Мямин В. Е.)	118	Chapter 4. Research works conducted in the Antarctic by Belarusian biologists (Giginyak Y. G., Borodin O. I., Myamin V. E.).....	118
Глава 5. Выбор местоположения и подготовка Всесторонней оценки окружающей среды строительства и функционирования Белорусской антарктической станции на горе Вечерняя, Земля Эндерби (Какарека С. В., Кухарчик Т. И., Логинов В. Ф., Саливончик С. В.)	144	Chapter 5. Site selection and preparation of Comprehensive environmental evaluation of construction and operation of Belarusian Antarctic Station at Mount Vechernyaya, Enderby Land (Kakareka S. V., Kukharchyk T. I., Loginov V. F., Salivonchik S. V.)...	144
Глава 6. Перспективы проведения научных исследований и экспедиционных работ (Логинов В. Ф., Гайдашов А. А.)	160	Chapter 6. Prospects of research and expedition work (Loginov V. F., Gaidashov A. A.).....	160
6.1. Приоритетные направления деятельности	160	6.1. Priority directions of activity	160
6.2. Стратегия организации и развития белорусской антарктической инфраструктуры	162	6.2. The strategy of the organization and development of the Belarusian Antarctic infrastructure.....	162
6.3. Проведение комплексных научных исследований и технических разработок для изучения состояния и мониторинга окружающей среды и климата Антарктики.....	164	6.3. The comprehensive scientific research and technological development for the study of the status and monitoring of the environment and climate in Antarctic.....	164
Приложение	166	Annex	166







Представленная книга подводит итог логистической и научной деятельности белорусских исследований в Антарктике за последние 10 лет. Обобщая имеющийся материал по становлению в Беларуси регулярных исследований в этой полярной области Земли, авторы отмечают истоки таких исследований. Они относятся к середине прошлого столетия, к периоду начала регулярных советских антарктических экспедиций, в составе которых было немало белорусов. В списке белорусов – участников советских и российских экспедиций – 102 человека. Авторы настоящей книги привели фамилии всех специалистов, которые в разное время были в Антарктике. Кроме того, отмечены участники белорусских антарктических экспедиций в количестве 17 человек с учетом полевого сезона 2015–2016 гг.

Исследования Антарктики в Республике Беларусь начали интенсивно и целенаправленно развиваться после 2005 года. По итогам многочисленных консультаций белорусских и российских специалистов, на которых обсуждались перспективы изучения полярных районов Земли белорусскими учеными, цели и задачи исследований и возможности страны, Национальной академией наук Беларуси было принято решение о целесообразности таких работ. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации поддержала это решение и выразила готовность содействовать белорусским исследованиям в полярных районах Земли, в том числе предоставить на первом этапе для

The presented book reviews the results of the logistic and scientific activities of the Belarusian research in the Antarctic over the past 10 years. Summarizing the available materials on the formation in Belarus of regular research in this polar area of the Earth, the authors note the origins of such research. These date back to the middle of the last century, to the period when regular Soviet Antarctic expeditions started, which involved a large number of Belarusians. The list of Belarusian members of Soviet and Russian expeditions includes 102 people. The authors of this book have stated the names of all the specialists who traveled to the Antarctic at different times. Besides, a total of 17 members of Belarusian Antarctic expeditions have been mentioned with regard to the 2015–2016 field season.

Antarctic research began to develop actively in the Republic of Belarus after 2005. Based on the results of numerous consultations of Belarusian and Russian specialists, which focused on the prospects of Belarusian scientists studying the polar areas of the Earth, the goals and tasks of the research and the capacities of the country, the National Academy of Sciences of Belarus found it reasonable to carry out such work. The Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring of the Russian Federation endorsed that decision and expressed readiness to facilitate Belarusian research in the Polar areas of the Earth, including by making the Russian objects in Antarctica available at the first stage of the research

выполнения исследований российские объекты в Антарктиде. Следует отметить неоценимую практическую помощь российских полярников на всех этапах становления белорусской антарктической программы исследований – это обеспечение нормативно-правовой базой, ознакомление с современными методами организации и проведения антарктических экспедиций, логистическое обеспечение белорусских антарктических экспедиций, консультации по организации административного и научно-организационного характера, обеспечение научных исследований приборной базой, формирование собственной программы полярных исследований и многое другое.

Важным этапом расширения регулярных белорусских исследований в полярных областях Земли стало решение Президента Республики Беларусь А. Г. Лукашенко о присоединении страны к Договору об Антарктике. Соответствующий закон был подписан 19 июля 2006 г. № 157-З и вступил в силу с 27 декабря 2006 г. Принятие закона стало основой разработки дальнейших мероприятий по организации работ в Антарктике. С помощью российских коллег была разработана Государственная программа «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций на 2007–2010 годы и на период до 2015 года», создан рабочий орган управления программой – Государственное учреждение «Республиканский центр полярных исследований» в составе Минприроды, Республика Беларусь присоединилась к международным обязательствам по охране окружающей среды Антарктики (Указ Президента Республики Беларусь А. Г. Лукашенко от 10 апреля 2008 г. № 200 «О присоединении Республики Беларусь к Протоколу по охране окружающей среды к Договору об Антарктике») и др. Основная цель принятых решений заключалась в стремлении Республики Беларусь к вступлению в мировое сообщество по исследованию и использованию высокоширотных районов планеты, обеспечении долгосрочных политических, экономических и научных интересов страны – получение статуса Консультативной Стороны Договора об Антарктике.

Первая программа белорусских исследований в Антарктике была направлена на организацию и проведение научно-исследовательских работ в Антарктиде, получение практического опыта логистического обеспечения белорусских антарктических экспедиций, развитие и укрепление международного сотрудничества в сфере изучения полярных районов Земли. Отдельная задача состояла в создании первой Белорусской антарктической станции.

Первая Белорусская антарктическая экспедиция в составе Российской антарктической экспедиции была проведена в сезон 2007–2008 гг., в ходе кото-

implementation. It is important to note the invaluable practical assistance of the Russian polar explorers at all the stages of the Belarusian Antarctic research program formation, namely provision of the legal and regulatory framework, introduction to modern methods of organization and conducting of Antarctic expeditions, logistic support of Belarusian Antarctic expeditions, advising on administrative and scientific-organizational management, securing the instrumental base for the scientific research, establishment of a polar research program of its own and more.

An important stage in the expansion of regular Belarusian research in the polar areas of the Earth was the decision of the President of the Republic of Belarus Alexander Lukashenko regarding the accession of the country to the Antarctic Treaty. The corresponding law was signed on 19 July 2006 № 157-3 and came into effect on 27 December 2006. The adoption of the law became the basis for developing further activities on the organization of work in the Antarctic. With the assistance of Russian colleagues the State Program «Monitoring of the Polar Areas of the Earth and Support of the Arctic and Antarctic Expeditions in 2007–2010 and for the period through 2015» was developed, the working body to run the program was set up – the State Institution «The Republican Centre for Polar Research» as part of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, the Republic of Belarus acceded to the international obligations for the protection of the Antarctic environment (Decree of the President of the Republic of Belarus Alexander Lukashenko of 10 April 2008 № 200 «On the Accession of the Republic of Belarus to the Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty») and more. The main goal of the decisions taken was the aspiration of the Republic of Belarus to join the global community for exploration and use of high-latitude areas of the planet, ensuring the long-term political, economic and scientific interests of the country – obtaining the status of the Antarctic Treaty Consultative Party.

The first program of Belarusian research in the Antarctic was aimed at organizing and conducting research, acquiring practical experience in provision of logistic support to Belarusian Antarctic expeditions, promoting and strengthening international cooperation in the field of the Earth's polar areas research. A particular task was to create the first Belarusian Antarctic Station.

The first Belarusian Antarctic Expedition within the Russian Antarctic Expedition was carried out in the 2007–2008 season, during which a memorable event



*Встреча белорусских полярников в НАН Беларуси. 2015 г.
Meeting of Belarusian polar explorers at the NAS of Belarus. 2015*

рой состоялось знаменательное событие – открытие первого российско-белорусского сезонного лагеря на месте предполагаемого базирования Белорусской антарктической станции в восточной части Антарктиды вблизи российской станции «Молодежная». Информационный материал о результатах экспедиции, а также о деятельности и намерениях Республики Беларусь в Антарктиде был представлен на обсуждение 31-го совещания Научного комитета по антарктическим исследованиям, которое состоялось в июне 2008 г. в Киеве. С этого времени информация о деятельности Республики Беларусь в Антарктике по итогам полярных экспедиций постоянно представлялась и обсуждалась на различных комитетах и совещаниях Договора по Антарктике. На 24-м совещании Совета управляющих национальных антарктических программ в г. Портленд (США) Республике Беларусь был согласован статус страны-наблюдателя с прохождением трехлетнего испытательного срока, а А. А. Гайдашов стал кандидатом в Управляющие национальной антарктической программой Республики Беларусь.

Важным этапом в расширении и углублении научных исследований Антарктики белорусскими специа-

took place – the opening of the Russian-Belarusian seasonal camp on the site of the alleged location of the Belarusian Antarctic Station in the eastern part of Antarctica close to the Russian Station «Molodyozhnaya». The information materials on the results of the expedition, as well as on the activities and intentions of the Republic of Belarus in Antarctica were submitted for discussion at the 31st Meeting of the Scientific Committee on Antarctic Research that took place in Kiev in June 2008. Since then, the information on the activities of the Republic of Belarus in the Antarctic based on the results of polar expeditions has been constantly presented and discussed in various committees and meetings of the Antarctic Treaty. At the 24th Meeting of the Council of Managers of National Antarctic Programs in Portland (USA), the Republic of Belarus was granted the observer status with the three-year trial period, and Alexei Gaidashov became a candidate for Manager of the National Antarctic Program of the Republic of Belarus.

An important stage in the expansion and intensification of Antarctic research conducted by Belarusian

листами стало принятие Государственной программы по исследованию полярных районов Земли на 2011–2015 годы и передача в ведение Национальной академии наук Беларуси ГУ «Республиканский центр полярных исследований».

Основой более глубокого сотрудничества с Российской Федерацией в области исследования полярных районов Земли стало подписание 15 марта 2013 г. документа «Соглашение о сотрудничестве в Антарктике» между Правительствами Республики Беларусь и Российской Федерации. В рамках подписанного Соглашения по инициативе НАН Беларуси совместно с Минприроды разработан план создания Белорусской антарктической станции, создана Межведомственная комиссия Республики Беларусь по вопросам Антарктики, принят ряд документов по сотрудничеству с российскими полярниками о совместной реализации научных программ в Антарктиде. Полярники Беларуси и России ведут совместные исследования атмосферного аэрозоля, озоносферы, морских, пресноводных и наземных биологических ресурсов Антарктики, осуществляют разработки новых приборов и оборудования. Основные результаты такого сотрудничества представлены в книге.

Национальная академия наук Беларуси всецело поддерживает и развивает исследования в Антарктике. На заседаниях бюро Президиума регулярно рассматриваются результаты научных исследований, вопросы строительства Белорусской антарктической станции и обеспечения ее жизнедеятельности. В академии наук сложилась добрая традиция провожать и встречать очередной состав белорусской антарктической экспедиции на ледовый континент.

Государственная программа по мониторингу полярных районов Земли на 2011–2015 годы предусматривала ряд мероприятий по организации и проведению комплексных научных исследований и технических разработок для изучения состояния окружающей среды Антарктиды, развитию международного сотрудничества в сфере исследования полярных районов Земли. Отдельное направление было связано с проведением научных экспедиций и формированием инфраструктуры белорусской антарктической станции, оснащение ее современным технологическим оборудованием, новыми приборами и средствами измерения. Наличие собственной инфраструктуры в Антарктиде является важным правовым фактором, определяющим присутствие нашего государства на антарктическом континенте в рамках выполнения международных обязательств Республики Беларусь по Договору об Антарктике.

Для создания собственной станции необходимо было провести ряд обязательных международных

специалистов было принятие Государственной программы по исследованию полярных районов Земли на 2011–2015 годы и передача в ведение Национальной академии наук Беларуси ГУ «Республиканский центр полярных исследований».

Основой более глубокого сотрудничества с Российской Федерацией в области исследования полярных районов Земли стало подписание 15 марта 2013 г. документа «Соглашение о сотрудничестве в Антарктике» между Правительствами Республики Беларусь и Российской Федерации. В рамках подписанного Соглашения по инициативе НАН Беларуси совместно с Минприроды разработан план создания Белорусской антарктической станции, создана Межведомственная комиссия Республики Беларусь по вопросам Антарктики, принят ряд документов по сотрудничеству с российскими полярниками о совместной реализации научных программ в Антарктиде. Полярники Беларуси и России ведут совместные исследования атмосферного аэрозоля, озоносферы, морских, пресноводных и наземных биологических ресурсов Антарктики, осуществляют разработки новых приборов и оборудования. Основные результаты такого сотрудничества представлены в книге.

Национальная академия наук Беларуси всецело поддерживает и развивает исследования в Антарктике. На заседаниях бюро Президиума регулярно рассматриваются результаты научных исследований, вопросы строительства Белорусской антарктической станции и обеспечения ее жизнедеятельности. В академии наук сложилась добрая традиция провожать и встречать очередной состав белорусской антарктической экспедиции на ледовый континент.

Государственная программа по мониторингу полярных районов Земли на 2011–2015 годы предусматривала ряд мероприятий по организации и проведению комплексных научных исследований и технических разработок для изучения состояния окружающей среды Антарктиды, развитию международного сотрудничества в сфере исследования полярных районов Земли. Отдельное направление было связано с проведением научных экспедиций и формированием инфраструктуры белорусской антарктической станции, оснащение ее современным технологическим оборудованием, новыми приборами и средствами измерения. Наличие собственной инфраструктуры в Антарктиде является важным правовым фактором, определяющим присутствие нашего государства на антарктическом континенте в рамках выполнения международных обязательств Республики Беларусь по Договору об Антарктике.

Для создания собственной станции необходимо было провести ряд обязательных международных



*Первые модули Белорусской антарктической станции (Гора Вечерняя). 2016 г.
The first units of the Belarusian Antarctic Station (Mount Vechernyaya). 2016*

процедур, связанных с оценкой влияния станции на окружающую среду района ее размещения. Была подготовлена Всесторонняя оценка окружающей среды (ВООС), которая одобрена в мае 2015 г. на заседании 38-й сессии Консультативного совещания Договора об Антарктике, что означало принятие положительного решения о строительстве Белорусской антарктической станции. В этом же году на 27-м заседании Комитета национальных антарктических программ Республика Беларусь была единогласно принята постоянным членом этой организации, а кандидатура заместителя начальника Республиканского центра полярных исследований А. А. Гайдашова одобрена в качестве Управляющего национальной антарктической программой Республики Беларусь. Так Республика Беларусь стала 30-м постоянным членом Комитета национальных антарктических программ, что явилось признанием ее заслуг в исследованиях Антарктики на мировом уровне.

Логическим завершением Государственной программы «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антаркти-

out associated with the evaluation of the station's impact on the environment in its location area. The Comprehensive Environmental Evaluation (CEE) was prepared, which was approved in May 2015 at the 38th Session of the Antarctic Treaty Consultative Meeting and that indicated the approval of the construction of the Belarusian Antarctic Station. The same year, at the 27th Meeting of the Committee of National Antarctic Programs the Republic of Belarus was unanimously recognized as a permanent member of this organization, and the candidacy of Deputy Head of the Republican Centre of Polar Research Alexei Gaidashov was approved as Manager of the National Antarctic Program of the Republic of Belarus. Thus, the Republic of Belarus became the 30th permanent member of the Committee of National Antarctic Programs, which was the recognition of its achievements in Antarctic research on the global level.

The logical conclusion of the State Program «Monitoring of the Polar Areas of the Earth and Support of the Arctic and Antarctic Expeditions in 2007–2010

ческих экспедиций на 2007–2010 годы и на период до 2015 года», заказчиком-координатором которой определена НАН Беларуси, стало создание первого трехсекционного служебно-жилого модуля Белорусской антарктической станции, который в конце 2015 г. был доставлен российским научно-исследовательским судном «Академик Федоров» к берегам ледового континента, чем было положено начало строительства станции в географическом комплексе Гора Вечерняя в Восточной Антарктиде.

Жизнедеятельность станции и ее оснащение рядом приборов для научных исследований в настоящее время осуществляется с использованием новейшего оборудования, часть из которого разработана белорусскими учеными. Это прежде всего относится к научным приборам для исследования различных характеристик атмосферы и подстилающей поверхности, солнечной радиации, концентрации озона и двуокиси азота в атмосфере и др. Достаточно подробное описание таких приборов и результаты их использования приведены в настоящей книге.

Считаю, что создание Белорусской антарктической станции и результаты комплексных научных исследований являются важным элементом государственной политики, ориентированной на повышение имиджа страны на международной арене и укрепление позиций Беларуси в системе Договора об Антарктике.

*Председатель Президиума
Национальной академии наук Беларуси
В. Г. Гусаков*

and for the period through 2015», for which the NAS of Belarus was assigned sponsor and coordinator, was the creation of the first three-section of service and accommodation unit of the Belarusian Antarctic Station, which at the end of 2015 was delivered by the Russian research vessel «Akademik Fyodorov» to the shores of the icy continent, which laid the foundation of the station construction in the Mount Vechernyaya geographical complex in Eastern Antarctica.

The functioning of the station and equipping it with a range of devices for research is currently implemented using the latest equipment, part of which was developed by Belarusian scientists. This applies primarily to the scientific instruments for studying various characteristics of the atmosphere and terrain, solar radiation, concentration of ozone and nitrogen dioxide in the atmosphere, and others. A fairly detailed description of such devices and the results of their use are given in this book.

I believe that the creation of the Belarusian Antarctic Station and the results of comprehensive research are an important element of the state policy aimed at improving the country's image in the international arena and strengthening the position of Belarus in the Antarctic Treaty System.

*Chairman of Presidium
National Academy of Sciences of Belarus
Vladimir Gusakov*







КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК СТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЭКСПЕДИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В АНТАРКТИКЕ

A BRIEF HISTORICAL SKETCH OF THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC RESEARCH AND FORWARDING ACTIVITIES IN THE ANTARCTIC

1.1. Краткий исторический очерк участия белорусских ученых и специалистов в осуществлении научной и экспедиционной деятельности в Антарктике в Советский период

СССР приступил к регулярным исследованиям Антарктики в 1955 г., 13 июля 1955 г. Совет Министров СССР выпустил Постановление об организации Комплексной антарктической экспедиции. Научное руководство экспедицией было возложено на Академию наук СССР, а оперативное управление – на Главное управление Севморпути Минморфлота СССР. 30 ноября к берегам Антарктиды из Калининграда отправилась первая Комплексная антарктическая экспедиция (КАЭ). Руководителем первой Комплексной экспедиции на дизель-электроходе «Обь» был назначен Герой Советского Союза М. М. Сомов, а капитаном – И. А. Ман. Соотношение научного и логистического персонала составило 38 и 62 % (общая численность участников – 229). Из них 92 сотрудника остались на зимовку.

После завершения грузовых операций и строительства первой антарктической станции Мирный 13 февраля 1956 г. поднят Советский флаг. В последующем с помощью отечественного внутриконтинентального санно-гусеничного похода 27 мая 1956 г. на расстоянии 375 км к югу от станции «Мирный» открыта первая внутриконтинентальная станция «Пионерская». В разные годы советского периода (1971–1990 гг.) число круглогодичных сезонных станций и полевых баз составляло 21. После развала СССР число таких точек в Антарктиде сократилось более чем в три раза.

Вторая Комплексная антарктическая экспедиция, начальником которой был Герой Социалистического труда академик РАН А. Ф. Трешников, начала выполнение программы наблюдений Международного геофизического года (МГГ). Это событие состоялось 1 июля 1957 г.

1.1. A brief historical sketch of participation of Belarusian scientists and experts in the implementation of scientific and forwarding activities in the Antarctic during the Soviet period

USSR started regular research activities in Antarctica in 1955, on July 13th, 1955 the USSR Council of Ministers issued a decree on the organization of the Integrated Antarctic Expedition. The scientific expedition leadership was entrusted to the Academy of Sciences of the USSR, and the operational management – to the main administration of the North Sea Route at the Ministry of Marine Fleet of the USSR. The First Complex Antarctic Expedition sailed to Antarctica from Kaliningrad on November 30th. The Hero of the Soviet Union M. M. Somov was appointed to the position of the head of the First Complex expedition by the diesel-electric vehicle «Ob». I. A. Man was appointed to the position of the captain of the ship. The ratio of scientific and logistic personnel was 38 and 62% (the total number of participants was 229). Out of this group 92 employees were left for the winter.

After the completion of cargo operations and the construction of the first Antarctic station Mirny on February 13th, 1956 the Soviet flag was raised. Subsequently, with the help of the Soviet inland sledge-caterpillar expedition dated May 27th, 1956 at a distance of 375 km to the south of «Mirny» the first inland station «Pionerskaya» was opened. In the years of the Soviet period (1971–1990), the number of year-round and seasonal field bases and stations was 21. After the collapse of the USSR the number of points in Antarctica fell by more than three times.

The second Complex Antarctic Expedition, conducted by the Hero of Socialist Labor, RAS academician A. F. Treshnikov, began the implementation of the observation program of the International Geophysical Year (IGY) on July 1, 1957.

На протяжении 60-летней истории советских и российских антарктических исследований была осуществлена 61 советская и российская антарктическая экспедиция.

Итогом совместной научной деятельности 12 стран в период МГГ стало заключение в 1959 г. Договора об Антарктике. Этот договор предупредил возможный очередной передел мира, сохранив Антарктиду нейтральным, демилитаризованным континентом, создав необходимые условия для беспрепятственного осуществления принципа свободы научных исследований в Антарктике.

За 60 лет, прошедших с начала проведения регулярных советских, а затем российских антарктических экспедиций (1955–2016 гг.), в Антарктиде побывало около 40 тысяч человек, практически из всех союзных республик бывшего СССР. За период с 1955 по 1992 г. 102 белорусских специалиста принимали участие в исследовании и освоении Антарктики в составе комплексных и советских антарктических экспедиций. Десять из них (Бурак Н. М., Драчев В. Т., Заруба В. Н., Знак Н. Н., Коверович Е. П., Кожемякин Н. Е., Лавушкин Н. В., Наумчик Н. Г., Шиян П. Л., Шумак С. А.) в составе первой КАЭ участвовали в строительстве первой Советской антарктической обсерватории «Мирный», а трое других наших земляков (Соболь А. Д., Мытько В. Г., Илькевич И. И.) в 1992 г. завершили своим участием многолетнюю работу белорусских специалистов в составе советских антарктических экспедиций.

За период участия белорусских специалистов в исследовании и освоении Антарктики с 1955 по 1992 г. ими проведены сотни исследований, написаны десятки научных работ, пройдены тысячи километров санно-гусеничных походов и выполнены сотни авиационных вылетов. Их руками отремонтированы сотни единиц техники и построены десятки полярных объектов.

Нашими земляками зафиксированы два экстремума в изменении метеорологических характеристик:

- в 1983 г. на внутриконтинентальной станции «Восток» Владимир Карпюк зарегистрировал самую низкую на нашей планете температуру воздуха ($-89,2^{\circ}\text{C}$);

- в 1988 г. на станции «Ленинградская» метеоролог Алексей Гайдашов зафиксировал самый сильный порыв ветра (78 м/с).

Белорусские специалисты – участники советских антарктических экспедиций вписали немало ярких страниц в историю освоения и исследования Антарктики: аэролог Генрих Маевский в составе третьей Советской антарктической экспедиции (САЭ) принимал участие в первой зимовке на внутриконтинентальной станции Советская, гляциолог Юрий Емельянов –

Over sixty years of history of Soviet and Russian Antarctic researches 61 Soviet and Russian Antarctic expeditions have been carried out.

The result of the joint research activities of 12 countries was the signing in 1959 of the Antarctic Treaty in the IGY period. This contract warned a possible division of the world, while maintaining a neutral Antarctica, demilitarized continent, and creating the necessary conditions for the unhampered implementation of the principle of freedom of scientific research in Antarctic.

During the sixty-year period since the start of the regular Soviet and then Russian Antarctic expeditions (1955–2016) Antarctica was visited by about 40 thousand people from almost all former Soviet Union Republics. During the period from 1955 to 1992 102 Belarusian specialists took part in the study and development of the Antarctic in the complex and the Soviet Antarctic expeditions. Ten of them are in the squad of the 1st Complex Antarctic Expedition (Burak N. M., Drachov V. T., Zaruba V. N., Znak N. N., Koverovich E. P., Kozhemyakin N. E., Lavushkin N. V., Naumchik N. G., Shiyani P. L., Shumak S. A.) participated in the construction of the first Soviet Antarctic observatory «Mirny», and three other our countrymen (Sobol A. D., Mytko V. G., Ilkevich I. I.) in 1992, completed the long-term work involving specialists in the Belarusian as a part of the Soviet Antarctic expeditions.

During the period of participation of Belarusian specialists in the study and development of the Antarctic from 1955 to 1992 they conducted hundreds of studies, written dozens of scientific papers, traversed thousands of kilometers of sledge-caterpillar traverses and made hundreds of aircraft sorties. Their hands repaired hundreds of pieces of equipment and built dozens of polar sites.

Our countrymen are fixed two extremes in changing of meteorological characteristics:

- in 1983 at the inland station «Vostok» Vladimir Karpyuk registered the lowest temperature on the planet ($-89,2^{\circ}\text{C}$);

- in 1988 the «Leningrad» station meteorologist Aleksey Gaidashov recorded a strongest gust of wind (78 m/s).

Belarusian experts – participants of the Soviet Antarctic expeditions, recorded many bright pages in the history of Antarctic exploration and research: aerologist Henryh Mayewskiy as a part of 3rd Soviet Antarctic Expedition took part in the first wintering in the Soviet inland station, glaciologist Yuri Emelyanov, the participant of the SAE 25, took part in the sledge-caterpillar

участник 25-й САЭ – принимал участие в санно-гусеничном походе на полюс Недоступности, аэролог Юрий Кравцов провел в Антарктиде рекордное для белорусов количество зимовок – шесть, биолог Юрий Гигиняк – участник 16-й САЭ – собрал первую в Республике Беларусь коллекцию морских живых организмов вод Южного океана и в 1971 г. впервые поднял флаг БССР над островом Зыкова, инженер Анатолий Сущеня – участник 30-й САЭ (1984–1986 гг.) – дрейфовал на научно-экспедиционном судне (НЭС) «Михаил Сомов» во льдах Антарктики в 1985 г.

Операцию по спасению НЭС «Михаил Сомов» возглавлял А. Н. Чилингаров, который имеет белорусские корни по материнской линии. За проведение этой операции он удостоен высокого звания Героя Советского Союза.

После распада Советского Союза десятки белорусов в период с 1993 по 2015 г. участвовали в российских и международных исследовательских и спортивных экспедициях в Антарктику, в составе экипажей самолетов ИЛ-76 белорусской авиакомпании «ТрансАвиаэкспорт». Они также принимали участие в обеспечении трансконтинентальных авиационных перелетов из Южно-Африканской Республики в Антарктиду. Белорус Владимир Драбо – участник международной спортивной экспедиции «Навстречу XXI веку» – в январе 2000 г. впервые поднял флаг Республики Беларусь на южном географическом полюсе Земли.



1.2. Хронология белорусских антарктических исследований: события, документы и факты (2005–2015 гг.)

Впервые вопрос об организации полярных исследований в Республике Беларусь официально обсуждался на совещании у Председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси М. В. Мяснико维奇ем в июне 2005 г.¹ В обсуждении вопроса приняли участие Генеральный директор ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам» М. Е. Никифоров, директор Института проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси В. Ф. Логинов и Генеральный директор Научного центра изучения

¹ Сама идея проведения полярных исследований Республикой Беларусь возникла после многочисленных неофициальных встреч российских и белорусских ученых и полярников (В. С. Кошелев, С. С. Ходкин, В. В. Лукин, А. Н. Чилингаров, А. А. Гайдашов, Ю. Г. Гигиняк, В. Е. Тышкевич, В. Ф. Логинов, М. Е. Никифоров и др.).

expedition to the Pole of Inaccessibility, aerologist Yuri Kravtsov spent in Antarctica a record number of winters among Belarusians – six; biologist Yuri Giginyak – participant of SAE 16, gathered the first collection of marine organisms waters of the Southern Ocean the Republic of Belarus, and in 1971 he was the first to raise the flag of BSSR over the Zykov island, engineer Anatoly Sushchenya, a member of SAE 30 (1984–1986), drifted on the research vessel (RV) «Mikhail Somov» in the ices of Antarctic in 1985.

The rescue operation of the RV «Mikhail Somov» was led by A. N. Chilingarov, who has Belarusian ancestors on his mother's side. He has been awarded with a rank of the Hero of the Soviet Union for carrying out this operation.

After the Soviet Union collapsed dozens of Belarusians in the period from 1993 to 2015 participated in Russian and international research and sports expeditions to Antarctic, as a part of aircraft crew IL-76 of the Belarusian airline company «Transaviaexport» they were involved in providing transcontinental air travel from South Africa to Antarctica, Belarusian Vladimir Drabo, a participant in international sports expedition «To meet XXI century» in January 2000, first raised the flag of the Republic of Belarus on the south geographic pole of the planet.

1.2. Chronology of the Belarusian Antarctic research: events, documents and facts (2005–2015)

For the first time the organization of polar research in the Republic of Belarus was officially discussed at a meeting with Chairman of the Presidium of the National Academy of Sciences M. V. Myasnikovich in June 2005¹. The discussion was attended by General Director of SSPA «SPC NAS of Belarus for Bioresources» M. E. Nikiforov, director of the Institute of Natural Resources Use and Ecology of the National Academy of Sciences of Belarus V. F. Loginov and the General Director of the Arctic and Antarctic Scientific Research Center «Pole» V. S. Koshelev from Russia. The result

¹ The very idea of Belarusian polar research emerged after numerous informal meetings of Russian and Belarusian scientists polar explorers (V. S. Koshelev, S. S. Khodkin, V. V. Likin, A. N. Chilingarov, A. A. Gaidashov, V. E. Tyshkevich, Y. G. Giginyak, V. F. Loginov, M. E. Nikiforov, and others).



Рис. 1.1. Рабочая встреча Премьер-министра Республики Беларусь М. В. Мясникова с академиком НАН Беларуси В. Ф. Логиновым и заместителем Председателя Государственной Думы Российской Федерации, Героем Советского союза и Героем России А. Н. Чилингаровым

Fig. 1.1. Working meeting of the Prime Minister of the Republic of Belarus M. V. Myasnikovich with the Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Belarus, V. F. Loginov and the vice-speaker of the Duma, the Hero of the Soviet Union and Hero of Russia, A. N. Chilingarov

Арктики и Антарктики «Полюс» россиянин В. С. Кошелев. Результатом совещания стало поручение В. Ф. Логинову провести переговоры с представителями Российской Федерации об участии белорусских специалистов в изучении полярных районов. Такие переговоры были проведены во 2-й половине 2005 г. с руководителем Росгидромета А. И. Бедрицким, известным полярником, специальным представителем президента Российской Федерации по вопросам Международного полярного года, вице-спикером Государственной Думы Российской Федерации, Героем Советского Союза и Героем России А. Н. Чилингаровым, советником руководителя Росгидромета С. С. Ходкиным, заместителем директора, начальником Российских антарктических экспедиций Арктического и Антарктического института В. В. Лукиным (рис. 1.1). Одновременно было поручено подготовить письмо в адрес Президента Республики Беларусь А. Г. Лукашенко о перспективности проведения изучения полярных районов Земли белорусскими учеными и специалистами.

Во 2-й половине 2005 г. была проведена серия рабочих встреч с А. Н. Чилингаровым, руководителем Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды А. И. Бедрицким, советником руководителя С. С. Ходкиным, руководителями

of the meeting was the instruction given to V. F. Loginov to hold talks with representatives of the Russian Federation on the participation of Belarusian specialists in the study of the Polar Regions. Such negotiations were held in the 2nd half of 2005 with the chief of Rosgidromet A. I. Bedritsky, a famous polar explorer, the Special Representative of the President on the issues of the International Polar Year, the vice-speaker of the Duma, the hero of the Soviet Union and Hero of Russia, A. N. Chilingarov, advisor to the chief of Rosgidromet on Oceans Research S. S. Khodkin, Deputy Director, Head of Russian Antarctic expeditions of the Arctic and Antarctic Institute V. V. Lukin (Fig. 1.1). At the same time it was asked to prepare a letter to the address of the President of the Republic of Belarus A. G. Lukashenko about the prospects of exploring the polar regions of the Earth by Belarusian scientists and specialists.

In the second half of 2005, a series of working meetings with A. N. Chilingarov took place, as well as with the chief of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring A. I. Bedritsky, adviser to the chief S. S. Khodkin, chairmen the Arctic



Рис. 1.2. Рабочая встреча с начальником Российских антарктических экспедиций В. В. Лукиным
 Fig. 1.2. Working meeting with the head of Russian Antarctic expeditions V. V. Lukin

Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (Санкт-Петербург) И. Е. Фроловым и В. В. Лукиным и другими (рис. 1.2).

На этих встречах были детально обсуждены цели, задачи и возможности нашей страны в осуществлении полярных исследований. 7 декабря 2005 г. Председатель Президиума НАН Беларуси М. В. Мясникович обратился с письмом (№ 28-01/4437) к Президенту Республики Беларусь А. Г. Лукашенко с предложением об участии ученых и специалистов Республики Беларусь в арктических и антарктических экспедициях. Президент поддержал предложение НАН Беларуси и поручил 28 января 2006 г. (№ 39/124-193) Правительству и НАН Беларуси до 1 июля 2006 г. разработать и утвердить в установленном порядке комплексный план мероприятий по исследованию и использованию полярных районов Земли, а также согласился с предложением о присоединении Республики Беларусь к Договору об Антарктике и командированием с 2 февраля по 10 апреля 2006 г. белорусских специалистов Н. Н. Дубовика и В. Е. Тышкевича для работы в российской антарктической экспедиции (РАЭ 51). Совету Министров и НАН Беларуси поручалось представить предложения об участии Республики Беларусь в исследовании и использовании полярных районов Земли (поручение от 12.12.2005 № 39/540-154 П2835). Вероятно, эту дату можно

and Antarctic Research Institute (St. Petersburg), I. E. Frolov and V. V. Lukin, and others (Fig. 1.2).

Aims, objectives and possibilities of our country of carrying out polar research were discussed on these meetings. On December 7, 2005 the Chairman of the Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus M. V. Myasnikovich sent a letter (№ 28-01/4437) to the President of the Republic of Belarus Alexander Lukashenko with a proposal on the participation of scientists and experts of the Republic of Belarus in the Arctic and Antarctic expeditions. The President supported the proposal and requested the National Academy of Sciences on January 28, 2006 (№ 39/124-193) and the Government of the National Academy of Sciences till July 1, 2006 to develop and approve in the established procedure a comprehensive plan of activities in the exploration and use of the Earth's polar regions, and agreed with the proposal for accession of the Republic of Belarus to the Antarctic Treaty and sending from February 2 to April 10, 2006 of Belarusian specialists N. N. Dubovik and V. E. Tyshkevich to work at the Russian Antarctic Expedition (RAE 51). The Council Ministers and the National Academy of Sciences the Council were entrusted to submit proposals on the participation of the Republic of Belarus in the exploration and use of the Earth's Polar Regions (order

считать началом работ в истории изучения полярных районов Земли в суверенной Беларуси.

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации своим письмом от 19 декабря 2005 г. № 140-3777 в адрес Председателя Президиума НАН Беларуси М. В. Мясникова всецело поддержала заинтересованность и готовность Республики Беларусь принять участие в научных программах предстоящего Третьего Международного полярного года и выразила готовность оказать содействие в практической реализации белорусских предложений по изучению полярных районов Земли. Предложено обсудить относящиеся к этой проблеме вопросы на 30-м заседании совместной Коллегии Союзного государства по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения природной среды (Минск, 23 декабря 2005 г.).

Последующие важные шаги в осуществлении полярных исследований в Республике Беларусь были связаны с принятым 23 декабря 2005 г. на Коллегии Комитета Союзного государства по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения природной среды соответствующих решений. Коллегия приняла решение разработать комплексный план и провести в январе 2006 г. специальное совещание рабочей группы, в состав которой были включены представители от Республики Беларусь В. Ф. Логинов и И. М. Скуратович, от Российской Федерации – В. А. Мартыщенко, В. В. Лукин и С. С. Ходкин, для разработки комплексного плана работ. На заседании рабочей группы, которое было проведено 17 января 2006 г., был рассмотрен широкий круг приоритетных вопросов правового, административного и научно-организационного характера, включая концептуальные положения научной программы полярных исследований в Беларуси и возможности использования российских объектов на территории Антарктиды.

2006 г.

В феврале 2006 г. группа белорусских ветеранов-полярников – участников Советских Антарктических экспедиций (Василевский Е. П., Гайдашов А. А., Гигиняк Ю. Г., Суслов Н. М.) по приглашению Правительства Российской Федерации приняла участие в юбилейных мероприятиях по случаю 50-летия Советских/Российских исследований Антарктики. После возвращения из Москвы ветераны-полярники при поддержке Белорусского географического общества (БГО) активно поддерживали идею проведения исследований в Антарктиде.

В период с февраля по апрель 2006 г. по инициативе НАН Беларуси в Антарктику на борту НЭС «Академик Федоров» командированы два наблюдателя от

from 12.12.2005 № 39/540-154 P2835). Probably, this date can be considered the beginning of the works in the history of the study of the Earth's Polar Regions in sovereign Belarus.

The Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring of the Russian Federation in a letter dated December 19, 2005 № 140-3777 addressed to the Chairman of the Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus M. V. Myasnikov fully supported the interest and willingness of the Republic of Belarus to take part in research programs of the upcoming Third International Polar Year, and expressed readiness to assist in the practical implementation of the Belarusian proposals to study the Earth's polar regions. It is proposed to discuss the matters related to the issues at the 30th session of the Joint Collegium of the Union State Hydrometeorological and Monitoring of environmental pollution (Minsk, December 23, 2005).

Further important steps in the implementation of polar research in the Republic of Belarus were associated with the relevant decision accepted on 23 December 2005 by the Board of the Union State Committee for Hydrometeorology and Environmental Pollution Monitoring. The board decided to develop a comprehensive plan and to hold a special meeting of the working group in January 2006, part of which included representatives from the Republic of Belarus V. F. Loginov and I. M. Skuratovich, and from the Russian Federation – V. A. Martyshenko, V. V. Lukin and S. S. Khodkin, for the development of the comprehensive work plan. At the meeting of the working group, which was held on 17 January 2006 a wide range of priority issues of legal, administrative, scientific and organizational character were considered, including the conceptual provisions of the scientific program of polar research in Belarus and the possibility of using Russian facilities in Antarctica.

2006

In February 2006, a group of veterans of the Belarusian polar explorers – members of Soviet Antarctic expeditions (Vasilevsky E. P., Gaidashov A. A., Giginnyak Y. G., Suslov N. M.) at the invitation of the Government of the Russian Federation participated in the anniversary events on the occasion of the 50th anniversary of Soviet/Russian Antarctic research. After returning from Moscow polar veterans, with the support of the Belarusian Geographic Society (BGS), actively supported the idea of research in Antarctica.

In the period from February to April 2006 on the initiative of the National Academy of Sciences of Belarus two observers from the Republic of Belarus



Рис. 1.3. Белорусские ветераны-полярники. 14 марта 2006 г.

Fig. 1.3. Belarusian polar explorers-veterans. March 14, 2006

Республики Беларусь (Дубовик Н. Н., Тышкевич В. Е.) для ознакомления с современными методами организации и проведения антарктических экспедиций (см. приложение, табл. 2).

14 марта 2006 г. в Минске состоялось торжественное собрание белорусских полярников – участников Советских Антарктических экспедиций, посвященное 50-летию начала регулярных советских исследований в Антарктиде, на котором было принято решение о создании под эгидой БГО отдела Полярных исследований, объединяющего белорусских полярников. Руководителем отдела был избран участник 19-й и 25-й САЭ Н. М. Суслов, его заместителем – участник 33-й САЭ А. А. Гайдашов (рис. 1.3).

23 марта 2006 г. за № 6-15 из БГО в Совет Министров Республики Беларусь было направлено обращение белорусских ветеранов-полярников с предложением об «участии отдела Полярных исследований БГО в разработке и реализации Национальной Антарктической программы, подготовке и комплектовании кадров для полярных экспедиций».

В апреле 2006 г. делегация из Республики Беларусь в следующем составе: В. Ф. Логинов, А. П. Чайковский (НАН Беларуси), А. И. Полищук, М. Л. Амбразевич (Минприроды), А. Н. Красовский (БГУ), А. А. Гайдашов (БГО) приняла участие в состоявшейся в Санкт-Петербурге юбилейной научной конференции посвященной 50-летию Советских/Российских

(Dubovik N. N., Tyshkiewich B. E.) were sent to the Antarctic on board the «Academician Fiodorov» to get acquainted with the modern methods of organization and conduct of Antarctic expeditions (Annex, Table 2).

On March 14, 2006 in Minsk a solemn meeting of the Belarusian polar explorers – members of Soviet Antarctic expeditions dedicated to the 50th anniversary of the start of regular Soviet research in Antarctica took place, where it was decided to establish, under the supervision of the BGS, the Department of Polar Research, uniting the Belarusian polar explorers. To the position of the head of the department, the member of SAE 19 and 25 N. M. Suslov was elected, his deputy – member of SAE 33 A. A. Gaidashov (Fig. 1.3).

On March 23, 2006 a letter № 6-15 from the BGS from Belarusian polar veterans was directed to the Council of Ministers of the Republic of Belarus with the proposal of «participation of the Department of Polar Research by BGS in the development and implementation of the national Antarctic programs, training and recruiting personnel for polar expeditions».

In April 2006, a delegation from the Republic of Belarus comprising: V. F. Loginov, A. P. Tchaikovsky (NAS of Belarus), A. I. Polishchuk, M. L. Ambrazhevich (Ministry of Nature), A. N. Krasovsky (BSU), A. A. Gaidashov (BGS) participated in jubilee scientific conference took place in St. Petersburg, dedicated to the 50th anniversary of the Soviet/Russian Research in

исследований в Антарктике «Россия в Антарктике». По инициативе белорусской стороны в решение юбилейной конференции включен пункт 1.7 «Оказать коллегам из Белоруссии и Казахстана методическую и консультационную помощь в их намерениях создать национальные программы антарктических исследований».

Ниже будет представлена хронология наиболее важных решений, принятых государственными органами и общественными организациями, перечисление событий и фактов, а также состав ученых и специалистов, принявших активное участие в становлении и развитии полярных исследований и экспедиционных работ, проведенных Республикой Беларусь в 2006–2016 гг.

В мае 2006 г. в соответствии с поручениями Президента Республики Беларусь от 28 января 2006 г. № 39/124-193 П109, Совета Министров Республики Беларусь от 3 февраля 2006 г. № 05/102-94, от 15 апреля 2006 г. № 05/535-36 НАН Беларуси разработан и утвержден комплексный план мероприятий по исследованию и использованию полярных районов Земли.

В июле 2006 г. в соответствии с поручениями Президента Республики Беларусь от 8 июня 2006 г. № 39/540-75 П924, Совета Министров Республики Беларусь от 12 июня 2006 г. № 05/102-427 НАН Беларуси разработан проект Государственной целевой программы «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций на 2006–2010 годы и на период до 2015 года» (далее – Государственная программа).

Президентом Республики Беларусь Александром Лукашенко подписан Закон Республики Беларусь от 19 июля 2006 г. № 157-З «О присоединении Республики Беларусь к Договору об Антарктике».

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 31 августа 2006 г. № 1104 утверждена Государственная целевая программа «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций на 2007–2010 годы и на период до 2015 года», научным руководителем которой назначен академик В. Ф. Логинов.

В период с ноября 2006 г. по апрель 2007 г. два специалиста из Республики Беларусь (Гайдашов А. А. – Минприроды, Турышев Л. Н. – БГУ) в составе 52-й Российской антарктической экспедиции приняли участие в проведении рекогносцировочных работ по выбору места для возможного базирования Белорусских антарктических экспедиций, а также ежедневных метеорологических наблюдений, измерений общего содержания озона, изучении экологической обстановки, прокладке трассы для движения снегоходной техники между полевыми

the Antarctic «Russia in the Antarctic». At the initiative of the Belarusian party the decision Anniversary conference included a paragraph 1.7 «To provide colleagues from Belarus and Kazakhstan with methodical and consulting assistance in their intention to create a national program of Antarctic research».

Below, the chronology of the most important decisions made by public authorities and public organizations will be presented, as well as the list of events and facts and the initial list of the scientists and experts who took an active part in the development of polar research and field work conducted by the Republic of Belarus in 2006–2016.

In May 2006, in accordance with the instructions of the President of the Republic of Belarus dated January 28, 2006 № 39/124-193 P109, the Council of Ministers on 3 February 2006 № 05/102-94, dated April 15, 2006 № 05/535-36 NAS of Belarus developed and approved a comprehensive plan of activities in the exploration and use of the Earth's polar regions.

In July 2006, in accordance with the instructions of the President of the Republic of Belarus of 8 June 2006 № 39/540-75 P924, the Council of Ministers of 12 June 2006 № 05/102-427 NAS developed a draft State Program «Monitoring of the Earth's polar regions and support of the Arctic and Antarctic expeditions for 2006–2010 and for the period up to 2015» (hereinafter referred to as State Program).

The President of Belarus Alexander Lukashenko signed the Act of the Republic of Belarus dated July 19, 2006 № 157-Z «On accession of the Republic of Belarus to the Antarctic Treaty».

The Resolution of the Council of Ministers dated August 31, 2006 № 1104 approved the State target program «Monitoring of the Earth's polar regions and support of the Arctic and Antarctic expeditions in 2007–2010 and for the period till 2015». Academician V. F. Loginov was appointed to the position of the supervisor of the State Program.

In the period from November 2006 to April 2007 two experts from the Republic of Belarus (Gaidashov A. A. – Ministry of Natural Resources, Turyshev L. N. – BSU) as a part of 52nd Russian Antarctic Expedition took part in the reconnaissance work on site selection for the possible deployment of Belarusian Antarctic expeditions and complex meteorological observations, measurements of total ozone content, the study of ecological conditions, the laying of tracks for movement snowmobile equipment between field bases «Molodezhnaya» and «Mount Vechernyaya»,

базами «Молодежная» и «Гора Вечерняя», подготовке взлетно-посадочной полосы (ВПП) для посадки самолетов BASLER на лыжном шасси на Земле Эндерби в географическом комплексе Холмы Тала в районе полевых баз Российской антарктической экспедиции «Молодежная» и «Гора Вечерняя».

12–23 июня 2006 г. в Эдинбурге (Великобритания) состоялось 29-е Консультативное совещание системы Договора об Антарктике (КСДА), в котором принял участие В. Ф. Логинов. Стороны договора согласились пригласить представителя Беларуси В. Ф. Логинова в качестве наблюдателя (пункт 11, раздел – открытие совещания, заключительный доклад). Кандидатура В. Ф. Логинова была согласована в качестве контактного лица от Республики Беларусь в системе Договора об Антарктике.

27 декабря 2006 г. в Республике Беларусь вступил в силу (ратифицирован) Договор об Антарктике.

2007 г.

В период с 30 апреля по 11 мая 2007 г. в Нью-Дели (Индия) состоялось XXX КСДА, на котором полномочным представителем посольства Республики Беларусь в Индии был представлен информационный материал Республики Беларусь, как страны – участницы Договора об Антарктике, о планируемой деятельности в Антарктике.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25 сентября 2007 г. № 1211 «О создании государственного учреждения “Республиканский центр полярных исследований”» создан рабочий орган управления Государственной программой. В разные годы руководителями Республиканского центра были О. Сморгков, В. Филимов, О. Снытин. Бессменным заместителем все годы являлся и является А. А. Гайдашов.

Создание Центра сыграло важную роль в проведении научно-исследовательских и логистических работ в полярных районах Земли. Основная цель деятельности Центра – организация материально-технического обеспечения и участие в проведении комплексных научно-исследовательских работ и экспедиционной деятельности в полярных районах Земли. Основные задачи работы Центра:

- участие в подготовке и реализации государственных и международных программ в области исследования и использования полярных районов Земли;

- участие в подготовке проектов нормативных правовых актов с целью обеспечения проведения полярных исследований и выполнения Республикой Беларусь обязательств, принятых по Договору об Антарктике, Протоколу по охране окружающей среды к Договору об Антарктике, конвенций, рекомендаций Консультативных совещаний Договора об Антарктике;

preparation of the runway for landing planes on BASLER ski chassis on Enderby Land in the geographical complex Tala Hills near field bases of Russian Antarctic Expedition «Molodezhnaya» and «Mount Vechernyaya».

12–23 June 2006 Edinburgh (United Kingdom) held the 29th Consultative Meeting of the Antarctic (ATCM) of the Treaty system, which was attended by V. F. Loginov. Parties to the agreement have agreed to invite a representative of Belarus V. F. Loginov as an observer (paragraph 11, the opening section of the meeting, the final report). The candidacy of V. F. Loginov has been agreed as a contact person from the Republic of Belarus in the Antarctic Treaty System.

On December 27, 2006 Antarctic Treaty came into force (was ratified) in the Republic of Belarus.

2007

In the period from 30 April to 11 May, 2007 the XXX ATCM was held in New Delhi (India) on which the authorized representative of the Belarusian Embassy in India presented the informational material of the Republic of Belarus, as a member of the Antarctic Treaty, about the proposed activity in the Antarctic.

According to the Council of Ministers of the Republic of Belarus on September 25, 2007 No. 1211 «About the creation of public institution “Republican Center of Polar Research”» a working program of the State management body was established. Over the years, the chiefs of the Republican Center were O. Smorchkov, V. Filimov, O. Snytin. A. A. Gaidashov is a permanent deputy.

The creation of the Center played a major role in the carrying out scientific work in the polar regions of the Earth. The main aim of the Center’s activities is organization of material support and participation in the execution of complex research work and forwarding activities in the polar regions of the Earth; the main objectives are:

- participation in preparation and realization of State and International programs in the field of exploration and use of the polar regions of the Earth;

- participation in the preparation of drafts of regulations to ensure the carrying out of polar research and implementation of the commitments of the Republic of Belarus made under the Antarctic Treaty, the Protocol on environmental protection to the Antarctic Treaty, conventions, Consultative Meetings of the Antarctic Treaty recommendations;



Рис. 1.4. Открытие первого российско-белорусского полевого лагеря 1-й БАЭ (2007–2008 гг.) (Киселев В. В., Гайдашов А. А.)

Fig. 1.4. The opening of the first Russian-Belarusian field camp of the 1st BAE (2007–2008) (Kiselev V. V., Gaidashov A. A.)

– развитие и укрепление международного сотрудничества в области изучения полярных районов Земли и логистики;

– организация материально-технического и логистического обеспечения полярных исследований, развитие приборной базы и элементов жизнеобеспечения полярной инфраструктуры, а также их ремонт, профилактика, модернизация и своевременная замена, проведение работ в области охраны труда;

– организация информационного обеспечения населения и популяризация знаний в области изучения полярных районов Земли.

В сентябре 2007 г. Минприроды и НАН Беларуси организовано проведение первой тематической выставки, посвященной исследованиям Антарктиды Республикой Беларусь.

В 2007 г. проведен комплекс мероприятий по проведению первой Белорусской антарктической экспедиции (БАЭ) в составе четырех специалистов (см. рис. 1 на вклейке; приложение, табл. 3). 18 декабря 2007 г. открыт первый российско-белорусский сезонный лагерь в Антарктиде (рис. 1.4). 23 декабря 2007 г. на месте предполагаемого базирования БАЭ у горы Вечерняя в Антарктиде впервые поднят флаг Республики Беларусь.

– development and strengthening of international cooperation in the field of exploration of polar regions of the Earth and logistics;

– organization of material support and logistics of polar research, development of the instrument base and life support elements of the polar infrastructure, their repair, preventive maintenance, modernization and timely replacement, works in the field of labor safety;

– organization of information support of the population and popularization of knowledge in the field of exploration of polar regions of the Earth.

In September 2007, the Ministry of Environment and the National Academy of Sciences organized the first thematic exhibition dedicated to the research of Antarctica by the Republic of Belarus.

In 2007 a number of measures for the first Belarusian Antarctic Expedition (hereinafter – BAE), composed of 4 specialists (see Fig. 1 on the inset, and Annex, Table 3). On December 18, 2007 the first Russian-Belarusian seasonal camp in the Antarctic was opened (Fig. 1.4). On December, 23 2007 on the site of the planned BAE base at Mount Vecherniya in Antarctica, the flag of the Republic of Belarus was raised for the first time.

2008 г.

Президентом Республики Беларусь Александром Лукашенко подписан Указ от 10 апреля 2008 г. № 200 «О присоединении Республики Беларусь к Протоколу по охране окружающей среды к Договору об Антарктике».

В июне 2008 г. в Киеве (Украина) состоялось XXXI КСДА, в котором принял участие А. А. Гайдашов. На XXXI КСДА в качестве официального документа был распространен информационный материал Республики Беларусь о деятельности в Антарктиде в 2007–2008 гг., планах исследований и экономической деятельности Республики Беларусь в рамках Договора об Антарктике.

Проведен комплекс мероприятий по организации и проведению второй БАЭ в составе 6 специалистов (см. рис. 2 на вклейке; приложение, табл. 3).

2009 г.

С 6 по 17 апреля 2009 г. в г. Балтимор (США) состоялось XXXII КСДА, в работе которого принимал участие Временный поверенный в делах Республики Беларусь в США. На XXXII КСДА в качестве официального документа было распространено информационное сообщение от Республики Беларусь об участии нашей страны в проведении исследований в Антарктиде в 2007–2009 гг. и планах дальнейшего участия Республики Беларусь в исследованиях Антарктики в рамках Договора об Антарктике.

Выполнена работа по корректировке мероприятий (заданий) Государственной целевой программы на 2010 г. В октябре 2009 г. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 27 октября 2009 г. № 1405 утверждена Государственная целевая программа в новой редакции.

В соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 404 от 31 марта 2009 г. разработан проект Концепции Государственной целевой программы на 2010–2015 гг.

В сентябре 2009 г. Минприроды и НАН Беларуси провели вторую тематическую выставку, посвященную исследованиям Антарктиды в рамках реализации мероприятий (заданий) Государственной программы в 2007–2009 гг.

2010 г.

Осуществлен комплекс мероприятий по проведению третьей БАЭ в составе двух человек (см. рис. 3 на вклейке; приложение, табл. 3).

2011 г.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 10 мая 2011 г. № 587 «О некоторых вопросах организации исследований полярных районов Земли» утверждена Государственная программа

2008

The President of Belarus Alexander Lukashenko signed a decree dated April 10, 2008 № 200 «On accession of the Republic of Belarus to the Protocol to the Antarctic Treaty Environmental Protection».

In June 2008 in Kiev (Ukraine) the XXXI ATCM was held, which was attended by A. A. Gaidashov. At ATCM XXXI as an official document the informative materials on the activities of the Republic of Belarus in Antarctica in 2007–2008 were distributed, on the plans of research and economic activities of the Republic of Belarus in the framework of the Antarctic Treaty.

A complex of measures on organization and holding of the second BAE consisting of 6 experts (see Fig. 2 on the inset, and Annex, Table 3) was carried out.

2009

From 6 to 17 April 2009 Baltimore (USA) held XXXII ATCM, and Chargé d'Affaires of the Republic of Belarus in the United States participated in it. At the XXII ATCM in an official document was distributed as an information message from the Republic of Belarus on the participation of our country in conducting research in Antarctica in 2007–2009 and plans for further participation of the Republic of Belarus in the Antarctic research under the Antarctic Treaty.

The work on updating the activities (tasks) of the State Target Program for 2010 was carried out. In October 2009, the decision of the Council of Ministers dated October 27, 2009 № 1405 approved the State program in the new edition.

In accordance with the decision of the Council of Ministers № 404, dated March 31, 2009, a draft concept of the State Target Program for 2010–2015 was developed.

In September 2009, the Ministry of Environment and the National Academy of Sciences conducted a second thematic exhibition dedicated to the research of Antarctica as part of the activities (tasks) in the 2007–2009 of the State Program.

2010

The complex of activities for the third BAE for 2 persons (see Fig. 3 on the inset, and Annex, Table 3) was carried out.

2011

The Council of Ministers of the Republic of Belarus, according to the decision dated May 10, 2011 № 587 «On some issues of the organization of research in polar regions of the Earth» approved the State



Рис. 1.5. Встреча белорусских полярников с руководством Национальной академии наук Беларуси и Минприроды
 Fig. 1.5. Belarusian polar explorers at the reception in the Administration of the National Academy of Sciences of Republic of Belarus and Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus

«Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций на 2011–2015 годы» (далее – Госпрограмма). Научным руководителем Госпрограммы назначен директор Института природопользования НАН Беларуси А. К. Карабанов. Согласно этому постановлению функции заказчика-координатора Госпрограммы и государственное учреждение «Республиканский центр полярных исследований» переданы из ведения Минприроды Республики Беларусь в ведение НАН Беларуси. Это событие сыграло положительную роль в организации антарктической деятельности благодаря активной поддержке Президиума НАН Беларуси и его Председателя академика В. Г. Гусакова, а также Отделения химии и наук о Земле (Усанов С. А. и Левашкевич В. Г.) (рис. 1.5).

Приказом Председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси № 23 от 29 ноября 2011 г. утверждено Положение о белорусской арктической и антарктической экспедиции.

Осуществлен комплекс мероприятий по проведению четвертой БАЭ в составе двух человек (см. рис. 4 на вклейке; приложение, табл. 3).

program «Monitoring of the Earth's polar regions and support of the Arctic and Antarctic expeditions in 2011–2015» (hereafter referred to as State program). A. K. Karabanov, the director of the Institute of Nature at NAS of Belarus, was appointed to the position of scientific supervisor of the State Program. According to this resolution, the function of the customer-coordinator of the State Program and the state institution «National Center for Polar Research» were transferred from the Ministry of Natural Resources of the Republic of Belarus to the management of NAS of Belarus. This event played a positive role in the implementation of the Antarctic activities thanks to the active support of the Presidium of the National Academy of Sciences and its Chairman V. G. Gusakov and the Department of Chemistry and Earth Sciences (Usanov S. A., Levashkevich V. G.) (Fig. 1.5).

Order of the Chairman of the Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus № 23, dated November 29, 2011 approved the Regulations on the Belarusian Arctic and Antarctic expeditions.

A complex of measures on the fourth BAE as part of two persons (see Fig. 4 on the inset, and Annex, Table 3) was carried out.

2012 г.

По поручению Совета Министров Республики Беларусь Национальной академией наук Беларуси и Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь разработан перспективный план поэтапного создания в период 2014–2018 гг. Белорусской антарктической станции.

В августе 2012 г. на XXIV совещании Совета управляющих национальных антарктических программ (далее – КОМНАП) в г. Портленд (США) Республике Беларусь был согласован статус страны-наблюдателя в этой организации, с прохождением трехлетнего испытательного срока. Кандидатура представителя РЦПИ НАН Беларуси А. А. Гайдашова была согласована действительными членами КОМНАП в качестве кандидата в Управляющие национальной антарктической программой Республики Беларусь.

Осуществлен комплекс мероприятий по проведению пятой БАЭ в составе трех человек (см. рис. 5 на вклейке; приложение, табл. 3).

2013 г.

НАН Беларуси и Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь по согласованию с Министерством финансов Республики Беларусь 06.03.2013 г. утвержден План создания Белорусской антарктической станции в новой редакции.

15 марта 2013 г. на Высшем Государственном Совете Союзного государства в Санкт-Петербурге, в присутствии Президента Республики Беларусь Александра Лукашенко и Президента Российской Федерации Владимира Путина между Правительством Республики Беларусь и Правительством Российской Федерации подписано «Соглашение о сотрудничестве в Антарктике».

28 марта 2013 г. в целях координации деятельности государственных органов и иных организаций в области изучения и освоения полярных районов Земли и исполнения международных обязательств Республики Беларусь в рамках Договора об Антарктике и Протокола по охране окружающей среды к указанному Договору совместным постановлением НАН Беларуси и Минприроды Республики Беларусь от 28 марта 2013 г. № 16/1 «О некоторых вопросах деятельности в Антарктике» утверждает Положение о Межведомственной комиссии Республики Беларусь по вопросам Антарктики и состав данной комиссии. Председателем комиссии назначен заместитель Председателя Президиума НАН Беларуси академик А. В. Сукало, заместителем Председателя комиссии – Первый заместитель Минприроды в Республике Беларусь В. В. Кулик.

Представители Республики Беларусь В. Ф. Логинов, И. И. Рогозин, А. А. Гайдашов в мае 2013 г. при-

2012

On behalf of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, National Academy of Sciences of Belarus and the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of Belarus developed a perspective plan for the phased establishment in the period 2014–2018 of Belarusian Antarctic Station.

In August 2012 at the XXIV at the meeting of the Council of Managers of National Antarctic Programs (hereinafter – COMNAP) in Portland (USA), the Republic of Belarus received the observer status in this organization, with the three-year trial period. The candidacy of Representative at RTSPI NASB A. A. Gaidashov was agreed by the members of COMNAP as a candidate for the Managers of National Antarctic Program of the Republic of Belarus.

A complex of measures for the fifth BAE consisting of three people (see Fig. 5 on the inset, and Annex, Table 3) was carried out.

2013

National Academy of Sciences of Belarus and the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus in coordination with the Ministry of Finance of the Republic of Belarus 03.06.2013 approved the plan of creation of the Belarusian Antarctic Station in the new edition.

On March 15, 2013 at the Supreme State Council of the Union State in St. Petersburg, in the presence of the President of Belarus Alexander Lukashenko and the President of Russian Federation Vladimir Putin, between the Government of the Republic of Belarus and the Russian Federation the «Agreement on cooperation in the Antarctic» was signed.

On March 28, 2013 aiming at the coordination of the activities of state bodies and other organizations in the research and development of the Polar Regions of the Earth and the implementation of international obligations of the Republic of Belarus in the framework of the Antarctic Treaty and the Environmental Protocol to the said Agreement joint resolution of the NAS of Belarus and the Ministry of Environment of the Republic of Belarus dated March 28, 2013 № 16/1 «On certain issues of activities in Antarctic» approves the Regulations on the Interdepartmental Commission of the Republic of Belarus on Antarctic issues and the composition of the Commission. The Deputy Chairman of the Presidium of the National Academy of Sciences, academician A. V. Sukalo, was appointed to the position of the Chairman of the commission, the first vice-minister of Nature of the Republic of Belarus V. V. Kulik was appointed to the position of the Deputy Chairman.

The representatives of the Republic of Belarus V. F. Loginov, I. I. Rogozin, A. A. Gaidashov in May 2013



Рис. 1.6. Участники российско-белорусской рабочей группы Соглашения по Антарктике

Fig. 1.6. Members of the Russian-Belarusian Working Group on the Antarctic Agreement

няли участие в XXXVI КСДА и в пленарном заседании XVI встречи Комитета по охране окружающей среды (далее – КООС) в Брюсселе (Бельгия).

Участие в XXXVI КСДА позволило проинформировать страны – участницы Договора об Антарктике о деятельности Республики Беларусь в Антарктике за период с 2007 г. по 2012 г., а также о планах строительства Белорусской антарктической станции в 2014–2018 гг.

В июле 2013 г. создана двухсторонняя рабочая группа по реализации положений Соглашения о сотрудничестве в Антарктике между Правительством Республики Беларусь и Правительством Российской Федерации в составе 8 человек (по 4 человека от каждой из сторон). В октябре 2013 г. в Санкт-Петербурге состоялось первое заседание вышеназванной рабочей группы (рис. 1.6). От Республики Беларусь в заседании приняли участие В. Ф. Логинов и С. В. Карека.

Представитель Республики Беларусь А. А. Гайдашов принял участие в XXV заседании КОМНАП в г. Сеул (Южная Корея) в июле 2013 г. На пленарном заседании КОМНАП представлен доклад о деятельности Республики Беларусь в Антарктике на современном этапе, а также о планах строительства Белорусской антарктической станции в 2014–2018 гг.

В октябре 2013 г. НАН Беларуси организована и проведена третья тематическая выставка, посвя-

took part in the XXXVI ATCM and in the XVI Summit on Environment Protection Committee (hereinafter – CEP) in Brussels (Belgium).

The participation in the XXXVI ATCM enabled to inform the member countries of the Antarctic Treaty about the activity of the Republic of Belarus in the Antarctic for the period from 2007 to 2012, as well as the terms of construction of the Belarusian Antarctic Station in 2014–2018.

In July 2013 a tripartite working group on the implementation of the provisions of the Agreement on cooperation in the Antarctic between the Government of the Republic of Belarus and the Russian Federation of 8 people (4 people from each side). In October 2013 St. Petersburg hosted the first meeting of the above-mentioned working group (Fig. 1.6). The Republic of Belarus was presented in the meeting by V. F. Loginov, S. V. Kakareka.

The representative of the Republic of Belarus A. A. Gaidashov participated in the XXV COMNAP meeting in Seoul (South Korea) in July 2013 at the plenary meeting of the COMNAP a report on the activities of the Republic of Belarus in the Antarctic at the present stage, as well as plans for the construction of the Belarusian Antarctic Station in 2014–2018 was presented.

In October 2013 National Academy of Sciences organized and hosted the third thematic exhibition

щенная исследованиям Антарктики Республикой Беларусь в рамках реализации мероприятий (заданий) Государственной программы в 2007–2013 гг.

10 октября 2013 г. в г. Санкт-Петербург (Российская Федерация) подписано «Соглашение об оказании поддержки работ БАЭ при проведении совместных антарктических операций в рамках 59-й Российской антарктической экспедиции» между ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», РАЭ (Российская Федерация) и ГУ «Республиканский центр полярных исследований» (Республика Беларусь) и утверждены программы совместных работ по исследованию атмосферного аэрозоля, озоносферы, а также живых морских, пресноводных и наземных биологических ресурсов Антарктики в течение полевого сезона 6-й БАЭ и 59-й РАЭ 2013–2014 гг.

В целях выполнения поручений Премьер-министра Республики Беларусь М. В. Мясникова об организации работы по изучению недр Антарктической зоны между Федеральным государственным научно-производственным предприятием «Полярная морская геологоразведочная экспедиция» (Российская Федерация) и Государственным учреждением «Республиканский центр полярных исследований» (Республика Беларусь) 19 сентября 2013 г. подписано «Соглашение о сотрудничестве и совместной деятельности». В рамках указанного Соглашения Стороны договорились о совместной реализации научных программ и проектов по исследованию Антарктики.

24 октября 2013 г. в Минске, с участием представителей НАН Беларуси и Минприроды Республики Беларусь, прошла рабочая встреча с Почетным консулом Республики Беларусь в Новой Зеландии Стюартом Праером (Stuart Prior) по актуальным проблемам Антарктики и перспективам белорусско-новозеландского научного сотрудничества в Антарктике.

Осуществлен комплекс мероприятий по проведению шестой БАЭ в составе трех человек (см. рис. 6 на вклейке; приложение, табл. 3).

2014 г.

В мае 2014 г. на XXXVII КСДА в Бразилиа (Бразилия) рассмотрена Всесторонняя оценка окружающей среды (ВООС) в связи с планами Республики Беларусь по строительству национальной антарктической станции (рис. 1.7). Представленная С. В. Какарека ВООС в целом была одобрена с отдельными замечаниями.

26–29 мая 2014 г. в Республике Беларусь в г. п. Нарочь прошла I Международная научно-практическая конференция «Мониторинг состояния природной среды Антарктики и обеспечение деятельности национальных экспедиций» (рис. 1.8). В работе конферен-

dedicated to the research of the Antarctic Republic of Belarus in the framework of the activities (tasks) of the State Program for 2007–2013.

On October 10, 2013 in Saint-Petersburg (Russia) the «Agreement on support of the works of BAE during joint Antarctic operations within 59th Russian Antarctic Expedition» was signed between FGBI «Arctic and Antarctic Research Institute», Russian Antarctic Expedition (Russian Federation) and State Enterprise «Republican Polar Research Center» (Republic of Belarus) and programs of joint studies on atmospheric aerosols, ozone layer, as well as the living marine, freshwater and terrestrial biological resources of the Antarctic field season within the 6th BAE and 59th RAE for 2013–2014 were approved.

Aiming at the implementation of the orders of the Prime Minister of Belarus Mikhail Myasnikov on the organization of work for exploration of mineral resources of the Antarctic area, between the Federal State Research and Production Enterprise «Polar Marine Geological Expedition» (Russian Federation) and the State Institution «National Center of Polar Research» (Republic of Belarus) September 19, 2013 the «Agreement on Cooperation and work together» was signed. In the framework of this Agreement, the Parties agreed on the joint implementation of research programs and projects on Antarctic Research.

On October 24, 2013 in Minsk, with the participation of representatives of the National Academy of Sciences of Belarus and the Ministry of Natural Resources of the Republic of Belarus, a working meeting was held with the Honorary Consul of the Republic of Belarus in New Zealand Stuart Prior on current issues and prospects of the scientific cooperation between Belarus and New Zealand in Antarctic.

A complex of measures for the sixth BAE consisting of three people (see Fig. 6 on the inset, and Annex, Table 3) was carried out.

2014

In May 2014, during the XXXVII ATCM in Brasilia (Brazil), a Comprehensive Environmental Evaluation (CEE) was carried out in connection with the plans of the Republic of Belarus for the construction of a national Antarctic station (Fig. 1.7). The session was attended by S. V. Kakareka CEE, as a whole, was approved with certain remarks.

26–29 May 2014 in the Republic of Belarus the town of Naroch held the I International scientific-practical conference «Monitoring the state of the Antarctic environment and the maintenance of the national expedition» (Fig. 1.8). The conference was attended by



Рис. 1.7. Представление Всесторонней оценки окружающей среды в связи с планами Республики Беларусь по строительству национальной антарктической станции на XXXVII КСДА в Бразилиа (Бразилия), 2014 г.

Fig. 1.7. Presentation of Comprehensive Environmental Evaluation in connection with the plans of the Republic of Belarus for the construction of a national Antarctic station during the XXXVII ATCM in Brasilia (Brazil), 2014

ции приняли участие 60 специалистов из 22 организаций Беларуси, России, Украины. Конференция стала важным этапом в налаживании международного научного и логистического сотрудничества Республики Беларусь с другими странами – участниками Договора об Антарктике.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 6 августа 2014 г. № 760 в новой редакции утверждена Государственная программа.

Представитель Республики Беларуси А. А. Гайдашов принял участие в XXIII конференции Научного комитета по изучению Антарктики (СКАР) в г. Окленд в августе 2014 г. и в XXVI заседании КОМНАП в г. Крайстчерч (Новая Зеландия). На пленарном заседании КОМНАП была представлена информация о деятельности Республики Беларусь в Антарктике на современном этапе, в которой подтверждена позиция нашей страны о подготовке в 2015 г. заявки в КОМНАП на согласование статуса постоянного члена этой организации.

Осуществлен комплекс мероприятий по проведению седьмой БАЭ в составе пяти человек (см. рис. 7 на вклейке; приложение, табл. 3).

2015 г.

В мае 2015 г. на XXXVIII сессии КСДА в г. София (Болгария) (рис. 1.9) делегацией Республики Беларусь

60 experts from 22 participating organizations from Belarus, Russia and Ukraine. The conference was an important step in establishing international scientific and logistical cooperation of the Republic of Belarus with other participating countries of the Antarctic Treaty.

According to the Decree of the Council of Ministers on August 6, 2014 № 760, a new version of the State Program was approved.

The representative of the Republic of Belarus A. A. Gaidashov participated in the XXVII Conference of the Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR) in Auckland in August of 2014 and XXVI meeting of COMNAP in Christchurch (New Zealand). At the plenary meeting of COMNAP information on the activities of the Republic of Belarus in the Antarctic at the present stage was provided, which confirmed the position of our country on the preparation of the application to COMNAP to harmonize the status of a permanent member of the organization in 2015.

The complex of activities for the seventh BAE composed of five people (see Fig. 7 on the inset, and Annex, Table 3) was carried out.

2015

In May 2015 on the XXXVIII session of the ATCM in Sofia (Bulgaria) (Fig. 1.9), the delegation of the Repub-



Рис. 1.8. Участники I Международной научно-практической конференции «Мониторинг состояния природной среды Антарктики и обеспечение деятельности национальных экспедиций» (Беларусь, 2014 г.)

Fig. 1.8. Participants of the I International scientific-practical conference «Monitoring the state of the Antarctic environment and the maintenance of the national expedition» (Belarus, 2014)

(Логинов В. Ф., Гайдашов А. А., Какарека С. В., Снытин О. В.) представлены два документа:

– информационный документ под № IP7

«О деятельности Республики Беларусь в Антарктике в 2007–2014 гг. на современном этапе». Деятельность Республики Беларусь в Антарктике получила одобрение Консультативных Сторон Договора об Антарктике, информационный документ Республики Беларусь под № IP7 включен в Итоговый отчет XXXVIII ATCM;

– информационный документ под № IP39

«Строительство и функционирование Белорусской антарктической станции на горе Вечерняя, Земля Эндерби – Окончательная Всесторонняя оценка окружающей среды». Представленный документ был одобрен без замечаний, что означало принятие окончательного положительного решения об осуществлении Республикой Беларусь предлагаемой деятельности (строительство станции).

В августе 2015 г. на XXVII заседании КОМНАП в г. Тромсø (Норвегия), делегатом Республики Беларусь (уполномоченный представитель) А. А. Гайдашовым представлен доклад о деятельности нашей страны в Антарктике и планах строительства Белорусской антарктической станции, а также рассмотрена заявка Республики Беларусь о согласовании статуса постоянного члена КОМНАП. По результатам закрытого голосования Республика Беларусь единогласно была

lic of Belarus (Loginov V. F., Gaidashov A. A., Kakareka S. V., Snytin O. V.) two documents were submitted:

– Information document № IP7 «About the activity of the Republic of Belarus in Antarctic in 2007–2014 and at the present stage». The activities of the Republic of Belarus in the Antarctic were approved by the Consultative Parties to the Antarctic Treaty, information document of the Republic of Belarus № IP7 was included in the Final Report of XXXVIII ATCM;

– Information document under № IP39 «The construction and operation of the Belarusian Antarctic station on Mount Vecherniaya, Enderby Land – Final Comprehensive Environmental Evaluation». The presented document was approved without comment, which meant a final positive decision on the implementation of the Republic of Belarus of the proposed activity (construction of the station).

In August 2015 at the XXII meeting of COMNAP in Tromsø (Norway), the delegate of the Republic of Belarus (authorized representative) A. A. Gaydashov presented a report on our country's activities in Antarctic and the plans of the construction of the Belarusian Antarctic station, and also the application of the Republic of Belarus on the harmonization of the status of permanent member of COMNAP was considered. As a result of closed voting the Republic of Belarus



Рис. 1.9. Представители Республики Беларусь и Российской Федерации во время XXXVIII сессии КСДА в Софии (Болгария). Слева направо: С. В. Какарека, В. Ф. Логинов, В. В. Лукин, В. Н. Помелов

Fig. 1.9. Representatives of the Republic of Belarus and the Russian Federation during the XXXVIII session of the ATCM in Sofia (Bulgaria). From the left to the right: S. Kakareka, V. Loginov, V. Lukin, V. Pomelov

принята постоянным членом КОМНАП, а кандидатура представителя РЦПИ НАН Беларуси А. А. Гайдашова была одобрена в качестве Управляющего национальной антарктической программой Республики Беларусь. В работе XXVII заседания COMNAP принимали участие делегации из 29 стран постоянных членов КОМНАП и 21 представитель от стран-наблюдателей, а также международные эксперты.

20 октября 2015 г. состоялась государственная приемка первого трехсекционного служебно-жилого модуля Белорусской антарктической станции. В мероприятиях приняли участие руководители и представители от Совета Министров Республики Беларусь, НАН Беларуси, Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, Министерства образования, Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Белорусского государственного университета, Белорусского Патриархата Русской Православной церкви, ветераны-полярники, руководители ряда государственных, частных и общественных организаций Республики Беларусь, участвующих в реализации мероприятий Государственной программы по исследованию полярных районов Земли, а также представители центральных средств массовой информации Республики Беларусь. Приветственное письмо белорусским полярникам и участникам встречи направил вице-премьер Правитель-

was unanimously adopted by a permanent member of COMNAP, and the candidacy of the representative of RCPI NASB A. A. Gaydashov was approved as the Managers of National Antarctic Program of the Republic of Belarus. The XXVII meeting of COMNAP was attended by delegations from 29 countries permanent members of COMNAP and 21 representatives from the observer countries as well as international experts.

On October 20, 2015 a public acceptance of the first three sectional office-residential unit of the Belarusian Antarctic Station was held. The event was attended by leaders and representatives from the Council of Ministers of the Republic of Belarus, National Academy of Sciences of Belarus, the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection, Ministry of Education, Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, the Belarusian State University, Belarusian Patriarchate of the Russian Orthodox Church, polar-veterans, heads of state, private and public organizations of the Republic of Belarus participating in the implementation of the State Program on the study of the polar regions of the Earth, as well as representatives of central mass media of the Republic of Belarus. The welcome letter to Belarusian polar explorers and participants of the meeting was addressed by the Vice-Premier of the Government of the Republic of Belarus Vladimir Semashko. After the

ства Республики Беларусь Владимир Семашко. После завершения мероприятий Государственной приемки, Патриарший Экзарх Белорусский и Заславский Павел совершил церковный обряд освящения первого модуля Белорусской антарктической станции.

Осуществлен комплекс мероприятий по проведению восьмой БАЭ в составе пяти специалистов (см. рис. 8 на вклейке; приложение, табл. 3).

activities of the State of acceptance, Patriarchal Exarch of Belarus and Zaslavl Pavel carried out the Church ceremony of consecration of the first module of the Belarusian Antarctic station.

The complex arrangements for the eighth BAE composed of five experts (see Fig. 8 on the inset, and Annex, Table 3) were carried out.



1.3. Научная и логистическая деятельность в рамках Государственных программ полярных исследований

Цели и задачи выполненных в 2007–2015 гг. Государственных программ были направлены на проведение мониторинга полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций.

Главные цели работы в рамках Государственных программ:

- развертывание научных исследований и мониторинга состояния природной среды;
- получение новых данных о состоянии природной среды и климата Антарктики;
- проведение оценки влияния изменений в атмосфере, гидросфере и криосфере антарктических широт на глобальные изменения окружающей среды и климата;
- выполнение международных обязательств Республики Беларусь в рамках Договора об Антарктике и Протокола по охране окружающей среды к Договору об Антарктике;
- развитие международного сотрудничества в интересах науки и практики;
- экологобезопасное использование природных ресурсов.

Основные задачи Государственной программы в этот период:

- создание технических средств и методов для изучения процессов и явлений в атмосфере, гидросфере, криосфере, литосфере, растительном и животном мире Антарктики;
- развитие современной системы комплексного мониторинга окружающей среды в районе работы БАЭ с использованием дистанционных (лидарных, спутниковых) и наземных систем наблюдений;
- проведение научных экспедиций и создание основы для организации инфраструктуры Белорусской антарктической станции (далее – БАС), ее оснащение современными энергетическими и тех-

1.3. Scientific and logistic activities under the State program of polar research

Aims and objectives of state programs executed in 2007–2015 were aimed at the implementation of monitoring of the polar regions of the Earth and ensuring activities of the Arctic and Antarctic expeditions.

The main objectives of the work under the state program are as follows:

- deployment of scientific research and monitoring of the natural environment;
- obtaining of new data on the state of the Antarctic environment and climate;
- assessment of the impact of changes in the atmosphere, hydrosphere, cryosphere and Antarctic latitudes for global environmental change and climate;
- fulfillment of international obligations of the Republic of Belarus in the framework of the Antarctic Treaty and the Environmental Protocol to the Antarctic Treaty;
- development of international cooperation in the interests of science and practice;
- environmentally safe use of natural resources.

The main tasks of the State program in this period were as follows:

- creation of technical means and methods for the study of processes and phenomena in the atmosphere, hydrosphere, cryosphere, lithosphere, flora and fauna of Antarctic;
- development of a modern system of integrated environmental monitoring in the area of BAE activities (lidar, satellite) and inland observation systems.

- conducting of scientific expeditions and provide a basis for the organization of the infrastructure of the Belarusian Antarctic station (hereinafter – BAS), its equipment with modern energy and technological



Рис. 1.10. Обсуждение перспектив совместных исследований в Антарктике: А. Н. Чилингаров, академики А. К. Карабанов и В. Ф. Логинов

Fig. 1.10. Discussions of the prospects of joint research in Antarctica: A. N. Chilingarov, Academicians A. K. Karabanov and V. F. Loginov

нологическими агрегатами, новейшим медицинским оборудованием, возобновляемыми источниками энергии, средствами связи и транспорта, эффективными системами персональной и экологической безопасности, приборами для научных наблюдений и спортивно-оздоровительным инвентарем;

- развитие международного сотрудничества при изучении полярных районов Земли, активное участие в работе ключевых общественных организаций Договора об Антарктике и интеграция национальных систем наблюдений в международные сети мониторинга окружающей среды.

Научное обеспечение Государственных программ в 2007–2015 гг. было организовано по следующим направлениям:

- комплексный наземный и спутниковый мониторинг тропосферного аэрозоля, облаков и подстилающей поверхности в Антарктиде, создание приборного, методического и программного обеспечения для калибровки спутниковых оптических инструментов на полигоне в Антарктиде;

- организация и проведение комплексных исследований состояния озоносферы и ультрафиолетовой радиации в Антарктике, гидрометеорологическое обеспечение деятельности БАЭ и проведение климатических исследований;

- разработка радиотехнических средств для мониторинга снежно-ледяного покрова и атмосферы в полярных районах;

units, the latest medical equipment, renewable energy, communications and transport, effective systems of personal and environmental safety, instruments for scientific observation and fitness supplies;

- development of international cooperation in the study of the polar regions of the Earth, an active part in the work of key public organizations of the Antarctic Treaty and the integration of national observing systems in international environmental monitoring networks.

The scientific support of the State program of the period 2007–2015 was organized in the following areas:

- integrated terrestrial and satellite monitoring of tropospheric aerosol, clouds and underlying surface in the Antarctic, the creation of the instrument, methodology and software for the calibration of satellite optical instruments on the ground in Antarctica;

- organizing and conducting of comprehensive studies of the ionosphere and the state of ultraviolet radiation in the Antarctic, hydrometeorological support of the Belarusian Antarctic expedition and conducting climate research;

- development of radio equipment for monitoring snow and ice and the atmosphere in the Polar Regions;

- геофизические исследования земной коры в Антарктиде в районах базирования белорусских антарктических экспедиций;
- оценка перспектив использования возобновляемых ресурсов прибрежных экосистем Антарктики и воздействия на окружающую среду деятельности, связанной с организацией и функционированием БАЭ;
- оценка психофизиологического состояния человека и выявление состояния психофизиологической дизадаптации в условиях действия экстремальных производственно-социальных и климато-геофизических природных факторов.

Большинство научных программ реализовывалось в полевых условиях Антарктиды Белорусскими антарктическими экспедициями в тесном взаимодействии с Российской Федерацией (рис. 1.10). Результаты научных исследований за десятилетний период представлены в последующих главах.



1.4. Проведение экспедиций и формирование инфраструктуры в Антарктиде

В период с ноября 2007 г. по апрель 2016 г. в рамках реализации мероприятий Государственной программы было организовано восемь Белорусских антарктических экспедиций, в которых приняли участие 32 белорусских специалиста.

Места базирования белорусских специалистов в период с декабря 2006 г. по апрель 2016 г. на Антарктическом континенте:

- сезоны 2006/07, 2007/08 и 2008/09 гг. – полевой лагерь БАЭ, развернутый в месте расположения законсервированной инфраструктуры российской полевой базы «Гора Вечерняя», Холмы Тала, Земля Эндерби в Восточной Антарктиде, а также российская антарктическая полевая база «Молодежная»;
- сезон 2010/11 гг. – кратковременно борт НЭС «Академик Федоров», а также российские антарктические станции «Мирный» и «Прогресс» (кратковременно);
- сезоны 2011/12 и 2012/13 гг. – полевой лагерь БАЭ, развернутый в месте расположения законсервированной российской полевой базы «Гора Вечерняя», Холмы Тала, Земля Эндерби в Восточной Антарктиде, а также российская антарктическая полевая база «Молодежная» и российские антарктические станции «Новолазаревская» и «Беллинсгаузен» (кратковременно);
- сезон 2013/14 гг. – российская антарктическая станция «Прогресс», а также российские полевые базы «Прогресс-1» и «Прогресс-3» (кратковременно);

– geophysical researched of the Earth's crust in Antarctica in the areas of deployment of the Belarusian Antarctic expeditions;

– assessment of the prospects of renewable resources of the Antarctic coastal ecosystems and the environmental impact of activities related to the organization and functioning of the BAS;

– assessment of psychophysiological state and identification of the state of psychophysiological maladjustment in the conditions of extreme production and social and climatic and geophysical natural factors.

Most research programs were implemented in Antarctic by Belarusian Antarctic Expeditions in close cooperation with the Russian Federation (Fig. 1.10). The results of scientific research in the ten-year periods are presented in the following chapters.

1.4. Carrying out the expeditions and formation of infrastructure in Antarctica

In the period from November 2007 to April 2016 within the framework of the implementation of the State Program of eight Belarusian Antarctic expeditions were organized, which, in total, were attended by 32 Belarusian specialists.

The basing places of Belarusian specialists in the period from December 2006 to April 2016 on the Antarctic continent were:

- seasons 2006/07, 2007/08 and 2008/09 – field camp of BAE located at the site of the Russian field base location canned infrastructure of «Mount Vechernyaya», Thala Hills, Enderby Land in East Antarctica, as well as Russian Antarctic field base «Molodezhnaya»;
- season 2010/11 – shortly the vessel of NES «Academician Fiodorov» and the Russian Antarctic stations «Mirny» and «Progress» (short term);
- seasons 2011/12 and 2012/13 – field camp BAE located at the place of abandoned Russian field base at «Mount Vechernyaya», Thala Hills, Enderby Land in East Antarctica, as well as Russian Antarctic field base «Molodezhnaya» and Russian Antarctic stations «Novolazarevskaya» and «Bellingshausen» (short term);
- season 2013/14 – Russian Antarctic stations «Progress», as well as Russian field bases «Progress-1» and «Progress-3» (short term);

– сезон 2014/15 гг. – полевой лагерь БАЭ, развернутый в месте расположения законсервированной инфраструктуры российской полевой базы «Гора Вечерняя», Холмы Тала, Земля Эндерби в Восточной Антарктиде, а также российская антарктическая полевая база «Молодежная» (кратковременно);

– сезон 2015/16 гг. – полевой лагерь БАЭ у горы Вечерняя, Холмы Тала, Земля Эндерби в Восточной Антарктиде, а также российская антарктическая станция «Новолазаревская».

За период реализации мероприятий (заданий) Государственных программ в 2007–2016 гг. Республикой Беларусь были выполнены значительные объемы работ в сфере энергетического и транспортного обеспечения деятельности белорусской антарктической экспедиции, включая оснащение средствами спутниковой и УКВ-связи.

В настоящее время для размещения белорусских специалистов в Антарктиде используется предоставленный российской стороной во временное безвозмездное пользование комплекс цельнометаллических унифицированных блоков (далее – ЦУБ), расположенный на территории законсервированной российской полевой базы «Гора Вечерняя» (рис. 1.11). Собственными силами участниками БАЭ в комплексе ЦУБ был проведен комплекс ремонтно-восстановительных работ по созданию приемлемых условий для труда и быта белорусских специалистов. В рамках реализации мероприятий Государственной программы по созданию Белорусской антарктической станции в декабре 2015 г. из Республики Беларусь в полевой лагерь БАЭ у горы Вечерняя, Холмы Тала, Земля Эндерби в Восточной Антарктиде был доставлен и смонтирован первый трехсекционный служебно-жилой модуль, входящий в состав национальной антарктической станции.

Жизнедеятельность полевого лагеря БАЭ у горы Вечерняя обеспечивается двумя дизельными генераторами, оснащенными двигателями немецкой фирмы DEUTZ, мощностью 20 и 60 кВт. Указанные генераторы смонтированы в специально оборудованных, экологически безопасных контейнерах и оснащены дистанционной автоматической системой запуска и контроля параметров работы двигателя (рис. 1.12). Помимо этого в распоряжении участников БАЭ имеются два резервных электрогенератора немецкой фирмы GEKO мощностью 7 и 6 кВт, которые размещены в сооружениях контейнерного типа на удалении 50 м от основного лагеря БАЭ (рис. 1.13), а для обеспечения автономной работы научных приборов и средств связи широко используются возобновляемые источники энергии – гелиоэнергетические установки и источники бесперебойного питания общей мощностью около 3 кВт (рис. 1.14).

В период 2007–2015 гг. полевой лагерь БАЭ у горы Вечерняя был оснащен рядом стационарных

– сезон 2014/15 – BAE field camp, located at the place of abandoned infrastructure of Russian field base at «Mount Vechernyaya», Thala Hills, Enderby Land in East Antarctica, as well as Russian Antarctic field base «Molodezhnaya» (short term);

– season 2015/16 – BAE field camp at Mount Vechernyaya, Thala Hills, Enderby Land in East Antarctica, as well as the Russian Antarctic station «Novo-lazarevskaya».

During the period of implementation of the activities (tasks) of the State program in 2007–2016 the Republic of Belarus carried out significant work in the field of energy and transport support activities of Belarusian Antarctic expedition, including equipment means of satellite and VHF communication.

At the present time to host Belarusian specialists in Antarctica all-metal complex provided by the Russian side is used, as well as the set of all-metal standardized units (hereinafter – ASU) located on the territory of the Russian abandoned field base at «Mount Vechernyaya» (Fig. 1.11). The participants of BAE in the complex of ASU carried out a complex of repair and reconstruction works on the creation of acceptable conditions for accommodation and work of Belarusian specialists. Within the framework of the implementation of the State Program on the creation of the Belarusian Antarctic Station in December 2015 from the Republic of Belarus to the field camp of BAE at Mount Vechernyaya, Thala Hills, Enderby Land in East Antarctica the first three sectional service and residential module was delivered and installed, which is a part of the national Antarctic station.

The activity of BASE field camp at Mount Vechernyaya is provided by two diesel generators, engines equipped with the German company DEUTZ, with the power of 20 and 60 kW. These generators are mounted in specially designed, environmentally friendly containers and are equipped with remote start system and automatic control of the parameters of the engine (Fig. 1.12). In addition, at the disposal of BAE participants there are two redundant electric generators manufactured by German firm GEKO with the power of 7 kW, and 6 kW, which are located in the buildings of container type at a distance of 50 m from the main BAE camp (Fig. 1.13), and to ensure the autonomy of scientific instruments and communication tools renewable energy sources are widely used: solar power units and uninterruptible power supply units with a total capacity of about 3 kW (Fig. 1.14).

In the period 2007–2015 BAE field camp at Mount Verchernyaya was equipped with a number



Рис. 1.11. Комплекс цельнометаллических унифицированных блоков

Fig. 1.11. The set of all-metal standardized units

приборов для дистанционного мониторинга атмосферы, таких как: автоматическая метеорологическая станция российского производства М-49М, автоматизированный измеритель общего содержания озона ПИОН, модернизированный озонметр М124 и автоматический ультрафиолетовой спектрорадиометр ПИОН-УФ, разработанный белорусскими учеными и отвечающий требованиям ВМО и адаптированный к проведению измерений в полярных районах Земли, солнечный фотометр СЕ-318N французской фирмы «CIMEL», включенный в глобальную радиометрическую сеть AERONET и имеющий статус Белорусской радиометрической станции «Vechernya Hill», а также

of stationary devices for the remote monitoring of the atmosphere, such as automatic weather station M-49m manufactured in Russia, an automated measuring total ozone content PION, modernized ozonometer M 124 and the automatic UV Spectroradiometer PION-UV developed by Belarusian scientists and meeting the requirements of WMO and adapted to carrying out measurements in the polar regions of the Earth, sun photometer C-318N manufactured by French company «CIMEL», included to the global radiometric network AERONET and having the status of the Belarusian radiometric station «Vechernyaya Hill», as well as an automated actionmetric observa-



a



b

Рис. 1.12. ДЭС 20 кВт (а) и ДЭС 60 кВт (б)

Fig. 1.12. 20 kW diesel electric generator (a) and 60 kW diesel electric generator (b)



Рис. 1.13. ДЭС 7 кВт

Fig. 1.13. 7 kW diesel electric generator



Рис. 1.14. Гелиоэнергетическая установка

Fig. 1.14. Solar power unit

автоматизированная система актинометрических наблюдений «Пеленг СФ-16», разработанная белорусскими специалистами.

Для передачи информации и контактов с внешним миром в распоряжении участников БАЭ имеются две станции спутниковой связи системы ИНМАРСАТ и спутниковый телефон системы ИРИДИУМ. Все терминалы спутниковой связи БАЭ относятся к оборудованию поколения 1990-х гг. и нуждаются в замене на современные системы спутниковой связи.

Оперативная связь между полевым лагерем БАЭ у горы Вечерняя и полевой базой РАЭ «Молодежная», а также между участниками БАЭ и РАЭ выполняющи-

tions system «Peleng SF-16», developed by Belarusian specialists.

For the transmission of information and contacts with the outside world at the disposal of the participants BAE have two INMARSAT satellite communication systems and satellite phone of IRIDIUM system. All terminals of satellite communications of BAE are the units of hardware generation of the 1990s and require a replacement by modern satellite communication systems.

The operative communication between BAE field camp at Mount Vechernyaya and the field base of RAE «Molodezhnaya», as well as between the partic-



Рис. 1.15. УКВ-ретранслятор
Fig. 1.15. VHF re-transmitter

ми работы и наземные транспортные операции за пределами базового лагеря БАЭ обеспечиваются с помощью четырнадцати стационарных и передвижных УКВ-радиостанций «Motorola». Для связи с воздушными летательными аппаратами в распоряжении участников БАЭ имеются, передвижная и стационарная УКВ-радиостанции ICOM. Для обеспечения устойчивой УКВ-связи на всей территории деятельности БАЭ в оазисе «Молодежный» и географическом комплексе Гора Вечерняя в период производства сезонных работ в районе горы Вечерняя белорусскими специа-



Рис. 1.16. Снегоходная техника БАЭ
Fig. 1.16. Snowmobiles of BAE

ипантов БАЭ и РАЭ выполняющих работу и наземные транспортные операции за пределами базового лагеря БАЭ обеспечиваются с помощью четырнадцати стационарных и передвижных УКВ-радиостанций «Motorola». Для связи с воздушными летательными аппаратами в распоряжении участников БАЭ имеются, передвижная и стационарная УКВ-радиостанции ICOM. To ensure stable VHF communication throughout the territory of BAE activities in the oasis of «Molodezhnaya» and geographical complex «Mount Vechernyaya» during the implementation of seasonal work at the area of Mount Vechernyaya Belarusian specialists placed a VHF re-transmitter. To ensure

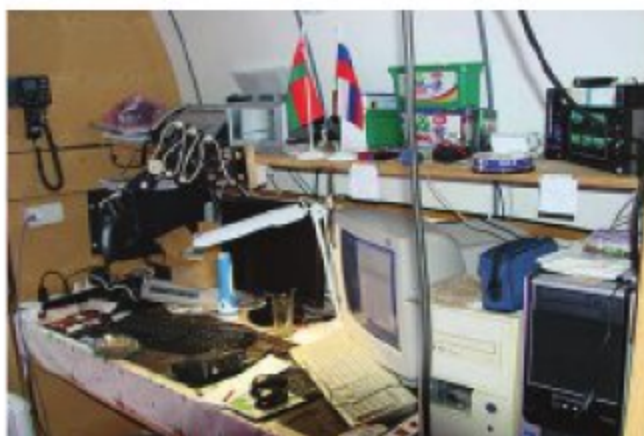


Рис. 1.17. Система жизнеобеспечения БАЭ в ЦУБе

Fig. 1.17. BAE environmental control system in the ASU

листами разворачивается ретранслятор УКВ-связи. Для обеспечения автономной работы ретранслятора УКВ-связи используется возобновляемый источник энергии – гелиоэнергетическая установка мощностью 0,5 кВт (рис. 1.15).

Для выездов на научные маршруты и проведения наземных транспортных операций за пределами базового лагеря БАЭ в распоряжении белорусских специалистов имеются три снегохода финского производства LYNX (рис. 1.16, а), гусеничный квадроцикл канадского производства QUTLANDER «APACHE» (рис. 1.16, б) и гусеничный снегоболотоход российского производства «БОБР» (рис. 1.16, с).

В период 2006–2016 гг. в полевом лагере БАЭ у горы Вечерняя создана надежная система жизнеобеспечения для проведения сезонных работ и научных исследований экспедиционного персонала в количестве до 7 человек, тем самыми заложена основа для дальнейшего развития БАС в 2016–2025 гг. (рис. 1.17).

Резюмируя вышеизложенное, следует отметить, что важную роль в становлении и развитии антарктических исследований и проведении экспедиций наряду с НАН Беларуси играло и продолжает играть Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды (Минприроды) и в особенности Департамент по гидрометеорологии (2001–2012 гг.), а в последние годы – Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторинга окружающей среды (Герменчук М. Г., Максюта О. М., Полищук А. И., Рачевский А. Н., Мельник В. И. и др.).

Подготовка правовой базы деятельности Республики Беларусь в полярных районах Земли, международных договоров, протоколов, а также осуществление программной деятельности в 2006–2015 гг. была бы просто невозможна без участия названных выше структур и персон.

the autonomous battery life of VHF re-transmitter a renewable energy source is used: solar energy unit with the power of 0.5 kW (Fig. 1.15).

For entries to scientific and routes and implementation of land transport operations outside the basic BAE camp Belarusian specialists have three snowmobiles LYNX manufactured in Finland (Fig. 1.16, а), full-track quad bike QUTLANDER «APACHE» manufactured in Canada (fig. 1.16, б) terrain tracked vehicle «BOBR», manufactured in Russia (fig. 1.16, с).

In the period 2006–2016 in the field camp at Mount Vechernyaya a reliable life support system for seasonal work and research expedition personnel in the amount of up to 7 people was created and therefore the foundation for the further development of BAS in 2016–2025 was laid (Fig. 1.17).

In conclusion of this chapter, it should be noted that an important role in the development and conduct of Antarctic research expeditions along with the National Academy of Sciences of the republic of Belarus was played and is still played by the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection (Ministry of Nature) and in particular the Department of Hydrometeorology (2001–2012), and in recent years the Republican Center for Hydrometeorology, control of radioactive contamination and environmental monitoring (Germenchuk M. G., Maksyuta O. M., Polishchuk A. I., Rachevsky A. N., Melnik V. I. and others).

The preparation of the legal framework of the Republic of Belarus for the activity in the polar regions of the Earth, international treaties, protocols and implementation of program activities in 2006–2015 would be simply impossible without the participation of above-named institutions and individuals.



Участники Белорусских антарктических экспедиций 2006–2015 гг. Participants of Belarusian Antarctic expeditions in 2006–2015



Рис. 1. Участники 1-й БАЭ
(2007–2008 гг.). Слева направо:
В. Л. Шпилевский, А. А. Гайдашов,
В. С. Демин, И. П. Бык

Fig. 1. Participants of the 1st BAE
(2007–2008). From left to right:
V. L. Shpilevski, A. A. Gaidashov,
V. S. Diomin, I. P. Byk



Рис. 2. Участники 2-й БАЭ (2008–2009 гг.) с российскими и немецкими коллегами. Слева направо: 1-й А. В. Бабичев,
4-й нач. пб «Молодежная» В. В. Киселев, 5-й А. А. Гайдашов, 7-й О. В. Мясников, 8-й О. И. Бородин, 9-й М. М. Король,
10-й И. П. Бык

Fig. 2. Participants of the 2nd BAE together with Russian and German colleagues (2008–2009). From left to right: A. V. Babichev (1st),
V. V. Kiselev, the head of PB «Molodyozhnaya» (4th), A. A. Gaidashov (5th), O. V. Myasnikov (7th), O. I. Borodin (8th), M. M. Korol (9th),
I. P. Byk (10th)



Рис. 3. Участники 3-й БАЭ (2010–2011 гг.). Справа налево: А. А. Гайдашов, Ю. Г. Гизиняк
 Fig. 3. Participants of the 3rd BAE (2010–2011). From right to left: A. A. Gaidashov, Y. G. Giginyak



Рис. 4. Участники 4-й БАЭ (2011–2012 гг.). Справа налево:
 А. А. Гайдашов, В. С. Демин
 Fig. 4. Participants of the 4th BAE (2011–2012). From right to left:
 A. A. Gaidashov, V. S. Diomin



Рис. 5. Участники 5-й БАЭ (2012–2013 гг.). Слева направо: В. Е. Мямин, А. А. Гайдашов, М. М. Король
Fig. 5. Participants of the 5th BAE (2012–2013). From left to right: V. E. Myamin, A. A. Gaidashov, M. M. Korol



Рис. 6. Участники 6-й БАЭ (2013–2014 гг.). Слева направо: И. И. Бручковский, А. А. Гайдашов, Ю. Г. Гигиняк
Fig. 6. Participants of the 6th BAE (2013–2014). From left to right: I. I. Bruchkouski, A. A. Gaidashov, Y. G. Giginyak



Рис. 7. Участники 7-й БАЭ. Справа
налево: П. В. Шаблыко, А. А. Гайдашов,
В. Т. Алфимов, В. Е. Мямин, М. М. Король
Fig. 7. Participants of the 7th BAE. From
right to left: P. V. Shablyko, A. A. Gaidashov,
V. T. Alfimov, V. E. Myamin, M. M. Korol



Рис. 8. Участники 8-й БАЭ: С. А. Торбик, Л. А. Никитюк, А. А. Гайдашов, М. А. Горбачевич, А. А. Захватов
Fig. 8. Participants of the 8th BAE: С. А. Torbik, L. А. Nikityuk, А. А. Gaidashov, М. А. Gorbacevich, А. А. Zakhvatov







ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В АНТАРКТИКЕ

OPTICAL STUDIES OF THE ATMOSPHERE AND SURFACE IN ANTARCTIC

Долгосрочная цель оптических исследований – организация комплексных спектрометрических и лидарных наблюдений атмосферы и подстилающей поверхности в прибрежной зоне Антарктики в районе горы Вечерняя.

Оптический дистанционный мониторинг атмосферы и земной поверхности призван обеспечить количественное оценивание параметров аэрозоля, облачности, газовых примесей атмосферы, отражательных характеристик поверхности, составляющих кластер входных данных об окружающей среде, необходимый для моделирования процессов, определяющих климатические изменения. Задачами мониторинга являются также характеристика крупномасштабного переноса атмосферных масс и контроль антропогенного и природного загрязнения окружающей среды.

Для получения данных об оптических параметрах атмосферы и подстилающей поверхности, характеристиках атмосферных примесей и снежного покрова на белорусской научной станции формируется комплекс оптических приборов: солнечных спектрометров для измерения характеристик атмосферы и земной поверхности и лидаров для получения данных о высотном распределении атмосферных примесей.

Использование спутниковой информации позволяет расширить район исследований. При этом данные наземных измерений используются в качестве дополнительной информации в алгоритмах обращения результатов оптических спутниковых измерений.

Оптические наблюдения в Антарктиде начались в 2006 г., когда отряд белорусских ученых в составе 52-й РАЭ приступил к измерению общего содержания озона (ОСО) в атмосфере посредством модернизированного фильтрового озонметра М124-М.

В последующих экспедициях увеличивалось количество используемых приборов и расширялся перечень измеряемых параметров. Белорусские ученые начали регулярные измерения концентрации озона в приземном слое и интенсивности ультрафио-

The long-term objective of the Optical investigations is to organize spectral radiometric and lidar observations of atmosphere & surface properties in the Antarctic coastal zone close to Mount Vechernyaya.

Remote optical monitoring of the atmosphere & surface serves for quantitative estimation of aerosol parameters, cloudiness, gas impurities, and surface reflectivity. All these properties compose a cluster of input data about the environment which is necessary for modeling processes of climatic changes. Among tasks of monitoring are characterization of the atmospheric masses large-scale transfer and controlling the anthropogenic and natural pollution.

To receive data about atmosphere & surface optical parameters the Belarusian scientific station has been supplemented with appropriate optical equipments, namely, with sun/sky-photometers to measure atmosphere & surface parameters and with lidar to probe altitude distributions of atmospheric constituents.

The employment of the satellite information has allowed the region of investigation to be appreciably extended. The ground-based measurement data can be used as additional information in inversion algorithms for satellite optical observations.

Optical studies in Antarctic began in 2006 when the Belarusian scientific group that entered the 52nd Antarctic Russian expedition initiated measurements of ozone general content (GCO) in the atmosphere by means of a filter-ozonometer M124-M.

In follow-up expeditions, number of instruments was increased, and enumeration of measurable parameters enlarged. The scientists from Belarus started regular measuring of ozone concentration in the boundary layer and of ultraviolet radiation intensi-

летового излучения, создали станции солнечного радиометрического зондирования, приступили к измерениям спектров отражения поверхности и лидарному зондированию атмосферы. Одновременно началась обработка данных спутниковых измерений с целью получения информации о характеристиках атмосферных примесей и земной поверхности в регионе работы белорусских экспедиций.

В 2011 г. в программу наблюдений включены комплексные эксперименты с использованием наземных и спутниковых инструментов. Процедура координированных измерений посредством различных измерительных систем и специальные алгоритмы обращения данных комплексных измерений нацелены на получение дополнительной информации об исследуемом объекте (так называемый синергетический эффект). Комплексные лидарные и радиометрические эксперименты проводились для восстановления высотных профилей концентрации аэрозольных фракций. Все виды измерений выполнялись в комплексных экспериментах, целью которых была, в частности, калибровка спектральной аппаратуры белорусского спутника БКА и российского «Канопус-В».

В данной главе приводится описание аппаратного комплекса, методов контроля характеристик атмосферы и подстилающей поверхности, которые применяются в исследованиях на Белорусской научной станции, а также предварительные результаты анализа полученных данных.

Исследования в Антарктиде стали возможными в результате сотрудничества ученых и специалистов из организаций Беларуси, России и Франции. Белорусские и российские специалисты организовали и провели серию полевых измерений в Антарктиде. Французские ученые обеспечили создание станций солнечного радиометрического зондирования, включение их в международную сеть AERONET/PHOTONS и обработку радиометрических данных, а также участвовали в развитии методов обработки результатов комплексных экспериментов.

ty. They founded sun/sky-radiometric stations and proceeded to measurements of the surface reflection spectra and to lidar sounding of the atmosphere. Simultaneously, processing of satellite observation data was started in order to have information about properties of atmospheric impurities and surface in the region of the Belarusian expeditions.

Since 2011, the Program of Antarctic exploration has incorporated complex experiments which are based on the ground and satellite instruments. Co-ordinate measurements by mean of different experimental systems as well as special inversion algorithms for derivable body of data were aimed at obtaining supplementary information about the atmosphere & surface properties relative to results of independent measurements (so called the synergetic effect). The complex ground-based and satellite experiments were conducted with the goal to retrieve altitude concentration profiles of aerosol fractions in the atmosphere. All kinds of measurements were fulfilled within the complex experiments, including, in particular, calibration of spectral equipment on the Belarusian satellite BKA and Russian satellite «KANOPUS-B».

The present chapter deals with the instrumentation, methods used in the Belarusian scientific station to control the atmosphere & surface characteristics and preliminary results of analysis of obtained data.

Antarctic researches, spoken about below, became possible owing to collaboration of professionals (scientists, engineers, technician etc.) from institutions of Belarus, Russia and France. Belarusian and Russian specialists organized and fulfilled a series of field observations in Antarctic. French specialists provided stations of sounding with sun/sky-radiometers, inclusion of these stations into the international network AERONET/PHOTONS and processing of radiometric data. They also collaborated in development of methods to process data from complex experiments.



2.1. Аппаратура и методика измерений

Аппаратурный комплекс, сформированный для реализации программы оптических наземных измерений в Антарктиде, включает две группы приборов:

1. Спектральные приборы УФ-диапазона для измерений интенсивности солнечной УФ-радиации, концентрации озона и окиси азота:

2.1. Instrumentation and measuring procedure

Instrument complex that was produced to realize optical ground measurements in the Antarctic consists of two equipment groups:

1. Spectral equipments to measure the solar UV radiation intensity and also ozone and nitric oxide concentrations:

– модифицированный в НИИЦ МО БГУ фильтровый озонметр M124-M;

– спектрорадиометр «ПИОН-УФ-II» для измерения спектрального распределения интенсивности, а также уровней и доз биологически активного солнечного приземного УФ-излучения и ОСО в вертикальном столбе атмосферы;

– фильтровый радиометр «ПИОН-FN» для мониторинга состояния озонового слоя и измерения эритемной дозы активного биологического УФ-излучения (УФ-индекса);

– измеритель приземных концентраций озона;

– спектрограф изображения с многоосевой геометрией наблюдений MARS-B для измерения общего содержания и вертикальных профилей распределения NO_2 .

2. Многоволновая аппаратура для измерения характеристик аэрозоля и подстилающей поверхности:

– спектральный альбедометр для измерения спектра отражения (альбедо) земной поверхности

– солнечный спектральный сканирующий поляризационный радиометр для измерения параметров аэрозоля;

– многоволновый поляризационный рамановский лидар.

2.1.1. Приборы для измерений интенсивности солнечной УФ-радиации, концентрации озона и окиси азота

Фильтровый озонметр M124-M (рис. 2.1, а) предназначен для измерения ОСО методами «по прямому Солнцу» (DS) и «из зенита небесной сферы» (ZS). Основные методики проведения измерений озонметрами серии M124 разработаны сотрудниками ГГО им. А. И. Воейкова и описаны в работах [1–3].

В течение ряда лет в НИИЦ МО БГУ совместно со специалистами НИЦ ДЗА им. А. И. Воейкова проводятся работы по модернизации фильтрового озонметра M124, который до настоящего времени остается базовым прибором для комплектования наземной сети мониторинга ОСО Росгидромета и метеослужб ряда стран СНГ. Озонметр M124-M является результатом проведенной модернизации.

Для работы в антарктических экспедициях были изготовлены модернизированные экземпляры озонметра M124-M – № 92 и № 355, которые отличались от серийного озонметра M124 (ТУ-52-14 [1]) системами спектральной селекции (рис. 2.2, табл. 2.1), термостабилизации и современной элементной базой. При этом принята процедура измерения ОСО [2, 3]

– modified (at the National Ozone Monitoring Research and Educational Center BSU, NOMREC) filter ozonometer M124-M;

– spectroradiometer «PION-UV-II» measuring spectral irradiance, levels and doses of biologically active solar surface UV radiation and TO in a vertical column of the atmosphere;

– filter radiometer «PION-FN» measuring a solar erythema dose of UV radiation and TO;

– surface ozone concentration meter;

– image spectrograph MARS-B with the multiaxial geometry of observations measuring total amount and vertical distribution profiles of NO_2 .

2. Multiwavelength instruments to sense parameters of aerosol and surface:

– a spectral albedometer for measuring spectral albedo of the earth surface;

– a spectral scanning polarization sun/sky radiometer for deriving aerosol parameters;

– a multiwavelength polarization Raman lidar.

2.1.1. Instruments to measure solar UV radiation intensity, ozone and nitrogen oxide concentrations

Filter ozonometer M124-M (Fig. 2.1, a) is designed to measure TO employing «direct sun» (DS) and «zenith» (Z) techniques. Basic measurement procedures for M124 ozonometers are elaborated in A. I. Voejkov Main Geophysical Observatory (MGO) and described in articles [1–3].

For a several years, National Ozone Monitoring Research and Education Center of Belarusian State University (NOMREC BSU) along with A. I. Voejkov Research Center for Remote Atmosphere Sounding (RC RAS) has been pursuing activities aiming at modernization of the filter, which is currently the basic instrument to maintain TO monitoring ground-based network of the Russian Federation Hydrometeorological Center as well as those of the meteorological services of some CIS countries. The M124-M ozonometer is a modernized version of the M124 ozonometer.

Modifications of the ozonometer M124-M – № 92 and № 355 – have been made to operate in the Antarctic conditions. They differ from the serial ozonometer M124 (TS-52-14 [1]) with spectral selection systems (Fig. 2.2, Table 2.1), thermal stabilization and modern element base. Still, the adopted procedure of TO measurement [2, 3] has



Рис. 2.1. Приборы для измерения интенсивности солнечного УФ-излучения, концентрации озона и двуокиси азота: а – фильтровый озонметр M124-M; б – спектрорадиометр «ПИОН-УФ-II»; в – фильтровый радиометр «ПИОН-ФН» с солнечной батареей; д – измеритель концентрации приземного озона на основе ПГС; е – спектрограф изображения MARS-B

Fig. 2.1. Instruments measuring solar UV radiation intensity, ozone and nitrogen oxide concentrations: а – filter ozonometer M124-M; б – spectroradiometer «PION-UV-II»; в – filter radiometer «PION-FN» with a solar battery; д – surface ozone concentration meter on the basis of a semiconductor gas sensor; е – image spectrograph MARS-B

Таблица 2.1. Спектральные характеристики входных трактов использованных экземпляров модернизированного озонметра M124-M (максимумы пропускания в каждом комплекте светофильтров приняты за 1)

Table 2.1. Spectral characteristics of the input channels of M124-M ozonometer modified versions (transmission maxima in each set of optical light filters are taken as 1)

Набор светофильтров Set of optical light filters	λ макс., нм λ max., nm	$\Delta\lambda_{1/2}$, нм $\Delta\lambda_{1/2}$, nm	$T_{\text{отн.}}(\lambda \text{ макс.})$ $T_{\text{rel.}}(\lambda \text{ max.})$
№ 1, 2006–2007 гг.	305.8	4.3	0.63
	316.5	5.3	1.0
№ 2b 2007–2009 гг.	312.7	9.4	1.0
	323.8	6.3	0.38

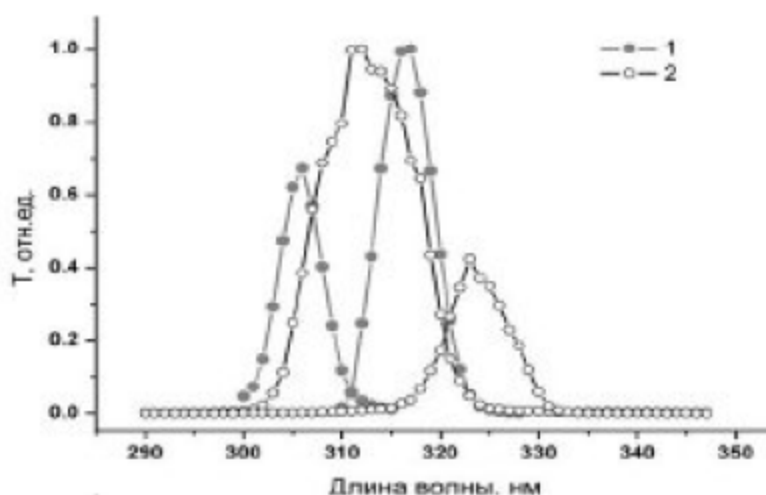


Рис. 2.2. Спектры пропускания фильтровых систем № 1 и 2 модернизированных экземпляров озонметра M124-M (№ 92 и № 355 соответственно)

Fig. 2.2. Transmission spectra of filter systems № 1 and № 2 of modified versions of the M124-M ozonometer (№ 92 and № 355, respectively)

для сохранения преемственности многолетних рядов наблюдений была полностью сохранена.

Экземпляры озонметра M124-M прошли различные виды предварительных калибровок на поверочных стендах НИЦ ДЗА и ННИЦ МО БГУ, а также в сеансах сравнительных измерений с региональным эталоном, озонметром Добсона № 108 ГГО им. А. И. Воейкова (Россия).

Одной из задач, решаемых в рамках совместных российско-белорусских сезонных антарктических экспедиций 2006–2009 гг., было проведение натурных испытаний образцов модернизированного озонметра M124-M с целью отработки систем спектральной селекции и термостабилизации прибора, а также совершенствования методики проведения измерений в специфических приполярных условиях, в частности, при значительных солнечных зенитных углах ($SZA > 40^\circ$).

Для оценки стабильности и воспроизводимости измерительных характеристик приборов калибровки

fully remained to continue long-term series of observations.

Samples of the ozonometer M124-M have undergone various types of pre-calibration procedures on calibration set-ups of RC RAS and NOMREC BSU as well as intercomparison sessions against the regional reference ozonometer Dobson № 108 of A. I. Voejkov MGO (Russian Federation).

One of the problems to be solved in the framework of joint Russian-Belarusian seasonal Antarctic expedition of 2006–2009 was conducting field tests of samples of the modernized M124-M ozonometer to check spectral selection systems and thermostabilization of the device as well as enhance the measurement technique in specific polar conditions, in particular, when large solar zenith angles ($SZA > 40^\circ$) were involved.

To evaluate the stability and reproducibility of instrument measurement characteristics, calibration

осуществлялись до и после каждой сезонной антарктической сессии. Процедура поверки приборов соответствовала утвержденной методике [2].

Опыт эксплуатации приборов в условиях Антарктиды показал, что более предпочтительным является применение активной и более мощной системы термостабилизации.

Предложенный и реализованный в экземпляре M124-M № 355 нагревательный элемент, работающий в режиме активного термостата, и предварительно запрограммированный на диапазон работы 23–25 градусов, показал достаточную надежность в работе и позволил исключить процедуру контроля температуры и, соответственно, введения температурных поправок при расчете ОСО.

Многофункциональный ультрафиолетовый спектрорадиометр «ПИОН-УФ-II» (см. рис. 2.1, b) разработан в НИИЦ МО БГУ [4, 5] для измерения спектров освещенности приземным солнечным излучением в биологически активном диапазоне $\lambda = 280\div450$ нм. Основные рабочие характеристики прибора приведены в табл. 2.2.

Прибор измеряет спектральную плотность энергетической освещенности (СПЭО) плоской горизонтальной площадки у поверхности Земли суммарным (прямым и диффузно рассеянным) солнечным излучением, приходящим из полной небесной полусферы. Кроме основного спектра спектрорадиометр регистрирует также сигнал фотодиода опорного канала,

procedures were performed before and after each Antarctic seasonal session. The calibration procedures were complied with the adopted technique [2].

Experience of operation of devices in conditions of Antarctica has shown that a more active and more powerful thermal stabilization system is preferred.

A heating element realized in the sample of M-124M № 355 and pre-programmed for an operating range of 23–25 degrees in the active thermostat mode, has demonstrated high reliability in operation enabling to neglect temperature control procedure and, consequently, enter temperature corrections while calculating TO.

Multi-functional UV Spectroradiometer «PION-UV-II» (see Fig. 2.1, b) is designed in NOMREC BSU [4, 5] for measuring spectra of total surface solar radiation in biologically active range of $\lambda = 280\text{--}450$ nm. The main characteristics of the device are shown in Table 2.2.

The instrument measures the spectral irradiance of a flat horizontal platform at the Earth's surface exposed to direct and diffusely scattered solar radiation, coming from the complete celestial hemisphere. In addition to the main spectrum, the spectroradiometer also registers the signal of the reference channel of the photodiode, which allows assessing stability

Таблица 2.2. Технические характеристики спектрорадиометра «ПИОН-УФ-II»

Table 2.2. Characteristics of spectroradiometer «PION-UV-II»

Характеристика Characteristic	Значение Value
Рабочий спектральный диапазон, нм Spectral working range, nm	280–450
Спектральное разрешение, нм Spectral resolution, nm	0.8
Чувствительность, Вт/см ² Response, W/cm ²	10 ⁻⁹
Подавление рассеянного излучения (при $\lambda = 441$ нм) Attenuation of scattered radiation (at $\lambda = 441$ nm)	10 ⁶
Динамический диапазон измеряемых интенсивностей Dynamic range of measured intensities	10 ⁶
Воспроизводимость длины волны, нм Accuracy of wavelength setting, nm	0,01
Интерфейс связи Communication interface	RS232C
Потребляемая мощность, Вт Power, W	50
Размеры, мм Dimensions, mm	400 × 140 × 120
Вес основного блока, кг Weight of main unit, kg	28

который позволяет оценивать стабильность оптических характеристик атмосферы в период измерения. Измерение спектров производится в автоматическом режиме в течение всего светового дня с интервалом ~5 мин. Во время работы в Антарктиде спектро-радиометр обычно проводил около 370 измерений в течение суток. Так, например, с 23 декабря 2013 г. по 17 марта 2014 г. было измерено 30 579 спектров. Типичные спектры, регистрируемые спектро-радиометром «ПИОН-УФ-II», представлены на рис. 2.3.

На основании полученных спектров в соответствии с методиками, рекомендованными WMO [6], рассчитывались мощности и дозы различных биологических эффектов УФ-излучения, в частности, значения УФ-индекса. Кроме того, измеренные спектры СПЭО служили основой для расчета значений ОСО в вертикальном столбе атмосферы.

Автономная дистанционная система «ПИОН-ФН» (см. рис. 2.1, с) предназначена для мониторинга состояния озонового слоя и измерения эритемной дозы активного биологического УФ-излучения (УФ-индекса).

Система, экспериментальный образец которой был разработан и изготовлен в НИИЦ МО БГУ (2015 г.), представляет собой дальнейший шаг в развитии средств мониторинга озоносферы и предназначена для оснащения пунктов сети мониторинга на территории Республики Беларусь, в частности, в городах Могилеве и Бресте, а также сезонных пунктов наблюдения БАЭ.

Внешний вид прибора, состоящего из фотометра и солнечной панели, представлен на рис. 2.1, с. Основные технические характеристики приведены в табл. 2.3.

of the optical characteristics of the atmosphere in a measurement period. Taking spectra is performed automatically during the daylight hours with a ~5 min interval. While working in Antarctica, the spectroradiometer usually made about 370 measurements during the day. Thus, for example, from December 23, 2013 to March 17, 2014, 30 579 spectra were collected. Typical spectra registered with the spectroradiometer «PION-UV-II» are presented in Fig. 2.3.

On the basis of the spectra obtained and according to the procedures recommended by WMO [6], one has determined doses of various biological effects of UV radiation, in particular, UV index values. In addition, the measured irradiance spectra have served as the basis for calculating the total ozone values (TO) in the vertical column of the atmosphere.

Autonomous remote system «PION-FN» (see Fig. 2.1, c) is designed to monitor the ozone layer and measure the erythema dose of active biological ultraviolet radiation (UV index).

The system, an experimental sample of which was engineered and manufactured in NOMREC BSU (2015), is a further step in advancing instrumentation of ozone monitoring. It is designed to equip a network of monitoring points in the Republic of Belarus, particularly, in the cities of Mogilev and Brest as well as seasonal observation points of BAE.

The picture of the device consisting of a photometer and a solar panel is shown on fig. 2.1, c. The main technical characteristics are given in Table 2.3.

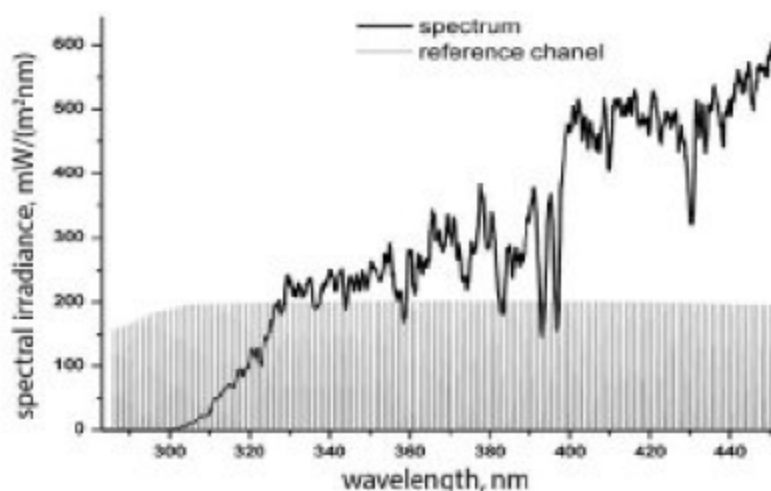


Рис. 2.3. Спектр СПЭО (на рисунке «spectrum») и сигнал фотодиода опорного канала (на рисунке «reference channel»), регистрируемые спектро-радиометром «ПИОН-УФ-II»

Fig. 2.3. The irradiance spectrum and photodiode signal of the reference channel recorded with a spectroradiometer «PION-UV-II»

Таблица 2.3. Основные технические характеристики прибора «ПИОН-ФН»

Table 2.3. Characteristics of the «PION-FN» instrument

Характеристика Characteristic	Значение Value	Примечание Note
Напряжение питания, В Voltage, V	3.4–4.2	
Потребляемая мощность Power	13 мВт 13 mW	Спящий режим Sleeping mode
	185 мВт 185 mW	Режим измерения Operation mode
	1,85 Вт 1.85 W	Передача данных (GSM) Data transmission (GSM)
Емкость встроенных литий-ионных аккумуляторов Capacity of built-in li-ion accumulators	6800 mAh	
Спектральный диапазон, нм Spectral range, nm	280–320	Коротковолновой фильтр Short-wave filter
	305–345	Длинноволновой фильтр Long-wave filter
Рабочий температурный диапазон Working temperature range	–30 – +30 °C	
Канал передачи данных Data transfer channel	GPRS и 433 МГц на 1 км GPRS and 433 MHz for 1 km	
Класс защиты корпуса Case protection	IP65	
Характеристики солнечной панели Solar panel characteristics		
Номинальное выходное напряжение, В Nominal output voltage, V	5	
Максимальный выходной ток, мА Maximal output current, mA	800	

Разработка представляет собой систему для дистанционного мониторинга состояния озонового слоя и измерения дозы активного биологического УФ-излучения и включает двухканальный фотометр и солнечную панель. Система полностью автономна и не требует внешних источников питания и связи с компьютером для хранения и обработки данных.

Результаты измерений передаются посредством сети GSM на удаленный сервер, что позволяет следить за состоянием озоносферы в режиме он-лайн. Использование современной электронной базы позволило достичь высокой энергоэффективности устройства, так энергопотребление в спящем режиме составляет всего 13 мВт.

Использование микроконтроллера с архитектурой ARM дает возможность проводить расчет ОЗО и УФ-индекса непосредственно программой микроконтроллера. Помимо этого программа рассчитывает время восхода и захода солнца, что позволяет автоматически переводить фотометр в спящий режим в ночное время.

Автономность системы и использование сети GSM для передачи данных позволяет устанавли-

The instrument is a system for remote monitoring of the ozone layer and measurements of the dose of active biological ultraviolet radiation. It includes a double-channel photometer and a solar panel. The system is fully autonomous and does not require external power supply as well as communication with the computer for data storage and processing.

The measurement results are transmitted via the GSM network to a remote server enabling to monitor the state of the ozone layer in the online mode. The use of modern electronic base has allowed achieving high energy efficiency of the device, for example, power consumption in a sleeping mode is only 13 mW.

Using a microcontroller with ARM architecture allows to derive the TO and UV index directly from a microcontroller program. In addition, the program determines time of sunrise and sunset enabling to automatically switch the photometer to the sleeping mode at night.

Independence of the system and use of the GSM network for data transmission make it possible to lo-

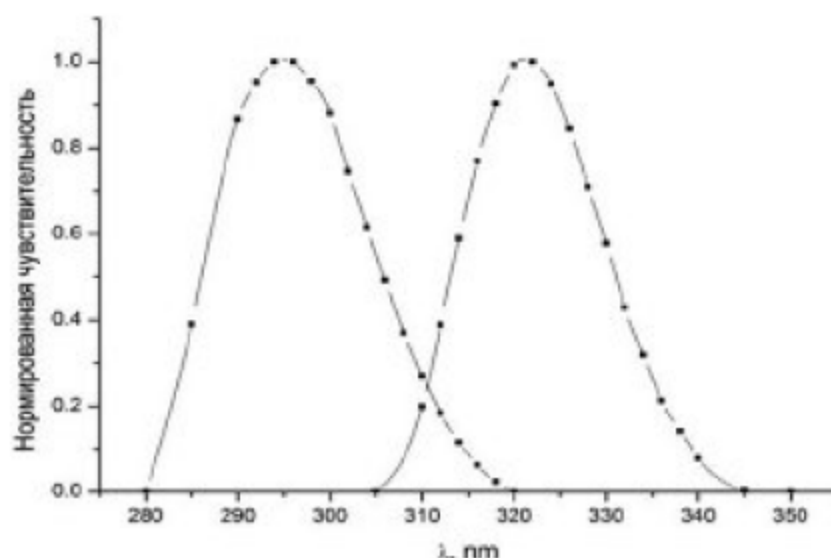


Рис. 2.4. Спектральные характеристики измерительных каналов фотометра «ПИОН-ФН»

Fig. 2.4. Spectral characteristics of measuring photometer channels

вать фотометр фактически в любом месте, где есть покрытие оператора сотовой связи, что позволяет в кратчайшие сроки создать сеть для эффективного мониторинга за озоносферой и оперативного предупреждения о риске УФ-облучения.

В случае невозможности использовать сеть GSM (например, проведение измерений в Антарктиде) в фотометре предусмотрен альтернативный беспроводной канал связи на частоте 433 МГц и максимальной дальностью 1 км. В этом случае данные передаются на ПК или ноутбук.

Как и спектрорадиометр «ПИОН-УФ-II», фотометр «ПИОН-ФН» регистрирует прямое и диффузно рассеянное атмосферой солнечное излучение, приходящее из полной небесной полусферы (поле зрения 180°). На рис. 2.4 представлены спектральные характеристики прибора.

Важной особенностью спектральных характеристик фотометра является то, что форма «правой» части коротковолнового фильтра с тефлоновой косинусной насадкой в области 290–320 нм с достаточно высокой степенью точности воспроизводит кривую спектра действия биоэффекта «эритема». Поэтому сигнал коротковолнового канала (интеграл свертки спектра СПЭО приземного солнечного излучения с кривой спектральной чувствительности канала) можно после соответствующей калибровки использовать как значение мощности дозы биоэффекта «эритема». На основе полученного значения можно рассчитать величину УФ-индекса. Таким образом, для определения УФ-индекса используется интенсивность, измеренная в коротковолновом канале (295 нм). Для расчета ОСО используется отношение интенсивностей обоих каналов.

cate the photometer virtually at any point where there is cellular communication coverage. As a result, one can quickly create a network to effectively monitor the ozonosphere and inform in a real-time mode about the risk of UV exposure.

In case the GSM network cannot be exploited (for example, measurements are taken in Antarctica), the photometer provides an alternative wireless communication channel on a frequency of 433 MHz and with a maximum range of 1 km. Here the data are transmitted to the PC or the laptop.

Like the spectroradiometer «PION-UV», the photometer «PION-FN» registers direct and diffuse solar radiation coming from the full celestial hemisphere (field of view of 180°). Fig. 2.4 demonstrates the spectral characteristics of the instrument.

An important feature of the spectral characteristics of the photometer is that a shape of the «right» element of the short-wave filter with a teflon cosine collector in a 290–320 nm region reproduces the curve of the «Erythema» spectrum with a high degree of accuracy. Therefore, a short-channel signal (integral of the convolution of the irradiance spectrum of the surface solar radiation with the curve of the channel spectral sensitivity) may be used after an appropriate calibration procedure as a value of the biological effect «Erythema». Based on a quantity obtained, a UV index value can be calculated. Thus, to determine the UV index, one employs the intensity measured in a short channel (295 nm). While calculating the TO, the ratio of the intensities of the two channels is used.

Система прошла серию лабораторных и натурных испытаний на Минской озонометрической станции, а также использована для обеспечения мониторинга в период сезонной БАЭ 2015–2016 гг.

Измеритель приземных концентраций озона.

Интерес к химии тропосферного озона обусловлен его важной ролью в химических реакциях окисления в атмосфере, вредным воздействием на животный и растительный мир, а также значительным вкладом в «парниковый» эффект.

Полярные регионы особенно интересны для исследования, поскольку антропогенное влияние здесь несущественно вследствие низкой плотности населения и отсутствия промышленности. В этих условиях уровень приземного озона во многом определяется природными процессами и вертикальным переносом озона из стратосферы.

Данные о концентрации приземного озона в высоких широтах имеют особое значение для оценки его фонового уровня, что косвенно может являться показателем глобального изменения концентрации тропосферного озона.

В НИИЦ МО БГУ в течение ряда лет проводятся работы по созданию простых в эксплуатации малогабаритных индикаторов и измерителей концентрации приземного озона, которые позволят надежно контролировать состояние этой газовой составляющей и значительно снизить стоимость выполнения таких измерений.

Перспективным направлением представляется разработка газоанализаторов с использованием активных элементов (сенсоров) на основе тех или иных полупроводниковых структур. Однако слабая общая чувствительность и недостаточная селективность сенсоров к газам с близкими физико-химическими свойствами затрудняет их применение для анализа какой-либо одной газовой составляющей атмосферы и, в частности, озона.

Институтом электроники НАН Республики Беларусь был разработан оригинальный газовый сенсор на основе оксида никеля. Исследование данного типа сенсоров показали хорошую чувствительность к низким концентрациям озона, т. е. тех, которые наблюдаются в приземном слое атмосферы. На основе данного сенсора в НИИЦ МО БГУ был создан малогабаритный макет прибора для измерения концентрации приземного озона [7] (см. рис. 2.1, *d*).

Испытания прибора и параллельные измерения концентраций приземного озона совместно с оптическим анализатором TEI 49C дали хороший результат. В связи с этим было принято решение провести дальнейшие испытания прибора в полярных условиях Антарктиды.

Работы выполнялись по заданию «Организация и проведение комплексных исследований состояния

The system passed a series of laboratory and field tests at the Minsk Ozone Station and was utilized to maintain monitoring in the seasonal 2015–2016 BAE.

A meter of surface ozone concentrations. There has been a growing interest towards the chemistry of the tropospheric ozone due to its important role in chemical oxidation reactions in the atmosphere, the harmful impact on flora and fauna, and a significant contribution to the «greenhouse» effect.

The Polar Regions are on top for research activities because the human influence is insignificant here as a consequence of low population density and lack of industry. Under these conditions, the surface ozone level is, to high extent, determined by natural processes and vertical transfer of ozone abundance from the stratosphere.

Data on the surface ozone concentration in high latitudes are particularly important to assess its background level as one indirectly indicating global change in troposphere ozone concentration.

For a several years, in NOMREC BSU one has been persistently working to engineer easy-to-operate compact indicators and meters of the surface ozone concentration that will allow positively monitoring this gas component and significantly reducing the cost of performing such measurements.

Among promising directions is that of creating a gas analyzer using active elements (sensors) on the basis of certain semiconductor structures. However, the total weak sensitivity and selectivity of the sensors to the gases with similar physico-chemical properties make it difficult to use them for analysis of a single gas component of the atmosphere, in particular, ozone.

The original gas sensor based on nickel oxide has been devised in Institute of Electronics, National Academy of Sciences of the Republic of Belarus. Studies have shown its good sensitivity to low ozone concentrations, i.e. those being observed in the surface layer of the atmosphere. On the basis of the sensor, NOMREC specialists have designed a compact model of a device to measure the surface ozone concentration [7] (see Fig. 2.1, *d*).

Tests of the instrument and parallel measurements of surface ozone concentrations along with an optical analyzer TEI 49C have given a good result followed with a decision to proceed with further tests in polar conditions of Antarctica.

Activities have been pursued within Government Program «Monitoring the Earth's polar regions and



Рис. 2.5. Малогабаритный ППС измеритель концентрации приземного озона на полевой базе РАЭ «Молодежная»

Fig. 2.5. A compact semiconductor gas sensor meter of the surface ozone concentration at the field base «Molodezhnaya»

озоносферы и ультрафиолетовой радиации в Антарктике, гидрометеорологическое обеспечение деятельности белорусской антарктической экспедиции и проведение климатических исследований» Государственной программы «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций на 2011–2015 годы».

В период с 24.12.2011 г. по 12.03.2012 г. на полевой базе РАЭ «Молодежная» был развернут экспериментальный макет прибора (рис. 2.5) и проведена серия измерений концентрации приземного озона. Полученные результаты показали перспективность предложенного подхода.

Полупроводниковый сенсор на основе оксида никеля, разработанный Институтом электроники НАН Беларуси, показал хорошую чувствительность к низким концентрациям озона, однако процесс изготовления не позволяет получить с сенсоры с одинаковыми характеристиками.

В 2015 г. в НИИЦ МО БГУ был создан малогабаритный макет прибора для измерения концентрации приземного озона на базе полупроводникового сенсора MS2610 на основе оксида олова (SnO_2). Данный сенсор выпускается промышленностью серийно и обладает минимальным разбросом характеристик. Чувствительность и селективность сенсора представлены на рис. 2.6 и 2.7 соответственно.

Как видно из рис. 2.6, сенсор MS2610 обладает достаточной чувствительностью для измерения концентраций озона в приземном слое атмосферы. Сенсор MS2610, как и любой другой полупроводниковый сенсор, чувствителен и к другим газовым составляющим атмосферы (рис. 2.7). Однако использование специального катализатора в приборе позволяет регистрировать только изменения озона.

maintaining the Arctic and Antarctic expeditions in 2011–2015 years» (the section «Organization and realization of complex studies of the ozone layer and ultraviolet radiation in Antarctica, hydrometeorological support of the Belarusian Antarctic Expedition and providing of climate research»).

An experimental model of the instrument was operated at the field base «Molodezhnaya» of the RAE in the period from 24.12.2011 to 12.03.2012 (Fig. 2.5) performing a series of measurements of the surface ozone concentration. The results demonstrated the prospects of the approach proposed.

The semiconductor nickel oxide based sensor engineered in Institute of Electronics, National Academy of Sciences of the Republic of Belarus, has shown good sensitivity to low concentrations of ozone but its production process does not provide the sensors with the same characteristics.

In 2015, NOMREC specialists created a small-size model of the instrument on the basis of an MS2610 semiconductor sensor with tin oxide (SnO_2) to measure the surface ozone concentration. This sensor is commercially available and has a minimum variation in the main characteristics. The sensitivity and selectivity of the sensor are displayed in Fig. 2.6 and 2.7, respectively.

As can be seen from Fig. 2.6, the sensor MS2610 has a quite high sensitivity to measure the ozone concentration in the surface layer of the atmosphere. Like any other semiconductor sensor, the MS2610 sensor is sensitive to various gaseous components of the atmosphere as well (fig. 2.7). However, utilizing a special catalyst in the device enables to detect only ozone variations.

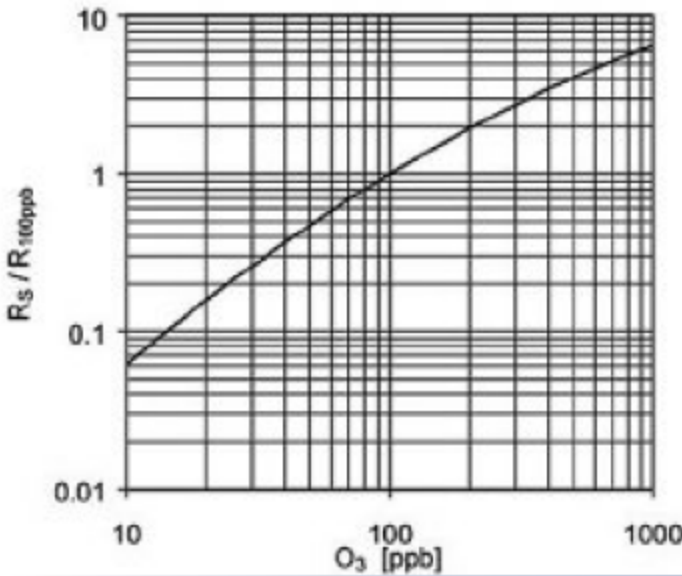


Рис. 2.6. Чувствительность сенсора MS2610 к озону
Fig. 2.6. Ozone sensitivity of MS2610 sensor

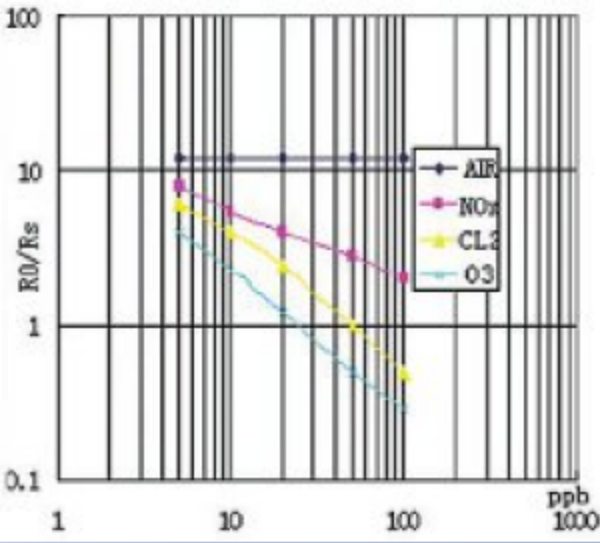


Рис. 2.7. Селективность сенсора MS2610
Fig. 2.7. Ozone selectivity of MS2610 sensor

Внешний вид нового прибора показан на рис. 2.8. Основные технические характеристики приведены в табл. 2.4. Прибор прошел тестовые испытания в Антарктиде в период работы сезонной БАЭ 2015–2016 гг.

Спектрограф изображения MARS-B (см. рис. 2.1, e) предназначен для мониторинга общего содержания и вертикальных профилей концентрации двуокиси азота в атмосфере. Прибор регистрирует рассеянное

The appearance of the new device is shown in Fig. 2.8. Main technical characteristics are given in Table 2.4. The instrument was tested in Antarctica during the seasonal BAE in 2015–2016.

The image spectrograph MARS-B (see Fig. 2.1, e) is designed to monitor total amount and vertical profiles of nitrogen dioxide in the atmosphere. The instrument registers the scattered solar light in the atmosphere in



Рис. 2.8. Внешний вид нового прибора для измерения концентраций приземного озона
Fig. 2.8. Original instrument for measuring the surface ozone concentrations

Таблица 2.4. Основные технические характеристики прибора

Table 2.4. Main characteristics of original instrument

Характеристика Characteristic	Значение Value
Тип датчика Sensor type	Полупроводниковый сенсор на основе SnO ₂ Semiconductor SnO ₂ sensor
Диапазон измеряемых концентраций Working range	10–1000 ppb
Потребляемая мощность, Вт Power, W	5
Интервал измерений, мин Measurement interval, min	3
Встроенная память Embedded memory	2 GB
Интерфейсы Interfaces	USB Host Mass Storage, LAN, Wi-Fi

атмосферой солнечное излучение в ультрафиолетовом и видимом диапазонах в пределах малого телесного угла под различными углами возвышения к горизонту.

MARS-B собран на базе спектрографа изображения ORIEL MS257, построенного по оптической схеме Черни–Тернера. Регистрирующим датчиком является двумерная ПЗС-матрица (Andor Technology DV420-OE, 1024 × 256 пикселей), охлаждаемая с целью уменьшения теплового шума до –50 °C.

Зарегистрированные спектры яркости различных участков небесной сферы обрабатываются по методу DOAS, в результате чего восстанавливаются дифференциальные наклонные содержания двуокиси азота (DSCD NO₂), которые затем преобразуются в вертикальные профили общего содержания NO₂ с помощью дополнительной процедуры.

2.1.2. Приборы для измерения характеристик атмосферного аэрозоля, облаков и подстилающей поверхности

Аппаратура для дистанционного оптического зондирования атмосферы и измерения спектра отражения поверхности представлена на рис. 2.9.

Спектральный альбедометр AS-A (рис. 2.9, а) предназначен для измерений спектров отражения подстилающей поверхности. Данные об отражательных характеристиках поверхности Земли требуются для расчета энергетического баланса системы «атмосфера – подстилающая поверхность». Одновременно антарктические снежные поля могут рассматриваться как удобный полигон для калибровки спутниковых оптических инструментов. При проведении такой калибровки одним из входных параметров алгоритма обработки данных является спектральная зависимость коэффициента диффузного отражения снежного покрова.

Формирование базы данных спектров отражения от различных типов объектов на поверхности (снежного покрова в различных стадиях его формирования, скальных пород, лишайников, водорослей и др.) важно для обработки данных спутниковой съемки.

Альбедометр AS-A состоит из приемного, спектрального и управляющего модулей. Приемный модуль представляет собой две фотоприемные насадки, размещенные по обоим сторонам белой матовой диффузно отражающей пластины, которая располагается горизонтально над исследуемой поверхностью и прибор регистрирует падающее и отраженное поверхностью излучение. Два оптические сигналы от фотоприемных насадок посредством кварцевых световодов передаются в спектральный модуль, который проводит спектральный анализ падающего и отраженного излучения. Управляющий модуль в со-

ultraviolet and visible ranges within a small solid angle at different elevation angles to the horizon.

MARS-B is constructed on the basis of the image spectrograph ORIEL MS257 devised on the Czerny–Turner optical scheme. As a sensor, one has a two-dimensional CCD (Andor Technology DV420-OE, 1024 × 256 pixels) cooled to –50 °C to reduce thermal noise.

Collected irradiance spectra of various segments of the celestial sphere are processed employing DOAS technique to retrieve differential slant column densities of nitrogen dioxide (DSCD NO₂), which are further converted into vertical profiles of NO₂ total amount employing an additional procedure.

2.1.2. Equipment to measure parameters of atmospheric aerosol, cloud and surface

Photos of the instruments for distant optical sounding of the atmosphere and for measuring the surface spectral reflectance are given in Fig. 2.9.

The spectral albedometer AS-A (Fig. 2.9, a) is designed to measure spectra of the surface reflection. Information about reflective properties of the surface is needed for evaluating the energy balance of the system atmosphere – land. At the same time, Antarctic snowfields can be employed as an easy-to-use range to calibrate satellite optical instruments. When calibrating satellite instruments, one of the input parameters in data processing is a spectral distribution of diffuse reflection coefficient of snow cover.

Creation of a data base of reflection spectra of various types of land (such as, snow cover on different forming stages, rocks, lichens, algae et al.) is important for handling of information from the satellite survey.

The albedometer AS-A consists of receiving, spectral and control modules. The receiving module represents two photo-receiver nozzles placed astride of the white diffusely reflecting plate. The plate is horizontally oriented above an investigated area, and the albedometer registers both incident and reflected by the area fluxes of radiation. By means of quartz light guide, two optical signals from the photo-receiver nozzles are transmitted to the spectral module which implements frequency analysis of incident and reflected radiation. The control module sets routine of work for the entire instrument in accordance with



Рис. 2.9. Аппаратура для измерения характеристик аэрозоля и подстилающей поверхности: а – спектральный альбедометр; б – многоволновый сканирующий солнечный радиометр; в – двухволновой лидар; д – многоволновой рамановский лидар

Fig. 2.9. Instruments for measuring parameters of aerosol and surface: а – spectral albedometer; б – multiwavelength scanning polarization sun/sky radiometer; в – two-wavelength lidar; д – multiwavelength polarization Raman lidar

ответствии с выбранным алгоритмом задает режим работы всего прибора, управляет работой отдельных его узлов, производит расчет спектров отражения исследуемой поверхности и сохраняет результаты измерений. Альбедометр может комплектоваться несколькими приемными модулями, что позволяет проводить одновременные измерения спектров отражения разных точек поверхности.

a chosen algorithm. It also rules operation of certain elements of the instrument, makes calculation of the surface reflection spectra and saves results of measurements. The albedometer can be supplied with several receiving modules, what allows the reflection spectra in different points of area to be simultaneously measured.

Таблица 2.5. Технические характеристики спектрального альбедометра AS-A
Table 2.5. Technical characteristics of the spectral albedometer AS-A

Характеристика Characteristic	Значение Value
Поле зрения, стерadian Field of vision, steradian	2π
Спектральный диапазон, нм Spectral range, nm	350–1000
Спектральное сглаживание Spectral feathering	По выбору By choice
Максимальное количество точек наблюдения Maximal number of observation points	3
Максимальное расстояние между точками наблюдения, м Maximal distance between observation points, m	100
Измеряемая характеристика Measured characteristic	«Плоское альbedo» «Plane albedo»

Технические характеристики альбедометра AS-A приведены в табл. 2.5.

Снежная поверхность отражает солнечное излучение с коэффициентом отражения $R(\theta, \varphi, \theta_0, \varphi_0 = 0)$, где $\theta_0, \varphi_0 = 0$ – координаты солнца, θ, φ – координаты направления наблюдения. Результатом измерения альбедометром является величина

$$R(\theta_0) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} R(\theta, \varphi, \theta_0) \cos \theta \sin \theta d\theta d\varphi,$$

которую в теории переноса излучения называют «плоским альbedo».

Спектральный альбедометр AS-A, измеряющий спектральную зависимость плоского альbedo $R(\lambda, \theta_0, \varphi_0)$, начал использоваться в антарктических экспедициях с 2012 г.

Солнечный спектральный сканирующий радиометр CE-318N-EBM9 (CIMEL) [8] (рис. 2.9, б) измеряет спектр прозрачности атмосферы и угловые зависимости интенсивности рассеянного солнечного излучения в спектральном диапазоне 340–1020 нм. Экземпляр радиометра для антарктической станции снабжен блоком обогрева робота прибора. Радиометр выполняет три вида измерений: регистрацию прямопрошедшей солнечной радиации на длинах волн 340, 380, 440, 500, 670, 940, 1020 нм; измерения рассеянной радиации на длинах волн 440, 670, 870 и 1020 нм в главной солнечной плоскости и в солнечном альмукантате.

Результатом обработки радиометрических измерений являются усредненные по атмосферной толщине параметры аэрозоля: аэрозольная оптическая толщина (AOT), параметр Ангстрема, характеризующий спектральную зависимость AOT; содержание водяного

Technical characteristics of the albedometer AS-A are given in Table 2.5.

A snow area reflects the solar radiation as defined by the reflection coefficient $R(\theta, \varphi, \theta_0, \varphi_0 = 0)$, where $\theta_0, \varphi_0 = 0$ and θ, φ are coordinates of the sun and observation, respectively, directions. The quantity measured by the albedometer is described by the function

$$R(\theta_0) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} R(\theta, \varphi, \theta_0) \cos \theta \sin \theta d\theta d\varphi,$$

which is referred to as «the plane albedo» in the radiative transfer theory.

The spectral albedometer AS-A, measuring a spectral dependence of plane albedo $R(\lambda, \theta_0, \varphi_0)$, has been used in Antarctic expeditions since 2012.

The multiwavelength scanning sun/sky radiometer CE-318N-EBM9 (CIMEL) [8] (Fig. 2.9, b) measures atmospheric transparency spectrum and radiance angular patterns of scattered solar light over the range 340–1020 nm. The radiometer specimen that is situated in the Antarctic station is supplied with a heater for the robot built into the radiometer. The radiometer makes three types of measurements: registration of the direct solar radiation on the wavelengths 340, 380, 440, 500, 670, 940 and 1020 nm; detection of scattered radiation on the wavelengths 440, 670, 870 and 1020 nm in the principle solar plane and the same detection in the almucantar.

Results of radiometer data processing represent aerosol columnar parameters which include the aerosol optical thickness (AOT), Angstrom parameter determining AOT spectral dependence, water vapor content, aerosol size distribution of the particle

пара, распределение аэрозольных частиц по размерам ($\text{мкм}^3/\text{мкм}^2$), показатель преломления (действительная и мнимая части), фазовые функции [9].

Радиометр CE-318N является базовым прибором глобальной радиометрической сети AERONET [10, 11]. Сеть AERONET проводит регулярные наблюдения атмосферного аэрозоля начиная с 1993 г. Задача AERONET – контроль изменений аэрозольного слоя атмосферы как климатологического фактора. Одновременно результаты измерений AERONET важны для валидации спутниковых данных.

К настоящему времени около 300 станций AERONET проводят измерения на планете. Первый измерительный пункт AERONET в Антарктиде начал работу в 1995 г. на станции «McMurdo» (77S, 162E, США). В последующие годы только на огромном пространстве Антарктиды дополнительно были зарегистрированы только шесть станций AERONET. Причем в последние годы (2013–2015 гг.) регулярные наблюдения проводились на четырех станциях: «South Pole Obs NOAA» (89.99S, 70.30E), «Utsteinen» (71.95S, 23.33E), «Vechernaya Hill» (67.66S, 46.16E), «Progress» (69S, 76E). Измерительные радиометрические пункты сети AERONET «Vechernaya Hil» и «Progress» были созданы совместно сотрудниками Института физики НАН Беларуси и LOA в 2008 и 2014 гг. соответственно. Аттестация аппаратуры, измерения и обработка данных выполняются в соответствии с процедурами, принятыми в AERONET. Данные наблюдений доступны на информационном сайте AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>).

Лидарные системы разрабатываются для измерения высотных профилей оптических характеристик и микроструктуры аэрозольных и облачных частиц. К настоящему времени для измерений в Антарктике изготовлены два лидара:

- двухволновый мобильный лидар (рис. 2.9, c);
- многоволновый рамановский поляризационный лидар (рис. 2.9, d).

Технические характеристики приборов приведены в табл. 2.6.

Двухволновый мобильный лидар предназначен для работы на открытой площадке и удобен при проведении полевых работ, (см. рис. 2.9, c). Лидар имеет облегченную конструкцию. Приемно-передающий блок, блоки питания и охлаждения монтируются в двух контейнерах, снабженных системой обогрева. Управление прибора дистанционное, через USB-канал. Рабочее место оператора оборудуется в лабораторном помещении. Первые лидарные измерения в рамках настоящей работы были проведены с использованием двухволнового лидара на станции «Молодежная» в антарктической экспедиции 2012–2013 г.

Многоволновый рамановский поляризационный лидар (см. рис. 2.9, d) является многофункциональной

volume ($\text{мкм}^3/\text{мкм}^2$), refraction index (its real and imaginary parts) and phase functions [9].

The sun/sky radiometer CE-318N is a basic instrument in the global network AERONET [10, 11]. This network implements regular observations of atmospheric aerosol since 1993. The task of AERONET is to control changes of the aerosol layer as a climatic factor. Also, AERONET results are important for validation of satellite data.

Up to now, it has been founded about 300 AERONET stations which conduct measurements on the whole planet. The first measuring point of AERONET in Antarctic started to work in 1995 on the station «McMurdo» (77S, 162E, USA). In the next years, additional six AERONET stations were registered on the huge spaces of Antarctic. During recent years 2013–2015, regular observations were made only on four stations: «South Pole Obs NOAA» (89.99S, 70.30E), «Utsteinen» (71.95S, 23.33E), «Vechernyaya Hill» (67.66S, 46.16E) and «Progress» (69S, 76E). Measuring points «Vechernyaya Hill» and «Progress» of AERONET were organized jointly by scientists from the Institute of physics of NASB, Belarus, and from the Laboratory of optics of the atmosphere (LOA), France, in 2008 and 2014, respectively. Certification of radiometers, measuring and data processing in «Vechernyaya Hill» and «Progress» are made in accordance with procedures accepted in AERONET. Obtained observations data are accessible on the information site AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>).

Lidar systems are developed to measure altitude profiles of optical parameters and microstructure of aerosol and cloud particles. Up to now, two lidars have been worked out for Antarctic researches:

- the mobile two-wavelength lidar (Fig. 2.9, c);
- the multiwavelength polarization Raman lidar (Fig. 2.9, d).

Technical parameters of the instruments are given in Table 2.6.

The mobile two-wavelength lidar was designed for operating on an open ground. It is easy-to-use while performing field experiments (see Fig. 2.9, c). The lidar construction is lightweight. A receiver-passing module, power pack and cooling block have been assembled in two containers supplied with a heating system. Operation of this instrument is remote, through a USB-channel. An operator workplace has been equipped on laboratorial premises. The first lidar measurements in the framework of this project were made employing the two-wavelength lidar in the station «Molodezhnaya» during the Antarctic expedition of 2012–2013 years.

The multiwavelength polarization Raman lidar (see Fig. 2.9, d) is a multifunctional system developed

Таблица 2.6. Технические параметры лидаров
Table 2.6. Technical parameters of lidars

Параметр Parameter	Мобильный двухволновый лидар Mobile two-wavelength lidar	Многоволновый рамановский поляризационный лидар Multiwavelength polarization Raman lidar
Излучатель Sender		
Тип лазера Laser type	YAG:Nd	YAG:Nd
Длина волны, нм Wavelength, nm	532, 1064	355, 532 и 1064
Энергия импульса, мДж Pulse energy, mJ	25–100	50–150
Расходимость, мрад Divergence, mrad	0.5–1	0.5
Частота посылки импульсов, Гц Frequency of pulses sended, Hz	10	10
Приемник Detector		
Телескоп Telescope	МаксUTOва Maksutova	Кассегрена Kassegrena
Диаметр зеркала, мм Mirror diameter, mm	100	210
Фокусное расстояние, мм Focal distance, mm	1000	1000
Рабочий спектральный диапазон, нм Spectral range of operation, nm	532–1064	355–1064
Каналы измерения, число каналов / измеряемые характеристики Measuring channels: number of channels / measured characteristics	2 / интенсивность обратного рассеяния, 532 и 1064 нм 2 / backscatter radiance, 532 and 1064 nm	7 / – интенсивность обратного рассеяния, 355 и 1064 нм; – перпендикулярно поляризованные компоненты сигнала обратного рассеяния, 532 нм; – сигналы рамановского рассеяния азотом, 387 и 607 нм; – сигнал рамановского рассеяния парами воды, 407 нм 7 / – backscatter radiance, 355 and 1064 nm; – cross and in parallel polarized backscatter radiances, 532 nm; – signal of Raman scattering by nitrogen, 387 and 607 nm; – signal of Raman scattering by water vapor, 407 nm
Режим регистрации Registration regime	Аналоговый Analog	Аналоговый и счет фотонов Analog and photon counting

системой, предназначенной для дистанционного зондирования атмосферного аэрозоля и облаков, измерения концентрации аэрозольных частиц, определения параметров микроструктуры аэрозоля и облаков, измерения содержания паров воды в атмосфере. Зондирующий луч содержит три гармоники излучения YAG-лазера 355, 532 и 1064 нм. Многоканальная система регистрации обеспечивает измере-

to perform remote sensing of atmospheric aerosol and clouds, to measure concentration of aerosol particles, to derive microstructure parameters of aerosol and clouds and to measure water vapor content in the atmosphere. A sounding beam has three harmonic components 355, 532 and 1064 nm of YAG-laser radiation. The multichannel registration system provides measuring of the backscatter radiance on the wave-

ние интенсивности сигналов обратного рассеяния на длинах волн зондирующего излучения, рамановского рассеяния атмосферным азотом и парами воды в ультрафиолетовом и видимом диапазонах спектра, параллельно и перпендикулярно поляризованных компонентов обратного рассеяния на длине волны 532 нм. По техническим характеристикам лидарная система соответствует требованиям к базовым многоволновым рамановским станциям Европейской лидарной сети EARLINET [12, 13].

Набор сигналов, измеряемых многоволновым рамановским лидаром, достаточно информативен, чтобы провести расчет профилей показателей ослабления и обратного рассеяния аэрозолей, характеризовать фазовый состав аэрозольных частиц, дать оценку параметров микроструктуры аэрозоля [14–16], в том числе реализовать методику комплексного лидарного и радиометрического зондирования аэрозоля [17].

Зондирование атмосферы с использованием многоволнового рамановского лидара началось на станции «Гора Вечерняя» в экспедиции 2014–2015 гг.

lengths of sounding radiation, cross and in parallel polarized backscatter radiances on 532 nm and Raman scattering by the atmospheric nitrogen and by the water vapor in UV and Visible. The lidar system, by its technical parameters, meets the requirements to basic multiwavelength Raman stations of the European lidar network EARLINET [12, 13].

Set of signals measured by the multiwavelength Raman lidar is sufficiently informative to estimate profiles of aerosol extinction and backscatter, to characterize phase composition of aerosol particles and to estimate parameters of aerosol microstructure [14–16], in particular, realize the technique of complex lidar & radiometric sounding of aerosol [17].

Sensing of atmosphere using the multiwavelength Raman lidar was initiated in the expedition of 2014–2015 years in the station «Vechernyaya Hill».



2.2. Исследования атмосферного озона, окиси азота и интенсивности солнечной радиации у земной поверхности

Исследования состояния озоносферы и уровней приземного УФ-излучения в Антарктическом регионе представляют большой интерес, в связи как с известным феноменом Антарктической озоновой аномалии, так и с тем обстоятельством, что Антарктида в сочетании с окружающим ее водным пространством является своеобразной «климатической кухней», определяющей погоду в Южном, а также частично в Северном полушарии.

Раздел исследований атмосферы и земной поверхности Государственной программы изучения Антарктики своей долгосрочной целью ставит организацию комплексных спектрометрических измерений параметров атмосферы и подстилающей поверхности в прибрежной зоне Восточной Антарктики.

Мониторинг ОСО в периоды сезонных БАЭ проводился в местах их дислокации приборами, описанными в разделе 2.1. Важной особенностью было то, что измерения проводились одновременно различными оптическими методами, что обеспечивало их взаимную проверку и позволило совершенствовать методику измерений.

На рис. 2.10 представлены основные результаты мониторинга ОСО, проведенного за время сезонных

2.2. Studies of the atmosphere ozone, nitrogen oxide, and solar radiation intensity at the ground surface

Studying the ozone layer state and the levels of surface UV radiation in the Antarctic region is of great interest as reflecting the well-known phenomenon of the Antarctic ozone anomalies as well as considering the fact that Antarctica along with the adjacent water area is a kind of «climate backroom» determining the weather in the southern and, partly, in the northern hemispheres.

A section of Optical Research of the Atmosphere and Earth's Surface of the Government Program of Antarctic studies aims at organizing complex spectrometric observations of the atmosphere and the underlying surface in the Eastern Antarctic coastal zone.

TO monitoring was conducted during seasonal BAE in the points of their location with the instruments described in section 2.1. An important feature was that the measurements were performed simultaneously using different optical methods thus ensuring their mutual check and improving the measurement procedure.

Figure 2.10 shows the main TO monitoring results obtained during seasonal expeditions of 2006–2009

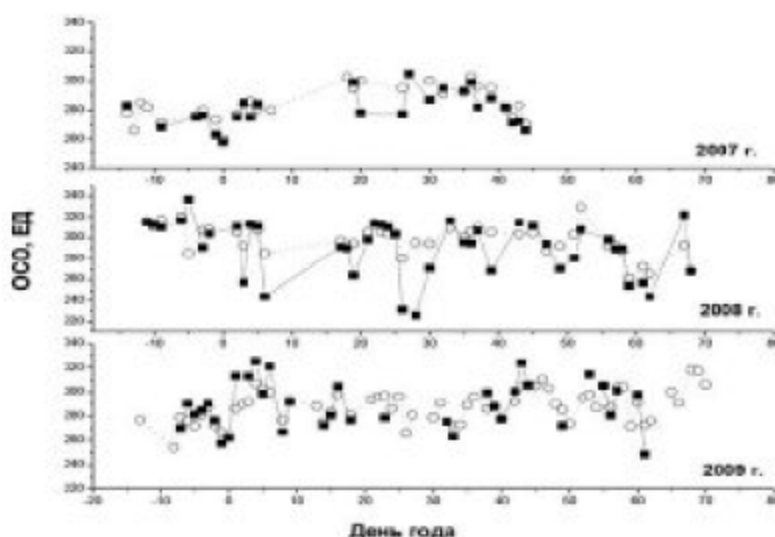


Рис. 2.10. Среднедневные значения ОСО, полученные наземным (М124-М – черные квадраты) и орбитальным (ОМI – белые кружки) методами для антарктических станций «Молодежная» и «Гора Вечерняя»

Fig. 2.10. Average daily TO values obtained with the ground (M124-M – black squares) and orbital (OMI – white circles) methods for the Antarctic Stations «Molodezhnaya» and «Vechnyaya Hill»

экспедиций 2006–2009 гг. с помощью озонметра М124-М. Измерения проведены методами «по прямому солнцу» и «из зенита атмосферы». Полученные результаты сопоставлены с данными орбитальных измерений (ОМI).

Как видно из рис. 2.10, результаты наземных и орбитальных измерений за небольшим исключением достаточно хорошо согласуются между собой.

Необходимо отметить, что более 80% измерений были проведены при $SZA > 60^\circ$, а общее количество безоблачных дней не превышало 20%. Несмотря на это среднее отклонение результатов единичных измерений ОСО (М124-М) от соответствующих среднедневных значений для всех полученных рядов измерений не превысило 6%.

Это свидетельствует о воспроизводимости применяемых методик и их устойчивости к влиянию внешних условий.

В то же время применение озонметра М124, требующее постоянного присутствия оператора, в экстремальных условиях полярных экспедиций не всегда приемлемо. Гораздо более эффективными представляются полностью автономные, автоматизированные системы с минимальным количеством подвижных и настраиваемых деталей.

В качестве вариантов подобных автоматических систем мониторинга было предложено использовать спектрорадиометр «ПИОН-УФ-II» и фильтровый радиометр «ПИОН-ФН». С этой целью в НИИЦ МО БГУ для них были разработаны специальные методики и программное обеспечение для определения ОСО. В качестве основы был использован метод измере-

with the ozonometer M124-M. The measurements are realized employing «direct sun» and «solar zenith angle» techniques. The results are compared with the data of orbital measurements (OMI).

As can be seen from the Fig. 2.10, the results of ground-based and orbital measurements with a few exceptions are in a good agreement with each other.

Furthermore, one should mark that more than 80% of the measurements were accomplished at $SZA > 60^\circ$, and the total number of cloudless days did not go over 20%. Despite this, the mean deviation of the results of TO single measurements (M124-M) from the corresponding daily average values for all measurement series did not exceed 6%.

This demonstrates the reproducibility of the techniques employed and their resistance to the influence of external conditions.

At the same time, applying ozonometer M124, which requires constant operator presence, in the extreme conditions of polar expeditions is not always acceptable. Here fully independent automated systems with a minimum of moving units are believed as much more effective.

As a variant of those, one proposed to use the spectroradiometer «PION UV-II» and the filter radiometer «PION-FN». To derive TO, special techniques and software were elaborated by the NOMREC specialists. As a basis for TO retrieval, the method, employing irradiance spectra and initially proposed by K. Stamnes [18], was used. Advancing the technique allowed to

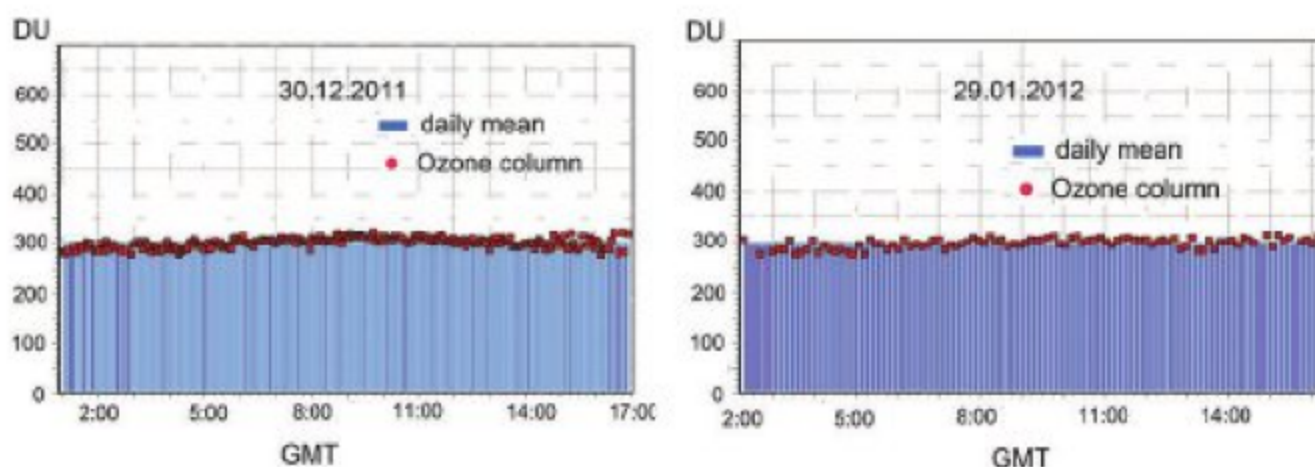


Рис. 2.11. Результаты дневных измерений ОЗО на станции «Молодежная»

Fig. 2.11. Results of TO daily measurements at the «Molodezhnaya» station

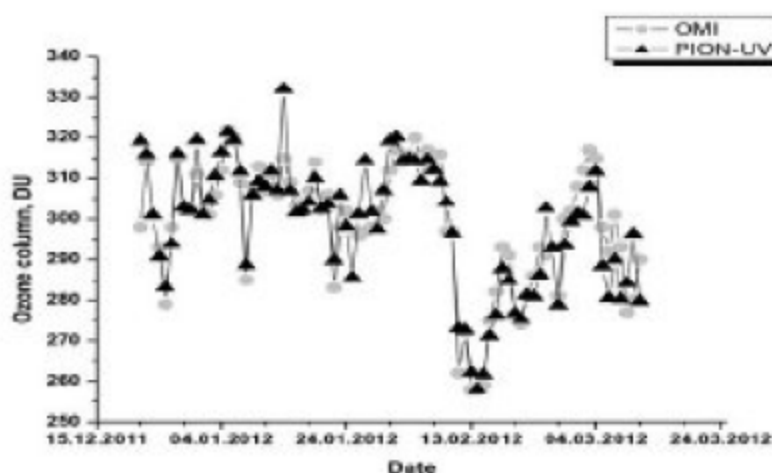


Рис. 2.12. Экспериментальные среднесуточные значения ОЗО, на станции «Молодежная», 4-я БАЭ (2011–2012 г.)

Fig. 2.12. Experimental TO daily average values at the «Molodezhnaya» station, the 4th BAE (2011–2012)

ния ОЗО по спектрам освещенности, предложенный К. Стамнесом [18]. Развитие методики позволило существенно расширить ее возможности и повысить точность за счет оперативного использования данных других видов мониторинга, в частности, характеристик облачности и аэрозолей, спектра альbedo подстилающей поверхности и т. п.

Результаты измерений ОЗО, проведенных на антарктических станциях «Молодежная» и «Прогресс» спектро радиометром «ПИОН-УФ-II» с использованием модифицированного метода Стамнеса, представлены на рис. 2.11, 2.12. Для сравнения на рисунках также приведены данные орбитальной системы OMI.

Анализ результатов, полученных в Антарктиде в период 2011–2015 гг., показал устойчивую работу методики в условиях больших зенитных углов солнца и высоких значений альbedo подстилающей поверхности.

significantly expand its capabilities and increase accuracy by operational use of data from other types of monitoring, in particular, the characteristics of clouds and aerosols, the spectrum of the underlying surface albedo, etc.

TO measurement results derived at the Antarctic Stations «Molodezhnaya» and «Progress» by the «PION UV-II» spectroradiometer with the modified Stamnes technique are shown in Figs. 2.11 and 2.12. For comparison, orbital data (OMI) are also given in the figures.

While analyzing the results obtained in Antarctica during the period of 2011–2015, one may verify stable operation of the technique at large solar zenith angle and high values of the underlying surface albedo.

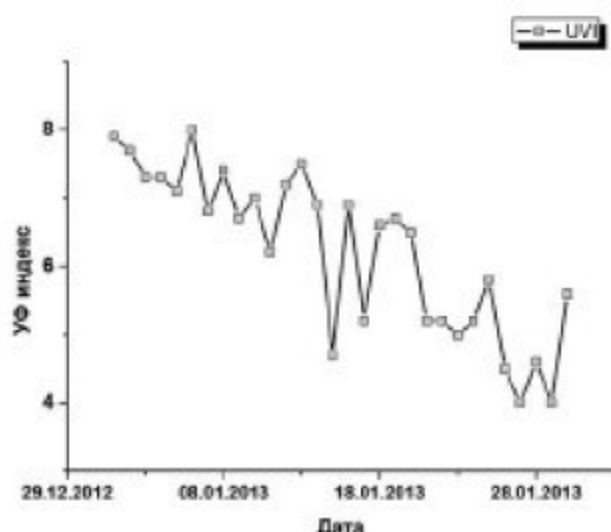


Рис. 2.13. Вариация УФ-индекса в период 5-й БАЭ (декабрь 2012 г. – март 2013 г.), антарктическая станция «Молодежная»

Fig. 2.13 Variation of UV index during 5th BAE (December 2012 – March 2013), the Antarctic Station «Molodezhnaya»

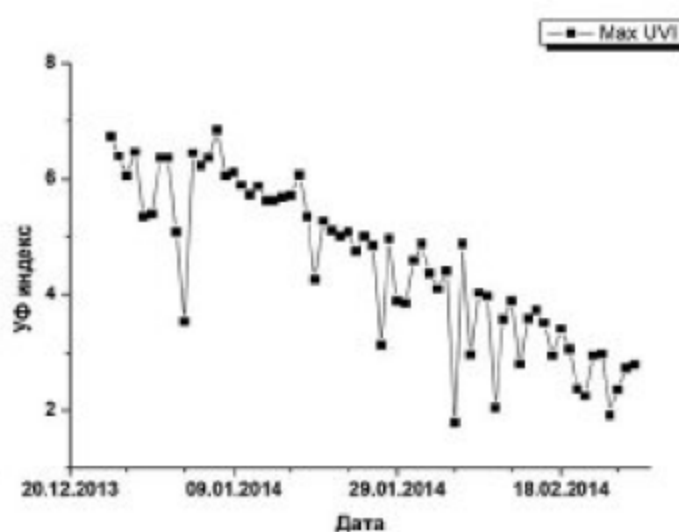


Рис. 2.14. Вариация УФ-индекса в период 6-й БАЭ-6 (декабрь 2013 г. – март 2014 г.), антарктическая станция «Прогресс»

Fig. 2.14 Variation of UV index during 6th BAE (December 2013 – March 2014), Antarctic Station «Progress»

Необходимо также отметить, что разработанная в НИИЦ МО БГУ методика определения ОСО по данным измерения спектров освещенности (СПЭО) прошла также длительный период испытаний в условиях Республики Беларусь – с 2002 г. она является базовой методикой измерения ОСО на Минской озонометрической станции и станциях мониторинга на оз. Нарочь и в Гомельском университете.

Мониторинг УФ-излучения. В период сезонных БАЭ мониторинг уровней и доз приземного УФ-излучения проводился, в основном, с использованием спектро радиометра «ПИОН-УФ-II». В экспедиции 2015–2016 гг. его функции выполняла автономная автоматизированная система на базе фильтрового фотометра «ПИОН-ФН».

На рис. 2.13 и 2.14 показаны сезонные изменения значений УФ-индекса, зарегистрированные в течение двух последовательных экспедиций 2012–2014 гг. – 5-й и 6-й БАЭ. Полученные зависимости типичны для всех БАЭ, проведенных в период с 2007 по 2015 гг.

Как видно из сопоставления рис. 2.13 и 2.14, значения УФ-индекса, зарегистрированные в период 6-й БАЭ (2013–2014 гг.) несколько ниже соответствующих значений, полученных в 2012–2013 гг. во время 5-й БАЭ, базировавшейся в районе станций «Молодежная» и «Гора Вечерняя». Тем не менее общая тенденция сезонной вариации значений УФ-индекса сохраняется, отражая закономерное изменение максимального зенитного угла Солнца, характерное для данного региона.

It should also be noted that the originated by NOMREC BSU procedure of determining the TO on irradiance spectra has undergone a long period of testing in the Republic of Belarus. Since 2002 it is used as the basic method for TO measurements at the Minsk Ozone Station as well as at the monitoring stations near Naroch lake and in Gomel University.

Monitoring of UV radiation. During the seasonal BAE, monitoring of dose and levels of surface UV radiation was conducted mainly using the «PION-UV» spectroradiometer. In the expedition of 2015–2016 this was assigned to an independent automated system on the basis of the filter photometer «PION-FN».

Figures 2.13 and 2.14 show the seasonal variations of UV index values revealed in two consecutive expeditions 5th BAE and 6th BAE of 2012–2014. The resulting dependencies are typical for all the BAEs covering the period from 2007 to 2015.

As can be seen from a comparison of Figs. 2.13 and 2.14, the values of UV index registered during the 6th BAE (2013–2014) are slightly lower than those obtained in 2012–2013 during the seasonal expedition 5th BAE located in the area of the «Molodezhnaya» and «Vechernyaya Hill» Stations. Nevertheless, the general trend of seasonal variations of the UVI values remains indicating the regular change of the maximum solar zenith angle typical of the region.

Несмотря на сравнительно кратковременные периоды экспериментального мониторинга, ограниченные временем сезонных БАЭ, исследование уровней интенсивности и спектров приземного солнечного УФ-излучения в Антарктическом регионе представляет интерес в трех основных аспектах:

1. Измерение доз биологически активного УФ-облучения в районе БАЭ для оценки УФ-климата и обеспечения мер безопасности личного состава БАЭ;

2. Использование уникальных геофизических и атмосферных условий полярного антарктического региона (высокие уровни и однородность спектра альbedo подстилающей поверхности в УФ-области, отсутствие влажности, отсутствие заметных приземных концентраций NO_2 и т. д.) для верификации и корректировки моделей переноса излучения, используемых при разработке алгоритмов расчета параметров атмосферы по данным наземных и орбитальных наблюдений.

3. Разработка параметризации переноса коротковолнового излучения для мезомасштабных и климатических моделей атмосферных процессов.

С использованием результатов экспериментального наземного мониторинга в сочетании с данными орбитальных наблюдений специалистами НИИЦ МО БГУ проведен анализ сравнительной эффективности воздействия различных атмосферных и геофизических факторов на режим приземного ультрафиолетового солнечного излучения в прибрежной зоне Антарктиды. При этом особое внимание уделялось району базирования 6-й БАЭ, проходившей на Российской станции «Прогресс» в период с 23 декабря 2013 г. по 18 марта 2014 г.

Анализ проводился методом численного моделирования спектрального распределения плотности освещенности (СПЭО) земной поверхности «прямым» и «диффузно рассеянным атмосферой» излучением Солнца в диапазоне длин волн $\lambda = 290 \div 450$ нм. Модельные расчеты проводились с помощью программных модулей, разработанных на базе библиотеки libRadtran 2.0 [19].

Важно отметить, что при анализе комплексно использовались все имеющиеся в наличии данные экспериментального мониторинга, а также результаты численного моделирования мезомасштабных погодных процессов в системе WRF [20].

Методом численного моделирования исследовалось влияние основных геофизических и атмосферных факторов на спектры СПЭО в диапазоне длин волн $\lambda = 280 \div 450$ нм, представляющие собой сумму спектров освещенности прямым и диффузно рассеянным вниз атмосферой излучением (direct + diffuse down), а также на его отдельные составляющие. Дополнительно исследовались спектры излучения диффузно рассеянного вверх (diffuse up) атмосферой

Despite the relatively short duration of the pilot monitoring as being limited by the time of the seasonal BAEs, examining intensity levels and spectra of surface solar UV radiation in the Antarctic region poses interest in three main aspects:

1. Measuring doses of biologically active UV radiation in the area of the BAE to assess UV climate and ensure security measures of the BAE personnel.

2. Using the unique geophysical and atmospheric conditions of the polar Antarctic region (high levels and uniformity of the spectrum of the underlying surface albedo in the UV region, lack of humidity, lack of significant NO_2 surface concentrations, etc.) to verify and adjust the radiative transfer models while elaborating computation algorithms of the atmosphere parameters based on ground and orbital observations.

3. Developing parametrizations of the short-wave radiation transfer for mesoscale and climatic models of atmospheric processes.

Using the results of experimental ground monitoring in combination with the data of orbital observations, the NOMREC experts have analyzed the comparative efficiency of the impact of different atmospheric and geophysical factors on the regime of the surface ultraviolet solar radiation in the coastal area of Antarctica. Particular attention has been given to the area of location of the 6th BAE at the Russian Station «Progress» in the period from December 23, 2013 to March 18, 2014.

The analysis has been performed by the method of numerical simulation of the spectral irradiance in the wavelength range of $\lambda = 290\text{--}450$ nm. Model calculations have been realized employing the software modules elaborated on the basis of libRadtran Library 2.0 [19].

It is important to note that while analyzing both all available data of experimental monitoring and results of numerical modeling of mesoscale weather processes in the WRF system have been used [20].

By the numerical simulation, one has investigated the influence of basic geophysical and atmospheric factors on the irradiance spectra in a wavelength range of $\lambda = 280\text{--}450$ nm as the sum of irradiance spectra of direct and diffusely scattered down radiation by the atmosphere (direct + diffuse down). In addition, spectra of the radiation diffusely scattered up (diffuse up) by the atmosphere and the underlying surface have been studied. The latter are

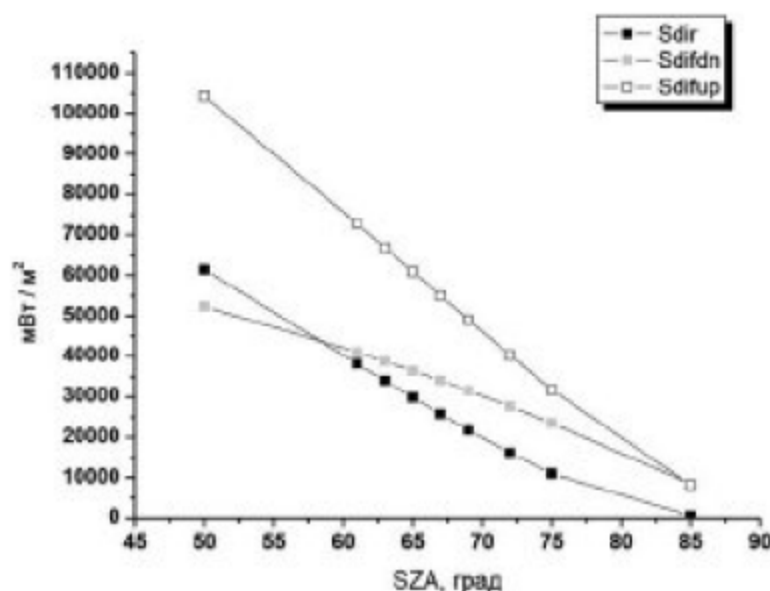


Рис. 2.15. Зависимость интегралов спектров компонент СПЭО в диапазоне длин волн $\lambda = 290 \div 450$ нм от зенитного угла Солнца (SZA) при условиях «чистой» атмосферы

Fig. 2.15. Dependence of the integrals of the components of the irradiance spectra in a wavelength range of $\lambda = 290\text{--}450$ nm on the solar zenith angle (SZA) under conditions of the «clean» atmosphere

и подстилающей поверхностью. Последние спектры представляют интерес для спутниковых наблюдений методом «в надир».

Исследовались зависимости спектров СПЭО от солнечного зенитного угла, SZA; альbedo подстилающей поверхности; общего содержания озона в вертикальном столбе атмосферы, ОСО; общего содержания NO_2 в столбе атмосферы, ОСДОА; параметров атмосферных аэрозолей; параметров облачности. Для исследований были приняты условия максимально приближенные к атмосферным и геофизическим условиям района и времени проведения 6-й БАЭ.

На рис. 2.15 в качестве примера представлены результаты численного моделирования зависимости освещенности земной поверхности от зенитного угла Солнца (SZA) в условиях ясной погоды при отсутствии облачности и аэрозолей. Значения ОСО и альbedo поверхности соответствуют значениям, стандартным для исследуемого региона.

Важно отметить, что при высоких значениях альbedo уже при SZA $\sim 60^\circ$ начинается превышение интенсивности диффузно рассеянной (вниз) компоненты над интенсивностью прямого излучения. Это достаточно хорошо видно из рис. 2.15, на котором представлены зависимости от SZA площадей под спектрами СПЭО различных компонент приземного солнечного излучения. Спектры проинтегрированы в диапазоне длин волн $\lambda = 290 \div 450$ нм. Все расчеты проведены с учетом поправок на «сферическую геометрию».

of interest to satellite observations by the «nadir» technique.

One has also treated dependencies of the irradiance spectra on the following parameters: solar zenith angle, SZA; albedo of the underlying surface; total ozone in a vertical column of the atmosphere, TO; NO_2 total amount in the atmospheric column, NO_2 TA; parameters of atmospheric aerosols; cloud parameters. In the analysis, one has assumed the conditions being as close as possible to those of the 6th BAE in terms of atmosphere and geophysical factors.

In Fig. 2.15, as an example, results of numerical modeling of the Earth's surface irradiance depending on the solar zenith angle (SZA) is presented for clear weather conditions in the absence of clouds and aerosols. The values of the TO and the underlying surface albedo correspond to the standard ones of the region.

One should mark that with the high albedo intensity of the diffusely scattered (down) component starts exceeding intensity of the direct radiation even at the SZA $\sim 60^\circ$. This is quite distinctively seen from Fig. 2.15 which shows the dependence of the irradiance spectra of various components of the surface solar radiation on SZA. Spectra are integrated over a wavelength range of $\lambda = 290\text{--}450$ nm. All calculations have been performed assuming the corrections on the «spherical geometry».

После углов $>70^\circ$ начинается резкий рост отношений интегралов диффузных компонент к соответствующему интегралу прямого излучения, связанный с более резким падением сигнала прямого излучения.

Необходимо отметить, что в присутствии облачности и атмосферных аэрозолей ситуация «усугубляется» и доминирование рассеянных компонент становится еще более значительным.

Полученный результат однозначно свидетельствует о том, что при значительных $SZA >60^\circ$ и высоких альбедо подстилающей поверхности методы определения параметров атмосферы (например, OCO), основанные на анализе спектров рассеянного солнечного излучения (Z, СПЭО) имеют значительные преимущества по сравнению с методами, ориентированными на исследование спектров прямого излучения (DS).

Мониторинг приземных концентраций озона.

В соответствии с проведенным в последнее время анализом уровень тропосферного озона как минимум удвоился по сравнению с «доиндустриальной» эпохой. При этом, однако, следует признать, что в отличие от CO_2 и метана рост его гораздо труднее поддается количественной оценке. Это связано с тем, что, во-первых, поскольку озон – химически активный газ, он не сохраняется в кернах льда, и, следовательно, нет данных, доступных для анализа для периода, предшествующего началу его непосредственного экспериментального измерения. Во-вторых, озон подвергается сложным атмосферным реакциям образования и разрушения, в результате чего концентрация тропосферного озона может варьироваться в широком пределе в зависимости от места и времени наблюдения.

По оценкам некоторых исследователей (Janach, 1989; Staehelin, 1994; Marengo, 1994), уровень приземного озона до начала периода антропогенного воздействия находился в пределах 10–15 ppb. В настоящее время многие станции фоновых наблюдения сообщают, что средний уровень приземного озона находится в диапазоне 30–40 ppb. Предполагается, что рост концентрации приземного озона может быть связан с увеличением выбросов в течение прошлого столетия его фотохимических прекурсоров.

Отсутствие полной ясности в определении механизмов образования локальных концентраций приземного озона, а также в оценке роли в их формировании динамических атмосферных процессов, резко повышают ценность экспериментального мониторинга этих концентраций. Особый интерес представляют регионы с ожидаемо низкой антропогенной нагрузкой, которые позволяют изучать образование фоновых концентраций приземного озона и их связь с естественными природными процессами.

After the angles $>70^\circ$, one has revealed a sharp rise in ratio of the integrals of the diffuse components to the corresponding integral of the direct radiation associated with a more distinctive drop in a direct radiation signal.

It has to be noted that, in the presence of atmospheric clouds and aerosols, situation «aggravates» with domination of the scattered components becoming even more significant.

This result unambiguously indicates that at the significant $SZA >60^\circ$ and the high albedo of the underlying surface, the methods based on the analysis of the scattered solar radiation spectra (Z, irradiance) for determining the atmosphere parameters (e. g. TO) have significant advantages if compared to the techniques employing direct radiation spectra (DS).

Monitoring of the surface ozone concentrations reactions. The recently conducted analysis shows that the level of the tropospheric ozone has at least doubled the one of the «pre-industrial» era. At the same time, however, one has to recognize that, in contrast to CO_2 and methane, it appears to be much more difficult to evaluate the growth of the tropospheric ozone. This is due to the fact that, first, since the ozone is the reactive gas, it is not accumulated in the ice cores, and, consequently, no data are available for analysis of the period preceding the start of the ozone direct experimental measurement. Second, the ozone is affected by the complex atmospheric reactions of formation and destruction resulting in the high variation of the tropospheric ozone concentration depending on location and time of observation.

According to some researchers (Janach, 1989; Staehelin, 1994; Marengo, 1994), the level of the surface ozone preceding the period of human impact was within 10–15 ppb. Currently, many of the background monitoring stations report an average level of the surface ozone as that of 30–40 ppb. It is assumed that the growth of the surface ozone concentration may be referred to the increase in emissions of its photochemical precursors over the last century.

The lack of complete clarity in defining mechanisms of the formation of local concentrations of the surface ozone as well as in assessing the role of dynamic atmospheric processes in their formation greatly enhances the value of the experimental monitoring of these concentrations. Of particular interest are regions with expected low anthropogenic activities allowing to study the formation of the surface ozone background concentrations and their relation to natural processes.

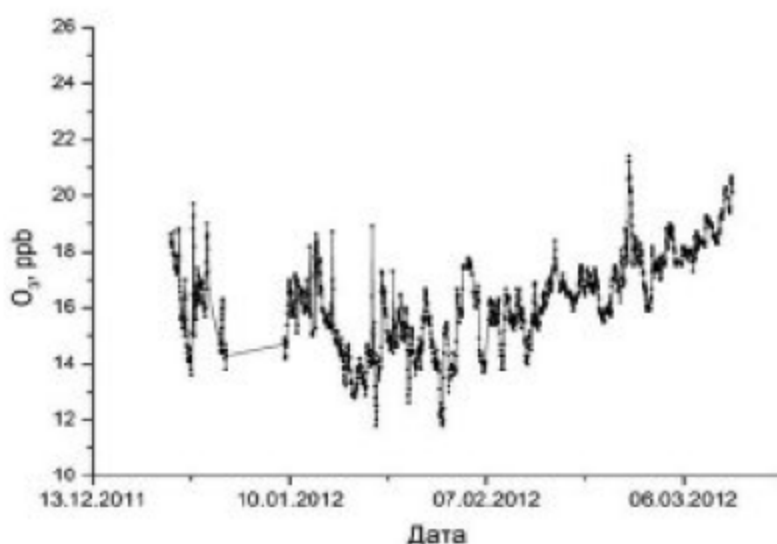


Рис. 2.16. Временной ход концентрации приземного озона в период с 24.12.2011 г. по 12.03.2012 г.

Fig. 2.16. The time course of the surface ozone concentration in the period from 24.12.2011 to 12.03.2012

Мониторинг приземных концентраций озона в районе БАЭ осуществлялся в 2011–2012 гг. с использованием разработанного в НИИЦ МО БГУ газоанализатора на основе ППС.

Измерения осуществлялись в автоматическом режиме с интервалом 1 мин. Ход концентрации приземного озона, зарегистрированный в период с 24.12.2011 г. по 12.03.2012 г., представлен на рис. 2.16.

Средняя концентрация приземного озона за указанный период наблюдения составила 18 ppb. Максимальное значение – 22 ppb, минимальное – 12 ppb. Эти значения соответствуют оценочным уровням «доантропогенного» периода. В то же время для обоснованных выводов, а тем более для обсуждения механизмов образования приземных концентраций озона, полученных данных пока недостаточно.

В целом прибор показал хорошую работоспособность в условиях Антарктиды. Его использование оказалось оправданным, а полученные данные продолжают ряд наблюдений, начатых в 2007 г.

В районе станции «Гора Вечерняя» получен результат, важный для изучения механизмов формирования приземных концентраций O_3 – зарегистрирован четкий суточный ход приземных концентраций озона, причем (в отличие от зависимостей, характерных для средних широт Северного полушария) днем концентрация озона падает, ночью увеличивается (рис. 2.17), что само по себе достаточно необычно.

Мониторинг двуокси азота. Мониторинг общего содержания и вертикальных профилей концентрации NO_2 , так же как и O_3 , в атмосфере Антарктики представляет интерес вследствие отсутствия их при-

The monitoring of the surface ozone concentrations in the area of the BAE was realized in 2011–2012 using the gas analyzer on the basis of semiconductor sensor engineered by NOMREC specialists.

The measurements were carried out in the automated mode with intervals of 1 min. The course of the surface ozone concentration registered in the period from 24.12.2011 to 12.03.2012 is demonstrated in Fig. 2.16.

The average concentration of the surface ozone during the period of observation reached 18 ppb with a maximum of 22 ppb and a minimum of 12 ppb. These values correspond to estimated levels of the «pre-industrial» era. At the same time, the data obtained can be served neither for well-grounded conclusions nor for discussion of the formation mechanisms of the surface ozone concentrations.

In general, the instrument demonstrated a good performance in the conditions of Antarctica. The collected data will continue a series of observations started in 2007.

In the area of the station «Vechernyaya Hill», one has revealed a clear diurnal variation of the surface ozone concentrations which may be helpful in studying the mechanisms of the formation of the surface ozone concentrations. Here (unlike the dependencies typical for the mid-latitudes of the Northern Hemisphere) the concentration falls during daytime and rises at night (Fig. 2.17) which is quite unusual.

Nitrogen Dioxide Monitoring. Antarctica is viewed as a perfect place to maintain the monitoring of the total amount and vertical profiles of NO_2 and O_3 concentrations in the atmosphere due to lack of ground

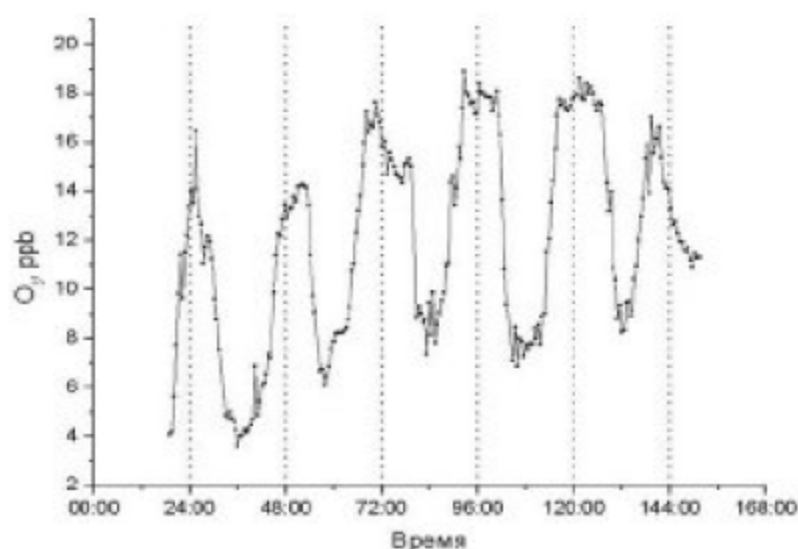


Рис. 2.17. Суточные изменения концентрации приземного озона (база БАЭ, «Гора Вечерняя», сезон 2007–2008 гг.)

Fig. 2.17. Diurnal variations of surface ozone concentration (BAE base, «Vechernyaya Hill», season of 2007–2008)

земных (как правило, антропогенных) источников, поскольку высокие локальные концентрации этих газов могут затруднять интерпретацию стратосферных процессов их образования, переноса и разрушения. Особенно это важно для NO_2 , приземные локальные концентрации которого в средних широтах могут на порядки превышать его стратосферное содержание.

Мониторинг NO_2 с помощью спектрографа изображения MARS-B с перестраиваемой геометрией визирования и обработкой по методике DOAS проходил в Восточной Антарктиде, в районе российской станции «Прогресс» (холмы Ларсеманна, $569^{\circ}22'$, $76^{\circ}23'$) в ходе 59-й РАЭ 2013–2014 гг.

Данные измерений, полученные за период с 25.01.2014 г. по 28.02.2014 г., представлены на рис. 2.18. На рис. 2.18 показан временной ход значений дифференциальных наклонных содержаний (Differential Slant Column Densities, DSCD) NO_2 и O_3 .

Анализа обработанных спектров показал, что DSCDs NO_2 и O_3 для разных углов возвышения практически совпадают. Это косвенно подтверждает предполагаемое априори отсутствие NO_2 и O_3 в нижней тропосфере. Результаты моделирования также показывают, что исследуемые примеси расположены на высотах больше 6 км. Таким образом, можно считать, что поведение измеренных значений DSCDs соответствует поглощению солнечного излучения только в стратосфере.

В то же время можно заметить различную зависимость DSCD у NO_2 и O_3 в течение дня, причем эта зависимость меняется в разные дни. Данные реанализа (reanalysis of Monitoring atmospheric composition and

(usually anthropogeneous) sources, since the high local concentrations of these gases may hamper interpretation of stratospheric processes of their formation, transfer and destruction. This is especially important for NO_2 with the surface local concentrations sometimes exceeding the stratospheric ones by orders in the middle latitudes.

The NO_2 monitoring by means of the image spectrograph MARS-B employing adjustable geometry of observation and the MAX-DOAS technique for data processing was conducted in Eastern Antarctica, near the Russian station «Progress» (Larsemann Hills, $569^{\circ}22'$, $76^{\circ}23'$) during the 59th Russian Antarctic Expedition of 2013–2014.

The measurement results obtained during the period from 25.01.2014 to 28.02.2014 are displayed in Fig. 2.18. Figure 2.18 depicts the time course of differential slant column densities (DSCD) of NO_2 and O_3 .

Analysis of the processed spectra has shown that DSCDs of NO_2 and O_3 for different angles of elevation practically coincide. This indirectly confirms a priori supposed absence of NO_2 and O_3 in the lower troposphere. The simulation results also show that the trace gases are found at heights of more than 6 km. Thus, it can be inferred that the behavior of the measured values of DSCDs corresponds to the absorption of the solar radiation only in the stratosphere.

At the same time, one may see different DSCD dependence for NO_2 and O_3 during the day, and, what is typical of this dependence, it varies for days. Reanalysis data (reanalysis of Monitoring atmospheric

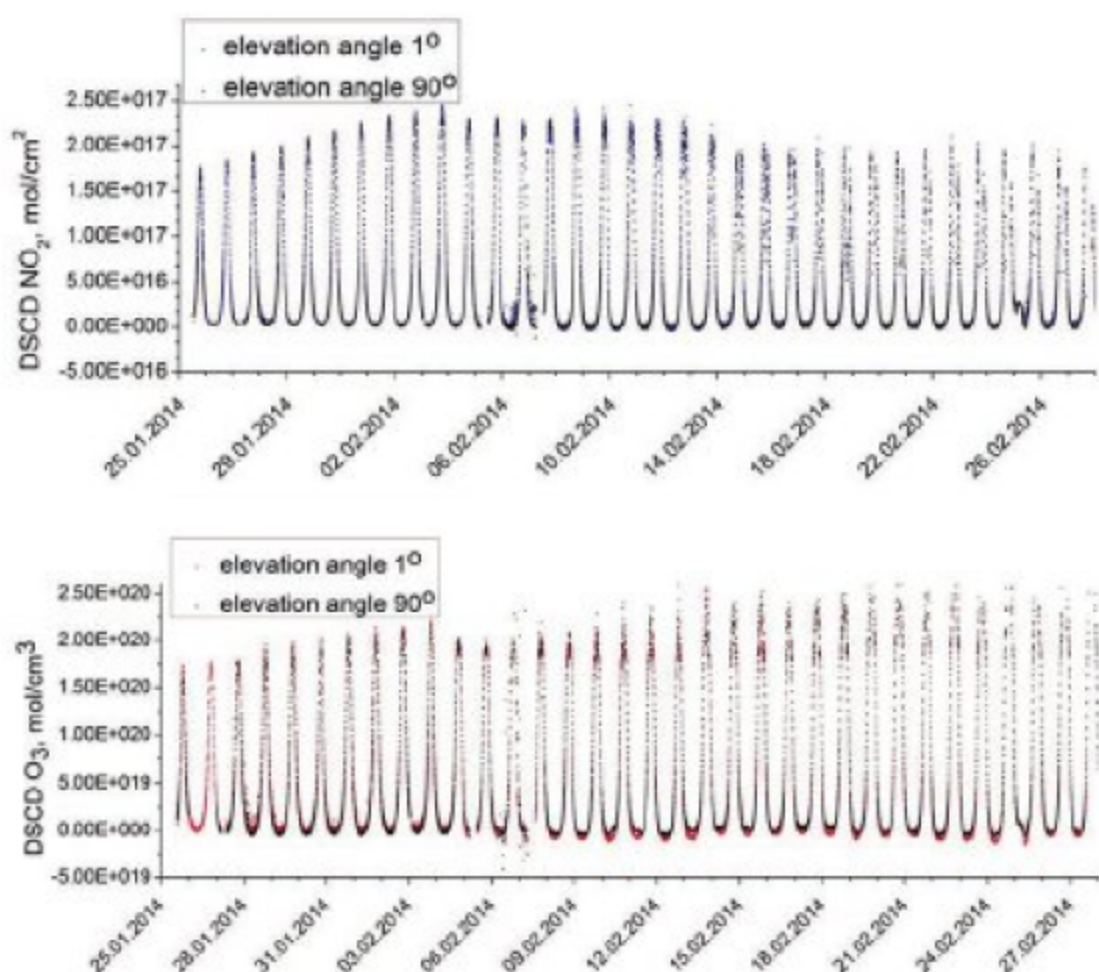


Рис. 2.18. Результаты измерений DSCD NO_2 и O_3 в Антарктиде

Fig. 2.18. Measurement results of DSCD of NO_2 and O_3 in Antarctica

climate, MACC) (рис. 2.19) качественно согласуются с проведенными измерениями: 14.01.2014 г. наблюдается уменьшение содержания двуокиси азота, увеличение общего содержания озона и подъем верхней границы озонового слоя.

Таким образом, в ходе сравнения экспериментальных данных с модельными расчетами, для данного конкретного случая, установлено, что уменьшение содержания диоксида азота в верхней атмосфере приводит к увеличению содержания озона. Этот важный результат носит фундаментальный характер – получено экспериментальное подтверждение взаимодействия двуокиси азота и озона в земной стратосфере.

Тем не менее, возможно, что преобразования NO_2 и O_3 являются более сложными из-за роли галогено-содержащих микропримесей. В то же время количество активных галогеносодержащих микропримесей зависит от содержания NO_2 и наличия полярных стратосферных облаков, что в совокупности влияет

composition and climate, MACC) (Fig. 2.19) are qualitatively consistent with measurements performed: on 14.01.2014, a decrease of nitrogen dioxide, gain of the total ozone and rise of the upper limit of the ozone layer are observed.

Thus, while comparing the experimental data to the model calculations, for this particular case, it has been found that reducing the amount of nitrogen dioxide in the upper atmosphere leads to the increase of ozone. This important result is of fundamental character – one has received experimental confirmation of the interaction of the nitrogen dioxide and ozone in the Earth's stratosphere.

Nevertheless, it is possible that NO_2 and O_3 transformations are more complex due to the role of the halogenated trace gases. At the same time, their number depends on the presence of NO_2 and polar stratospheric clouds which together affect the parameters of the ozone layer. So, for a better interpretation

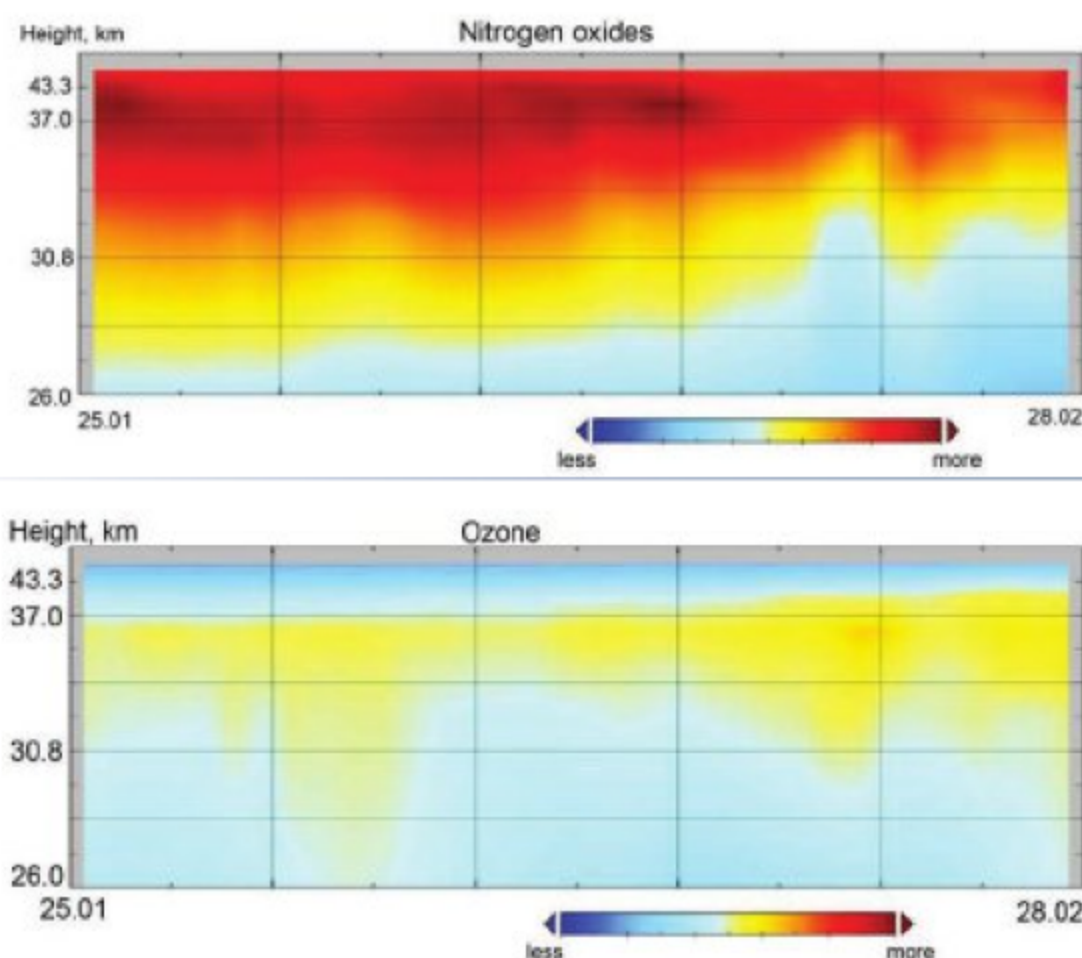


Рис. 2.19. Высотные профили распределения озона и оксидов азота по данным для пункта с координатами $S69^{\circ}30'$, $E76^{\circ}30'$
 Fig. 2.19. Vertical ozone and nitrogen oxides profiles for the point with coordinates of $S69^{\circ}30'$, $E76^{\circ}30'$

на параметры озонового слоя. Для лучшей интерпретации полученных экспериментальных данных необходимы дополнительные измерения.

Моделирование атмосферных процессов. Несмотря на сравнительно кратковременные периоды экспериментального мониторинга, ограниченные временем сезонных БАЭ, полученные данные позволяют провести валидацию численных моделей при их использовании для анализа атмосферных процессов данного региона.

В частности, мониторинг ОСО в Антарктическом регионе подтвердил, обнаруженное в результате многолетних наблюдений на Минской озонометрической станции НИИЦ МО БГУ, наличие устойчивой связи между состоянием озоносферы и региональными погодными условиями. Это свидетельствует о том, что для более точного прогноза необходимо использовать глобальные и региональные климатические модели, включающие в расчет параметры стратосферы.

of the experimental data, additional measurements are needed.

Modeling of atmospheric processes. Despite the relatively short duration of the pilot monitoring, being limited by the seasonal BAEs, data obtained allow to validate numerical models using for the analysis of atmospheric processes in the region.

In particular, the TO monitoring in the Antarctic region has confirmed previously detected (as a result of long-term observations at the Minsk Ozone Station of NOMREC BSU) presence of a stable connection between the state of the ozone layer and the regional weather conditions. This suggests that for a more accurate forecast one should use global and regional climate models involving parameters of the stratosphere in the calculation.

Так, например, в результате проведенных в НИИЦ МО БГУ работ по численному моделированию атмосферных процессов Южного полушария показано, что конфигурация стационарных атмосферных фронтов на уровне 100 mb практически соответствует форме и положению Антарктической озоновой дыры, что указывает на тесную взаимосвязь состояния озоносферы и циркуляционных процессов в атмосфере региона.



Thus, for example, as a result of NOMREC's activities on numerical modeling of atmospheric processes in the southern hemisphere it is shown that the configuration of stationary atmospheric fronts at 100 mb well conforms with the shape and location of the Antarctic ozone hole thereby indicating close relationship of the ozone layer state and the circulation processes in the atmosphere of the region.

2.3. Восстановление оптических параметров подстилающей поверхности по данным наземных и спутниковых спектрометрических измерений; радиометрическая калибровка спутниковых оптических инструментов

2.3.1. Измерения спектров альбедо в районе станций «Молодежная» и «Гора Вечерняя»

Наземные измерения спектров отражения поверхности в районе станций «Молодежная» и «Гора Вечерняя» начались в экспедиции 2012–2013 гг. Измерения проводились с целью формирования банка данных спектров отражения подстилающей поверхности, требуемых для расчетов радиационных потоков в атмосфере, и интерпретации спутниковых наблюдений, а также, в долгосрочной перспективе, для оценки антропогенного загрязнения окружающей среды в районе базирования БАС. Кроме того, результаты измерений необходимы как часть информационного обеспечения экспериментов по внешней калибровке оптических спектрометров на спутниках БКА и «Канопус».

В районе станций «Молодежная» – «Гора Вечерняя» были отобраны 8 полигонов с различным типом поверхности (снег, лед, скальные породы) (рис. 2.20). На каждом полигоне определено несколько точек измерений. Полигоны № 1–2 и № 4–7 были выбраны в районе горы Вечерняя, полигоны № 01 и № 3 – в районе станции «Молодежная». Для проведения подспутниковых измерений был отведен полигон № 3.

Средние значения спектров диффузного отражения $R(\lambda)$ для различных типов земной поверхности, полученные на измерительных полигонах, представлены на рис. 2.21. Можно видеть, что поверхность, покрытая снегом (кривые 1–2), имеет наибольший коэффициент отражения R . В видимой области длин волн коэффициент отражения снега находится в пределах 0,8–0,95 и сравнительно слабо зависит от

2.3. Retrieving optical parameters of surface from earth-based and satellite spectrometric measurement data; radiation calibration of satellite optical sensors

2.3.1. Measurements of albedo spectra in the region of stations «Molodezhnaya» and «Vechernyaya Hill»

Earth-based measurements of surface reflection spectra near the stations «Molodezhnaya» and «Vechernyaya Hill» were initiated in the expedition of 2012–2013 years. The purpose was to form the data bank of surface reflection spectra that is required to calculate radiation fluxes in the atmosphere, to interpret satellite observations and, in long-term outlook, to estimate anthropogenic pollution of the environment. Also, results of these measurements can be used as a part of infoware to the satellite spectrometers calibration experiments. It means the external calibration of optical spectrometers situated on the satellites BKA and «Kanopus».

In the region of the stations «Molodezhnaya» – «Vechernyaya Hill» it was selected 8 proving grounds differing in covering of the surface (snow, ice or hard rock) (Fig. 2.20). Several measurement points were selected on each of them. The proving grounds № 1–2 and № 4–7 were chosen close to Mount Vechernyaya, while the ones № 01 and № 3 were in environs of the station «Molodezhnaya». The proving ground № 3 was allotted for sub-satellite experiments.

Average spectra of the diffuse reflection for different surface types obtained within the chosen proving grounds are given in Fig. 2.21. As seen, the reflection coefficient spectra $R(\lambda)$ for the snow cover are highest (lines 1, 2). In the Visible, reflection coefficient R values for snow are within the limits 0.8–0.95, and it comparatively weakly depends on the wavelength λ of light. The largest values of R are observed for newly-fallen

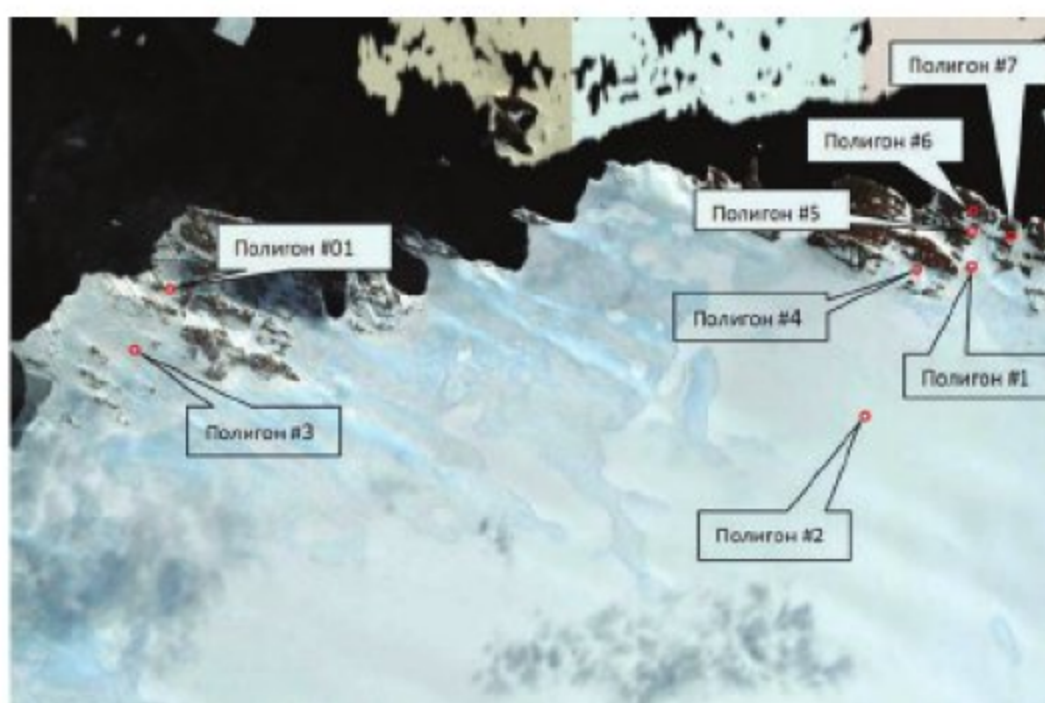


Рис. 2.20. Карта полигонов для измерения спектров отражения поверхности в районе станций «Молодежная» и «Гора Вечерняя»

Fig. 2.20. Map of proving grounds for measuring of surface reflection spectra in the region of stations «Molodezhnaya» and «Vechernyaya Hill»

длины волны излучения λ . Максимальные значения коэффициента отражения наблюдаются для свежевыпавшего снега (кривая 1). По мере «старения» снега его коэффициент отражения R уменьшается, причем тем сильнее, чем больше длина волны излучения λ .

Коэффициенты отражения льда (кривые 3–5) заметно меньше коэффициентов отражения снега. Можно видеть, что альbedo льда имеет максимум при $\lambda \approx 470$ нм. Для $\lambda > 470$ нм с ростом длины волны излучение альbedo льда достаточно быстро уменьшается и при $\lambda = 900$ нм не превышает 15%. Такой ход спектров отражения является следствием спектральной зависимости коэффициента поглощения льда: в диапазоне длин волн 400–500 нм он минимален, а при $\lambda \approx 1030$ нм имеет локальный максимум.

Коэффициенты отражения льда зависят от его структуры. Альbedo «молодого» льда, характерной особенностью которого является большое количество воздушных пузырьков, может достигать достаточно больших значений (кривая 3). По мере старения льда (кривые 4 и 5 на рис. 2.21) размер и количество пузырьков воздуха (пористость) уменьшается. Соответственно уменьшается рассеивающая способность льда, увеличивается глубина проникновения света и увеличивается количество поглощенного излучения. Это приводит к уменьшению альbedo во всем диапазоне длин волн (кривая 4).

snow (curve 1). As snow ages, the reflection coefficient R goes down (curve 2), and the larger is a wavelength, the faster is falling of λ .

Reflection coefficients of ice (curves 3–5) are noticeably less than reflection coefficients of snow. It can be seen that the ice albedo is maximal at $\lambda \approx 470$ нм. When $\lambda > 470$ нм, values of ice albedo decrease quickly enough with growth of the wavelength λ of light, and they do not exceed 15% on $\lambda = 900$ нм. Such dependence of the reflection spectra is due to the effect of ice spectral absorption. The absorption coefficient of ice is minimal in the range 400–500 нм, while its local maximum falls on $\lambda \approx 1030$ нм.

The reflection coefficient of ice depends on ice structure. Its values for «young» ice, of which characteristic feature is presence of a lot of air bubbles, can be rather big (curve 3). When ice ages (curves 4 and 5 in Fig. 2.21), air bubbles size and number (porosity) decrease. Accordingly, scattering ability of ice becomes less and, hence, the depth of light penetration and quantity of absorbed radiation increase. As a result, albedo values fall within the whole range of wavelengths (curve 4).

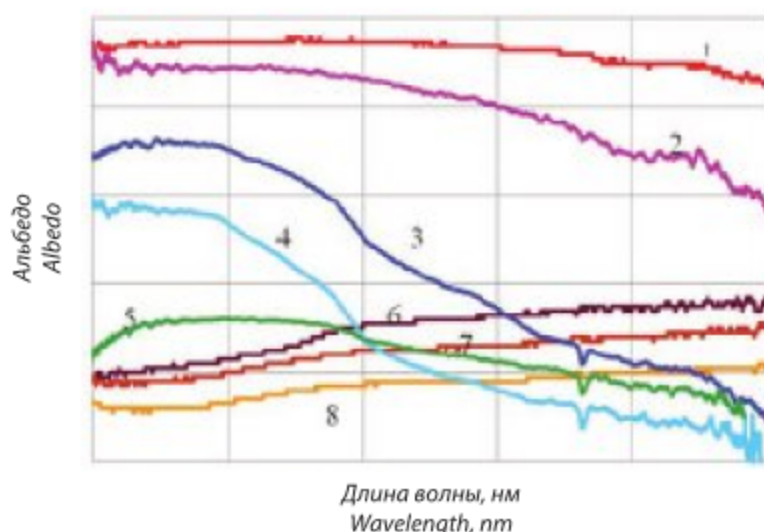


Рис. 2.21. Результаты измерений коэффициентов диффузного отражения разных типов поверхности Антарктиды: 1, 2 – снег; 3, 4, 5 – лед; 6, 7, 8 – выходы скальных пород

Fig. 2.21. Diffuse reflection coefficient (albedo) as a function of a wavelength λ for different surface types from experiments in Antarctic: 1, 2 – snow; 3, 4, 5 – ice; 6, 7, 8 – rocks

Когда пористость льда становится незначительной, он становится достаточно прозрачным и при измерениях альбедо начинают сказываться свойства подстилающей поверхности. В этом случае измеренный спектр отражения соответствует спектру отражения подстилающей поверхности, искаженному вследствие поглощения излучения при прохождении через лед (кривая 5).

2.3.2. Средний размер зерен снега и концентрация сажевого загрязнения снега по данным наземных спектрометрических измерений

Размер зерен снега является важнейшим параметром, определяющим свойства снежного покрова. С ним связано термодинамическое состояние снега, а также спектральное альбедо снега, играющее ключевую роль в радиационном балансе Земли. По размеру снежных частиц можно судить о возрасте снега и делать прогноз о перспективах его таяния.

Еще один важный параметр снега – степень его загрязнения. Известно, что снег в Антарктиде очень чистый и практически не содержит сажевого загрязнения. По этой причине вкладом сажи в альбедо снега часто пренебрегают. Однако в случае отсутствия сажевого загрязнения альбедо полубесконечного слоя снега в области спектра 400–450 нм, где мнимая часть показателя преломления льда $\chi \sim 10^{-9}$, должно было быть практически равным альбедо непоглощающего слоя, т. е. равным единице. Тем не менее реальное альбедо в этой области спектра заметно

In case of porosity is insignificant, the glacial covering is transparent. Then, underlying surface properties are revealed in results of albedo measurements. That is, a measured reflection spectrum is like a reflection spectrum of underlying surface after it has been distorted owing to light passing and absorbing in the above ice slab (curve 5).

2.3.2. The average snow grains size and the snow soot contamination retrieved from spectrometric field measurements

The characteristic size of snow grains is the essential parameter that determines the properties of the snow cover. This parameter is an important factor determining the snow thermodynamic state and the snow cover albedo which plays a key role in the radiation balance of the Earth. The characteristic size of snow grains allows one to estimate the snow age and make a prediction about snow melting prospects.

One more important snow characteristic is the degree of contamination. As known up to now Antarctic snow is pretty pure and practically does not contain contaminations. It is why the effect of contamination (including soot one) to the snow albedo is neglected as a rule. However in the absence of contamination the albedo of a snow semi-infinite layer had to be almost equal to unity in the spectral region of 400–450 nm, where the imaginary part of the refractive index of ice $\chi \sim 10^{-9}$ (practically non-absorbing medium). Nevertheless the measured values of albedo in

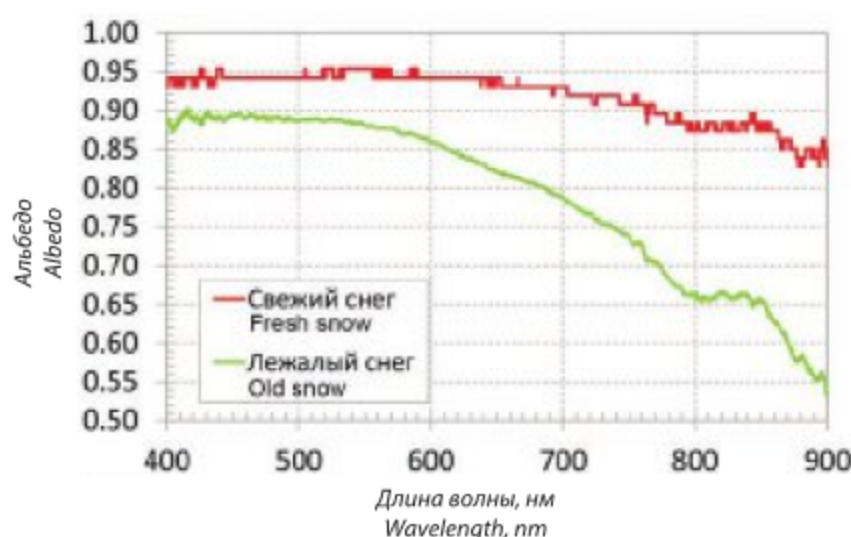


Рис. 2.22. Сферическое альbedo свежего и лежалого снега в районе горы Вечерняя по данным наземных измерений 21.02.2013 г. и 07.03.2013 г.

Fig. 2.22. Spherical albedo of fresh and old snow in the area of Mount Vechernyaya. Field measurements on 21.02.2013 and 07.03.2013

отличается от единицы (рис. 2.22). Наиболее вероятной причиной такого отличия, по-видимому, является тот факт, что сажевое загрязнение хотя и мало, но не настолько, чтобы не проявляться в коротковолновой области спектра. Но сегодня, когда изменение окружающей среды идет так быстро, мониторинг загрязнения снега становится особенно важным и необходимым.

Для оценки среднего размера зерен снега и концентрации сажи в снеге по данным наземных измерений спектрального альbedo снега нами разработан метод, основанный на результатах асимптотической теории переноса излучения [21]. Результаты применения этого метода для обработки измерений, выполненных альбедометром AS-A, показали (табл. 2.7), что, относительная концентрация сажи C_{st} как в свежем, так и в лежалом снеге составляет порядка 10^{-8} . Заметим, что такая концентрация сажевого загрязнения находится на нижнем пороге (или ниже

this spectral range are noticeably different from unity (Fig. 2.22). Apparently the most likely cause of such a difference is the fact that soot load although is small, but not so as to not appear in the short-wave spectrum. But nowadays when the environment changes so quickly, snow pollution monitoring in the Antarctic becomes necessary.

The method to estimate the average snow grain size and soot pollution concentration using data of field measurements of the snow spectral albedo was developed basing at the results of the asymptotic theory of the radiative transfer theory [21]. This method was used for processing experimental data received with albedometer AS-A (Table 2.7). As seen, the relative soot concentration C_{st} does not exceed both for fresh and old snow 10^{-8} . Note that this concentration of the soot contamination does not exceed the threshold for soot concentration which can be detected from

Таблица 2.7. Эффективный размер снежных зерен a_{ef} и относительная концентрация C_{st} сажевого загрязнения для свежего и лежалого снега в Антарктиде по данным наземных измерений

Table 2.7. Effective snow grain size a_{ef} and relative concentration C_{st} of the soot pollution for fresh and old snow in Antarctica retrieved from field spectral albedo measurements

Снег Snow	a_{ef} , мкм a_{ef} , μm	C_{st}
Свежий Fresh	150	7 E-08
Лежалый Old	1600	6 E-08

порога) величин, которые могут быть определены по спутниковым данным. Уменьшение коэффициента отражения в лежалом снеге по сравнению со свежим (наиболее значительное в ИК-области) объясняется тем, что, как и ожидалось, размер снежных зерен в лежалом снеге значительно больше, чем в свежем.

2.3.3. Радиометрическая калибровка спутниковых оптических инструментов по снимкам Антарктиды и натурным подспутниковым данным

Абсолютная энергетическая калибровка спутниковых приборов определяет возможность и точность решения многих задач дистанционного зондирования Земли. Перед запуском спутника, естественно, проводится предполетная калибровка всей аппаратуры. Однако в процессе запуска и длительного полета могут происходить существенные изменения настройки аппаратуры, ее чувствительности, а также загрязнение и изменение пропускания оптики. Эти факторы требуют проведения корректирующей калибровки во время полета.

Калибровка по тестовому участку на поверхности Земли предъявляет ряд серьезных требований к выбору полигона и к обеспечению сопровождающих подспутниковых измерений. Прежде всего, площадь полигона должна быть достаточно большой, а альbedo его поверхности достаточно однородным. В этом отношении наилучшими считаются калибровочные полигоны, покрытые песком (White Sands в США, Dunhuang в пустыне Гоби (Китай) и др.).

Еще одним, в некотором смысле идеальным полигоном, удовлетворяющим описанным выше требованиям, может быть снежная поверхность Антарктиды. Она является естественным калибровочным полигоном с однородной белой поверхностью и исключительно чистой атмосферой.

Нами разработано программное обеспечение для проведения внешней спектральной калибровки спутниковой аппаратуры по снежной поверхности в Антарктиде с использованием данных комплексных наземных измерений параметров атмосферы и подстилающей поверхности (ПО ARC, Antarctic Radiometric Calibration). Оно предназначено для расчета сигналов на входе спутниковой съемочной аппаратуры при наблюдении участков снежного покрова с учетом влияния атмосферы и относительной спектральной чувствительности каналов. ПО ARC позволяет учесть влияние пространственного размытия пучка света при распространении в атмосфере («бокового подсвета») на сигнал, регистрируемый спутниковой системой высокого пространственного разрешения, и обеспечивает решение следующих функциональных задач:

satellite data. The decrease of the spectral albedo of the old snow in comparison with fresh one (more pronounced in the IR region) is due to increase of a grain size with the age of snow.

2.3.3. Radiation calibration of satellite optical sensors with satellite images of Antarctica and ground truth data

Absolute radiation calibration of satellite instruments determines the possibility and accuracy of a lot of remote sensing techniques. Before satellite launching the preflight calibration of all equipments is performed. However, during the start-up and a long-term operation the substantial instruments tuning, variations of its sensitivity, pollution and the change of the optical elements transmission occur. These factors require corrective calibrations during flight.

Calibration with the test site at the Earth's surface imposes a number of serious requirements for the test site and to concomitant ground truth measurements. First of all, the test site should be large enough, and the albedo of the surface sufficiently uniform. In this respect, the best gauge ranges, covered with sand (for example, White sands in the United States, Dunhuang in the Gobi Desert, China) are considered as the best ones.

Another, in a sense, the perfect test site that meets requirements described above is a snow surface of Antarctica. It is a natural gauge with a smooth white surface and exceptionally clean atmosphere.

Software ARC (Antarctic Radiometric Calibration) for the in-flight spectral calibration of satellite optical sensors using signals reflected by a snow surface in Antarctica and data of complex ground-based measurements of the atmosphere and surface parameters has been developed. It is designed to calculate the signals at the channels of satellite imaging sensors from testing areas with the snow cover, taking into account the effect of the atmosphere and the relative spectral sensitivity of a satellite instruments channels. The software ARC allows a user to take into account the influence of the light beam spreading while propagating in the atmosphere («side illumination») on the signal recorded by the satellite high spatial resolution system, and implements the following functional tasks:

- создание оптических моделей снежной поверхности и атмосферы в регионе Антарктиды с учетом данных комплексных наземных измерений параметров атмосферы и подстилающей поверхности;
- расчет спектральных коэффициентов яркости на верхней границе атмосферы, создаваемых тестовым участком снежной поверхности;
- расчет сигналов на входе спутниковой съемочной аппаратуры с учетом относительной спектральной чувствительности каналов.

Входными данными ПО ARC является информация об условиях съемки, включающая дату и время проведения калибровочной съемки, азимут и зенитный угол инструмента; азимут и зенитный угол Солнца; геодетические долгота и широта тестового участка, а также спектральные данные и данные сети AERONET. Спектральные данные включают файлы, содержащие данные измерений спектрального альbedo и коэффициента яркости тестового участка снежной поверхности, а также файлы с относительной спектральной чувствительностью каналов спутниковой аппаратуры.

Выходом ПО ARC являются рассчитанные значения плотности энергетической яркости в спектральных каналах калибруемой съемочной аппаратуры на верхней границе атмосферы.

Проведенный анализ показал, что на точность калибровки, в особенности при больших зенитных углах солнца, характерных для спутникового зондирования Антарктиды, существенно влияет неортоотропность подстилающей поверхности. Нами предложен способ учета неортоотропности коэффициента отражения снежной поверхности в процедуре калибровки, основанный на использовании асимптотической теории переноса излучения и наземных измерениях альbedo снега или результатов определения параметров снега по данным космического зондирования с помощью алгоритма SGSP [27, 28].

Первое тестирование ПО ARC было проведено по данным измерений, полученных во время 58-й РАЭ в период с декабря 2012 г. по март 2013 г. Во время этой экспедиции с помощью альбедометра, описанного выше, был проведен ряд измерений альbedo снега в различных точках Антарктиды при различном состоянии снежного покрова. Кроме того, с помощью сканирующего спектрального солнечного радиометра CIMEL проводились измерения аэрозольной оптической толщины атмосферы, влажности атмосферы, а также общее содержание озона в атмосфере. Программное обеспечение было проверено, однако, к сожалению, из-за погодных условий надежных данных для проведения калибровки оказалось явно недостаточно.

Более надежные данные были получены при аналогичной калибровке БКА по снежной поверхности

- formation of optical models of the snow surface and atmosphere for the chosen region of Antarctica, using data of the ground truth measurements of the atmosphere and underlying surface parameters;
- calculation of spectral radiance coefficients at the top of atmosphere;
- calculation of signals at the satellite receiver with regard to the relative channel spectral sensitivity.

The input data for the ARC software is information, including date and time of the calibration procedure, the azimuth and zenith angles of the satellite pixel; azimuth and zenith angle of the Sun; geodetic longitude and latitude of the test area, as well as spectral data and AERONET network data. Spectral data includes files containing data of field measurements of the spectral albedo and the spectral radiance coefficients of the test snow surface, as well as files with a relative spectral sensitivity of satellite instrument channels.

The output of the software ARC are calculated values of the signals in the spectral channels of the imager at the top of atmosphere.

The analysis showed that the accuracy of the calibration, especially for large solar zenith angles typical for Antarctica satellite remote sensing, is significantly affected by non-orthotropic reflection from an underlying surface. We have proposed a technique to account for non-orthotropic reflection of the snow surface in the calibration procedure. This technique is based on the asymptotic theory of radiative transfer and uses the ground-based measurements of snow albedo, or the results of the estimating snow parameters from satellite remote sensing using SGSP algorithm [27, 28].

The first testing of the ARC software was performed using the measurement data obtained during December 2012 – March 2013 within the 58th RAE. Snow albedo at different points of Antarctica and different snow conditions were measured with albedometer AS-A. Beside the atmosphere aerosol optical thickness, humidity, and the total ozone amount were measured with the scanning spectral radiometer CIMEL. The software has been tested, but unfortunately due to the weather conditions the satellite sensor calibration could not be performed.

More complete data were obtained in 2014 when the calibration procedure for Belarusian Spacecraft

Таблица 2.8. Калибровочные коэффициенты по результатам калибровки сенсора БКА в районе российской станции «Прогресс» в 2014 г.

Table 2.8. Calibration coefficients obtained as results of in-flight calibration of Belarusian Spacecraft (BKA) performed near Russian Antarctic station «Progress» in 2014

№ канала Channel	Спектральный интервал, мкм Spectral range, μm	Калибровочный коэффициент Calibration coefficient	Среднеквадратическое отклонение Standard deviation
1	0.46–0.52	1.005	0.007
2	0.51–0.60	1.149	0.008
3	0.63–0.69	1.155	0.011
4	0.75–0.84	1.114	0.018

Антарктиды в районе российской станции «Прогресс» в 2014 г. Результаты калибровки приведены в табл. 2.8.

2.3.4. Восстановление характеристик снега по данным спутниковых наблюдений

Снежный покров обладает значительным влиянием на альбедо Земли и, соответственно, на ее климат. Развитие методов спутникового зондирования, в частности, мониторинга возраста снега, степени его загрязнения и размера зерен, становится особенно важным для полярных регионов, где затруднены прямые измерения.

В первых работах по космическому зондированию снега использовалась модель, в которой снег рассматривался как слой, состоящий из независимых сферических рассеивателей [22, 23]. Оптические свойства снега рассматривались на основе теории Ми, а связь между коэффициентами яркости снежного покрова и характеристиками однократного рассеяния описывалась теорией переноса излучения. До недавнего времени большинство алгоритмов восстановления размера снежных зерен по измеренным радиационным характеристикам основывались на этой модели [24–26].

Однако, как следует из многочисленных исследований оптических и микрофизических свойств снега, снежный слой представляет собой плотно упакованную среду, состоящую из частиц неправильной формы, в которой имеет место многократное рассеяние. Заметим, что форма снежных зерен не может быть известна априори, более того, их форма существенно изменяется в зависимости от условий формирования снега, его возраста и окружающей среды.

Известно, что функция углового распределения коэффициента яркости (BRDF, bidirectional reflectance distribution function) снежного покрова зависит от индикатрисы рассеяния снега. Эта зависимость достаточно сильна благодаря вкладу однократного рассеяния (точнее, квази-однократного рассеяния). Это

(BKA) was performed using the ARC software and the snow surface at the area of the Russian station «Progress». Calibration results are presented in Table 2.8.

2.3.4. Retrieval snow microphysical characteristics from satellite data

Snow cover affects significantly the Earth's albedo and thus the Earth's climate. The development of techniques for the satellite remote sensing and particularly for monitoring of snow age, snow pollution concentration, and snow grain size is especially important for difficult to access polar regions.

The microphysical model of snow as polydispersion of independent spherical particles was deployed in the first approaches for developing techniques for snow satellite remote sensing [22, 23]. The optical properties of snow were considered with Mie theory and radiative transfer was simulated with the radiative transfer equation. Algorithms for retrieving the snow grain size from measured radiative characteristics were based at this model [24–26].

However according to numerous field studies of the snow optical and physical properties, snow cover should be considered as a layer of densely packed medium consisting of irregular particles, in which multiple scattering occurs. Let us underline that no information is available a priori about the shapes of snow grains. Moreover the grain shape changes essentially dependent on condition of forming a snow cover, environment characteristics, age of snow etc.

As known the snow bidirectional reflectance distribution function (BRDF) and albedo at direct incidence depend on the phase function of snow. This dependence is strong enough due to the contribution of single scattering (or rather due to quasi-single scattering). This is particularly important in the cases of

особенно существенно для случаев косого освещения, которое, как правило, имеет место в полярных регионах. Индикатриса рассеяния, в свою очередь, сильно зависит от формы рассеивающих частиц. Поэтому априорные предположения о форме частиц снега могут привести к неконтролируемым ошибкам восстановления его параметров.

Новый алгоритм восстановления характеристик снега по данным спутниковых наблюдений (SGSP, Snow Grain Size and Pollution – размер снежных зерен и загрязнение) был предложен нами и описан в работах [27, 28]. Он основан на аналитическом решении асимптотической теории переноса излучения, которое описывает отражение снегом, и геометрикооптическом приближении теории рассеяния, описывающем оптические параметры снега. Оба эти подхода развиты авторами ранее [29]. Таким образом, в алгоритме SGSP нет предположений о форме частиц, и он может быть использован для плотно упакованных сред. Этот алгоритм включает также атмосферную коррекцию с учетом BRDF.

Влияние неизвестной индикатрисы рассеяния в алгоритме SGSP исключается посредством использования дополнительного спектрального канала: это один из ключевых моментов алгоритма. Используются каналы радиометра MODIS № 3, 2, и 5 (длины волн 469; 858,5 и 1024 нм соответственно), поскольку сажа главным образом проявляется в видимом диапазоне (канал № 3), в то время как поглощение льда проявляется в ближней ИК-области (канал № 5). Канал № 2, где существенно поглощение как сажой, так и льдом, является дополнительным и используется для исключения неизвестной индикатрисы рассеяния.

Алгоритм SGSP был реализован в виде компьютерной программы с графическим интерфейсом для операционной системы Win32 и в виде консольного приложения для системы Linux. Он был включен в цепь обработки данных радиометра MODIS в режиме реального времени в Бременском университете (<http://www.iup.uni-bremen.de:8084/amsr/modis.html>). Рисунок 2.23 демонстрирует пример обработки космического снимка в районе горы Вечерняя в Антарктиде.

Алгоритм SGSP был модифицирован с учетом специфических условий Антарктиды.

Важной особенностью снежной поверхности в Антарктиде является частичное обнажение скальных пород в результате таяния снега летом либо в результате сдувания сильным ветром зимой. Это значит, что для восстановления микроструктуры снега необходимо одновременно из тех же спутниковых данных оценить и долю обнаженной скальной породы в пикселе. Поэтому спектр отражения скал должен быть известен априори. Этот спектр был взят из базы данных NASA [30] и из экспериментальных

low Sun typical for polar regions. The phase function in its turn depends strongly on particles shapes. Therefore, a priori assumptions about the shape of snow particles may lead to uncontrolled errors of retrieved parameters.

We have developed a new algorithm for retrieval of the effective snow grain size and pollution amount from satellite data (SGSP, Snow Grain Size and Pollution) [27, 28]. This algorithm is based at the analytical solution for snow reflectance within the asymptotic radiative transfer theory and on the theory providing the inherent optical parameters of snow within the geometrical optics approximation of the theory of scattering. Both used approaches were developed by authors earlier [29]. Thus the SGSP algorithm does not use any assumptions on snow grain shape, can be used for close-packed layers and allows for the snow pack BRDF. The algorithm includes a new atmospheric correction procedure that allows for snow BRDF.

Algorithm SGSP does not require any assumptions about the snow grains shapes. The use of additional spectral channel data allows eliminating an effect of unknown phase function of snow grains, and this is one of the key points of the algorithm. The developed algorithm has been implemented in the MODIS processing chain. The MODIS channels 3, 2, и 5 (wavelengths 469, 858.5 and 1024 nm correspondingly) are used since soot mainly manifests itself in the visible range (channel 3), while the ice absorption appears in the near infrared (channel 5). Channel 2, where both ice and soot contribute in absorption is used to eliminate the effect of unknown scattering phase function.

The SGSP code has been realized as Win32 and LINUX console applications. The developed algorithm has been implemented in the near-real time MODIS processing chain at the University of Bremen (see <http://www.iup.uni-bremen.de:8084/amsr/modis.html>). Figure 2.23 shows an example of processing a satellite image of the area of Mount Vechernyaya in Antarctica.

The algorithm SGSP has been modified to regard the specific Antarctic environment features.

An important feature of the snow cover in Antarctica is the partial exposure of rocks produced by summer snow melting or by strong wind blowing. Hence we are dealing with the sub-pixel problem in the case. To perform the snow microstructure diagnostic it is necessary to know the pixel structure i.e. the part of the pixel covered by snow and by rock outcrop. To do so the reflection spectrum of rock outcrop should be known a priori. Reflection spectra of rocks in Antarctica have been taken from the NASA database [30]

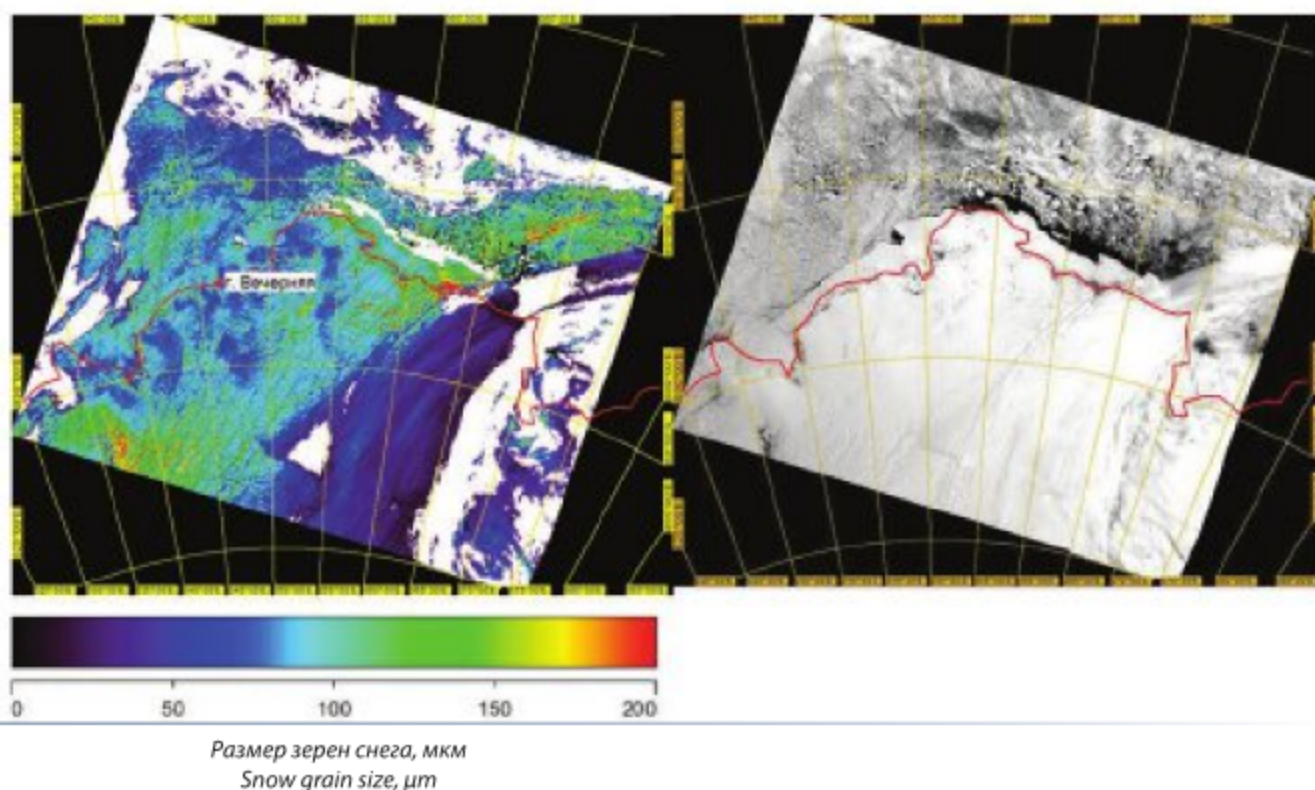


Рис. 2.23. Распределение размеров зерен снега в районе горы Вечерняя 15 ноября 2008 г., восстановленное по данным измерений спутниковым инструментом MODIS (слева, белый цвет – не снежные пиксели), и изображение того же района на длине волны 905 нм (справа, белый цвет – снег, лед и облака). Красная линия – береговая линия Антарктиды

Fig. 2.23. The distribution of the snow grain size (μm) in the area of Mount Vechnyaya retrieved from MODIS data November 15, 2008 (left; pixels without snow are given in white), and picture of the same area at wavelength 905 nm (right; snow, ice and clouds are given in white). Antarctica coast line is given in red

данных, полученных с использованием альбедометра AS-A (см. раздел 2.1.2).

Второй особенностью снежного покрова в Антарктиде является очень малая концентрация загрязнения. Как показал анализ спутниковых данных, величина сажевого загрязнения настолько мала, что не поддается восстановлению со спутников. Поэтому в модифицированном алгоритме концентрация сажи полагается равной нулю, что уменьшает число определяемых параметров.

Таким образом, в основе разработанного метода и модифицированного алгоритма восстановления параметров снега в Антарктиде (SGSR, Snow Grain Size and Rocks) лежит зависимость измеренной яркости отраженного света от характеристик подстилающей поверхности: размера снежных зерен и доли обнаженных скальных пород.

Входными данными алгоритма являются измеренные в каналах спутникового радиометра MODIS коэффициенты яркости света, отраженного поверхностью. Выходные данные – восстановленные зна-

and from experimental data obtained with use of the albedometer AS-A, were analyzed and typical spectrum has been chosen (see part 2.1.2).

The second characteristic feature of Antarctic snow cover is the negligible concentration of pollutions. The analysis shows that the snow pollution concentration is so small that it does not manifest itself in satellite data. Thus, in the modified algorithm the zero soot concentration is supposed a priori, which reduces the number of estimated parameters.

Thus the base of the developed algorithm and software for the snow grain size retrieval in Antarctica (SGSR, «Snow Grain Size and Rocks») is the relationship between the measured reflected light signal and the characteristics of the surface: the size of snow grains and fractions of rock exposure.

The input data of the SGSR algorithm are the signals in the channels of the satellite radiometer MODIS. The SGSR output data are retrieved values of the efficient snow grain size and the part of pixel

чения эффективного размера снежных зерен и доля площади, занимаемая скальными породами в каждом пикселе. Кроме того, алгоритм требует задания некоторых априорных данных, а именно, региональной атмосферной модели и спектра отражательной способности скальных пород.

Верификация алгоритма показала, что он позволяет с достаточно высокой точностью восстанавливать спектральное альbedo снежной поверхности и одновременно оценивать долю пикселя, занимаемую скальными породами. При этом ошибка восстановления искомых параметров в результате неточности задания априорной атмосферной модели пренебрежимо мала, а ошибка восстановления в результате неточности задания априорного спектра скальных пород составляет $\pm 10\%$ для группы наиболее часто встречающихся в Антарктиде скальных пород.

covered by snow (or part of pixel with rock exposure). Furthermore, the algorithm requires some a priori reference data, namely, a regional atmospheric model and rocks reflectance spectrum.

The preliminary verification of the algorithm showed that it allows retrieving the spectral albedo of the snow surface and estimating the part of the pixel occupied by rock outcrop with sufficient accuracy. The error of the retrieved parameters as a result of the inaccuracy of a priori atmospheric model showed to be negligible. The retrieval error as a result of the inaccuracy of a priori spectrum of rock outcrop is $\pm 10\%$ for the most common Antarctic rocks.



2.4. Лидарное и радиометрическое зондирование атмосферного аэрозоля; моделирования аэрозольных полей в Антарктике

2.4.1. Радиометрические и лидарные исследования атмосферного аэрозоля

Цель проводимых в Антарктиде лидарных и радиометрических наблюдений в атмосфере состоит в изучении вариаций оптических параметров атмосферного аэрозольного слоя и высотных распределений аэрозольных частиц, а также в оценке воздействия крупномасштабного переноса воздушных масс на короткопериодные изменения и тренды характеристик аэрозольной компоненты атмосферы.

Радиометрические исследования атмосферного аэрозоля. Отличительной особенностью аэрозольной компоненты в Антарктиде является малая концентрация аэрозольных частиц и, соответственно, малые значения AOT при отсутствии облачных образований. Параметры аэрозоля в высокой степени переменны, поэтому их статистические оценки должны сопровождаться описанием критериев отбора соответствующего статистического ансамбля.

Далее в работе представлены оценки параметров аэрозоля, относящихся к ситуации «безоблачной» атмосферы. Статистический ансамбль входных данных представлял собой выборку из данных радиометрических станций «Гора Вечерняя» и «Прогресс» сети AERONET уровня 1.5. При формировании базы данных

2.4. Lidar and radiometric sounding of atmospheric aerosol; modeling of aerosol in Antarctic and comparison with the data of radiometric measurements

2.4.1. Radiometric and lidar sounding of atmospheric aerosol

The purpose of lidar and radiometric observations in the Antarctic atmosphere consists in studying of aerosol optical parameters variations and aerosol particles altitude distributions. One more purpose is to assess the impact of air-mass large-scale transport on aerosol characteristics changes and trends.

Radiometric investigations of atmospheric aerosol. A distinctive feature of aerosol in Antarctic is small concentration of suspended particles and therefore small values of the aerosol optical thickness (AOT) in the absence of clouds. Aerosol parameters are variable to a large extent, this is why their statistical estimates have to be followed by description of criterions that were used to select a respective statistical assembly. Further in the work, we'll describe estimations of aerosol parameters fulfilled with regard to the cloudless atmosphere.

As a statistical assembly of input data it was chosen a data sample of level 1.5 obtained on the AERONET radiometric stations «Vechernaya Hill» and «Progress». As known, while organizing AERONET level 1.5 products, the automated procedure of comparing almost simultaneous data for transmission of direct

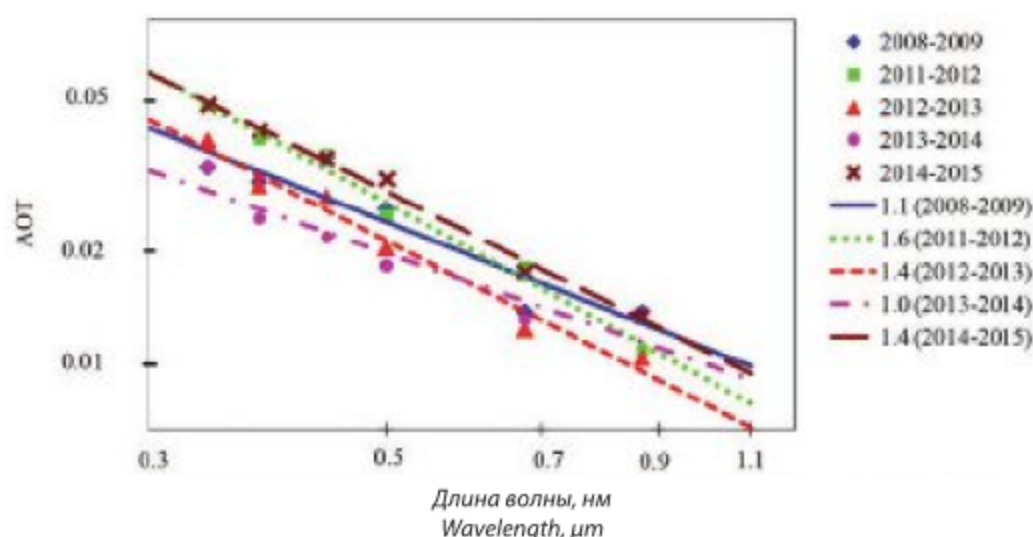


Рис. 2.24. Среднесезонные спектры АОТ для безоблачного неба в прибрежной зоне Антарктиды в логарифмическом масштабе (точки с указанием измерительного сезона) и их аппроксимация степенным выражением Ангстрема (линии с указанием абсолютного значения показателя степенной зависимости в выражении (1) и измерительного сезона)

Fig. 2.24. Seasonally average spectra of AOT for cloudless sky in Antarctic coastal zone for different observation seasons (signs) approximated by Angstrom dependence (lines, each line is denoted by time span of measurements (in brackets) and before by magnitude of Angstrom coefficient)

AERONET уровня 1.5 автоматизированная процедура сравнения близких по времени измерений прямопрошедшей солнечной радиации исключает результаты «облачных» измерений. В качестве дополнительного фильтра использовался критерий подобности угловых зависимостей рассеянной радиации в солнечном альмукантарате при правом и левом вращении радиометра вокруг вертикальной оси.

Среднесезонные (декабрь – март) спектры АОТ в безоблачной атмосфере по результатам прямых солнечных измерений, начиная с 2008 г., представлены на рис. 2.24. Прямые линии представляют аппроксимацию спектральной зависимости аэрозольной оптической толщины $E(\lambda)$ для i -го наблюдательного сезона приближением Ангстрема

$$E_i(\lambda) = E_i \lambda^{\alpha_i}, \quad (2.1)$$

где E_i и показатель степенной зависимости α_i являются постоянными для данного сезона измерений.

Значения АОТ весьма малы и составляют 0,02–0,03 для $\lambda = 500$ нм. В ИК-области спектра измеренные значения АОТ уменьшаются до 0,01 и менее. При этом погрешность измерений АОТ в сети AERONET радиометрами типа CE-318N (CIMEL) составляет [10] менее 0,01 для $\lambda > 0,44$ мкм и 0,02 для $\lambda < 0,44$ мкм. Измеренные стандартные отклонения АОТ для различных измерительных сезонов находились в диапазоне

radiation excludes results for the cloudy atmosphere. An additional filter for cloudy conditions is the criterion of similarity of sky radiance distributions in the almucantar recorded in the cases of right and left rotation of sun/sky – radiometer around the vertical axis.

Seasonally average spectra of AOT for the cloudless atmosphere that have been estimated based on results of direct radiation measurements since 2008 are given in Fig. 2.24. The straight lines present the Angstrom approximation for the AOT spectra:

$$E_i(\lambda) = E_i \lambda^{\alpha_i}, \quad (2.1)$$

Here, i is a number of observation season, E_i and α_i are denotations of the invariable aerosol optical thickness (AOT) and index of power dependence (referred to as the Angstrom coefficient), respectively, for each season.

Values of AOT are quite small; they are of order 0.02–0.03 for the wavelength 500 nm. In the infrared range, experimental AOT values fall down to 0.01 and less. Note, that errors of AOT measurements in AERONET by sun/sky radiometers of the type CE-318N (CIMEL) have been proved to be less than 0.01 for $\lambda > 440$ nm and 0.02 for $\lambda < 440$ nm [10]. The span of measured standard deviations of AOT for different ob-

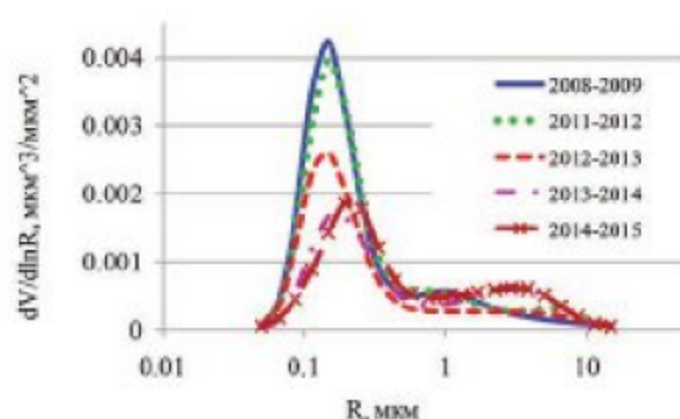


Рис. 2.25. Средние значения спектров АОТ при безоблачном небе за периоды наблюдений 2008–2015 гг. на станции AERONET «Гора Вечерняя»

Fig. 2.25. Seasonally average size distributions of particle volume for cloudless atmosphere estimated based on data obtained in the station «Vechernyaya Hill»

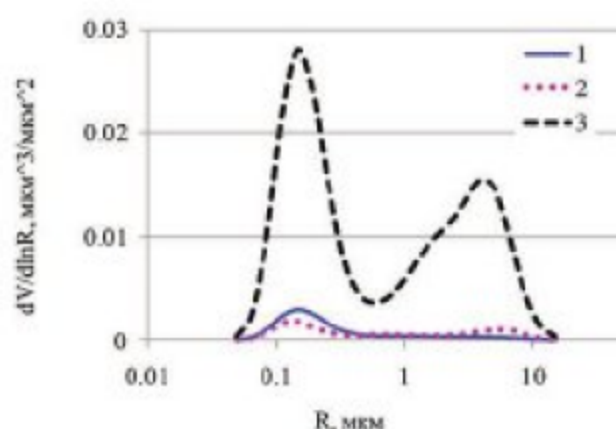


Рис. 2.26. Распределения по размерам объемов взвешенных частиц: 1 – среднее значение функции распределения по размерам (Antarctic); 2 – среднеквадратическое отклонение (Deviation); 3 – средняя функция распределения для Минска (Continental)

Fig. 2.26. Volume distribution functions for suspended particles: 1 – mean size distribution of particle volume in Antarctic; 2 – mean square deviation; 3 – mean size distribution of particle volume in Minsk (in continental region)

0,005–0,025. Таким образом, значительная часть вариаций восстановленных значений АОТ может быть отнесена на погрешности измерений.

Наиболее проблемными стали измерения в канале 1,02 мкм, в котором относительные погрешности оценки АОТ были порядка 1. Из-за недостаточной надежности этих данных они не приведены на рис. 2.24 и не использовались при оценке параметров α_r .

В условиях безоблачной атмосферы одновременно с регистрацией прямопрошедшей солнечной радиации проводились угловые измерения рассеянного солнечного излучения. По объединенным данным измерений прямой и рассеянной солнечной радиации рассчитывались средние по атмосферному слою оптические и микрофизические характеристики атмосферного аэрозоля [9], в том числе распределения объемов аэрозольных частиц по размерам $dV_a(r)/d\ln r$.

Восстановленные средние распределения $dV_a(r)/d\ln r$ для пяти измерительных сезонов представлены на рис. 2.25. На рис. 2.26 сравниваются средние распределения частиц аэрозоля по размерам $dV_a(r)/d\ln r$ на станциях «Молодежная» в Антарктиде и на Минской станции AERONET, представляющей континентальный район северного полушария. Обращает внимание значительно меньшее абсолютное содержание аэрозольных частиц и относительно малое содержание крупных частиц в атмосферном слое в Антарктиде. Численные значения общего со-

servation seasons was 0.005–0.025. So, considerable part of variations of retrieved AOT can be attributed to measurement errors.

The most problem measurements appear to be measurements in the band 1020 nm, in which errors of AOT estimation are of order 1. These results, because of unreliability, are not displayed in fig. 2.24, and they were not used to estimate the Angstrom coefficient.

Under cloudless conditions, angular measurements of scattered solar radiation were made along with measurements of direct transmission. Using conjoint data obtained from these two kinds of measurements, the columnar optical and microphysical parameters [9] with inclusion of the aerosol size distribution of the particle volume $dV_a(r)/d\ln r$ were evaluated.

Results of retrievals of the seasonally average particle volume distribution functions $dV_a(r)/d\ln r$ for the very same 5 seasons are shown in Fig. 2.25. Fig. 2.26 shows comparison of the average aerosol size distributions $dV_a(r)/d\ln r$ in two experiments: on the station «Molodezhnaya» in Antarctic and on the AERONET station in Minsk. Minsk can be assumed to be a continental region of Northern Hemisphere. Attention can be paid to that in Antarctic atmosphere absolute content of aerosol particles is considerably less and content of the coarse mode of particles is relatively small. Numerical values of aerosol general content and fractions of the fine and coarse mode of

Таблица 2.9. Средние значения общего содержания мелких и крупных частиц по данным измерений на радиометрических станциях AERONET «Гора Вечерняя» (Антарктида) и «Минск» (Беларусь)

Table 2.9. Mean general content of fine and coarse particles according to measurements in the radiometric stations AERONET «Vechernaya Hill» (Antarctic) and «Minsk» (Belarus)

Средние значения параметров аэрозольных частиц в безоблачной атмосфере по результатам многолетних наблюдений Mean parameters of aerosol particles in cloudless atmosphere from many years observations	Прибрежные районы Антарктиды Antarctic coastal regions	Континентальный регион, Минская станция AERONET Continental region. Station AERONET in Minsk
Общее содержание аэрозоля, мкм General content of aerosol, μm	0.0045	0.059
Доля мелких частиц Fraction of fine mode	0.82	0.54
Доля крупных частиц Fraction of coarse mode	0.18	0.46

держания аэрозоля и доли мелкой и крупной фракций аэрозольных частиц в двух регионах приведены в табл. 2.9.

Подобные распределения по размерам свойственны для измерений на станциях «Utsteinen» и «South Pole Obs NOAA».

Лидарное зондирование атмосферы. Информацию о высотной структуре аэрозольного слоя получают из лидарных измерений. Лидарные измерения в Антарктиде организуются в соответствии с требованиями международных лидарных сетей EARLINET и CIS-LiNet.

Лидарные исследования аэрозоля в рамках белорусской антарктической программы начались в экспедиции 2012–2013 гг. на российской станции «Молодежная». Основные технические сложности измерения параметров взвешенных в атмосфере частиц обусловлены малым содержанием аэрозольной компоненты в атмосфере Антарктиды. Молекулярное рассеяние маскирует вклад аэрозольной компоненты в регистрируемый лидарный сигнал. Наибольший контраст вклада частиц в атмосферное рассеяние получаем при зондировании в ИК-диапазоне спектра.

Стратификацию аэрозольного слоя характеризуют высотные распределения показателя обратного рассеяния, зависящего в первую очередь от концентрации взвешенных частиц.

На рис. 2.27 приведены высотные профили среднего значения и стандартного отклонения показателя обратного аэрозольного рассеяния на длине волны 1064 нм. Статистический ансамбль измерений представлял собой выборку из результатов зондирования безоблачной атмосферы в «летний» сезон экспедиции 2014–2015 гг. Относительно повышенные значения показателя обратного аэрозольного рассеяния регистрировались в приземном слое, верхняя граница которого находилась на уровне около 300–400 м. Максимумы распределения обратного рассеяния на высотах порядка 8 км, вероятно, являются резуль-

particles in aforementioned two regions are given in Table 2.9.

Similar size distributions are characteristic to measurements in the stations «Utsteinen» and «South Pole Obs NOAA».

Lidar sounding of the atmosphere. Information about the aerosol layer vertical structure is provided by lidar observations. Organization of the lidar sounding in Antarctic is conducted in accordance with the demands of the international lidar networks EARLINET and CIS-LiNet.

Lidar observations of the aerosol layer within the Belarusian Antarctic Program began in the expedition of 2012–2013 years in the Russian station «Molodezhnaya». Main technical problems in measurements of parameters of suspended aerosol particles in the Antarctic atmosphere arise from smallness of concentration of aerosol particles. The molecular scattering disguises the aerosol component of detected signals. Contrast between the aerosol and molecular signal parts turns out maximal when sounding in the Infra-red range.

The backscattering coefficient vertical profile is used to characterize the aerosol layer stratification. The backscattering coefficient depends above all on suspended particles concentration.

In Fig. 2.27, vertical profiles of the mean and standard deviation of the aerosol backscattering coefficient on the wavelength 1064 nm are given. The statistical assembly of measurements was a sample from results of the cloudless atmosphere sounding in the summer season of the 2014–2015 years expedition. Relatively high values of the aerosol backscattering coefficient were registered in the bottom layer the upper boundary of which was at the level about 300–400 m. The backscatter peaks at altitudes of the order of 8 km seem to be effect of the optically thin high-level cirrus which were not detected visually and

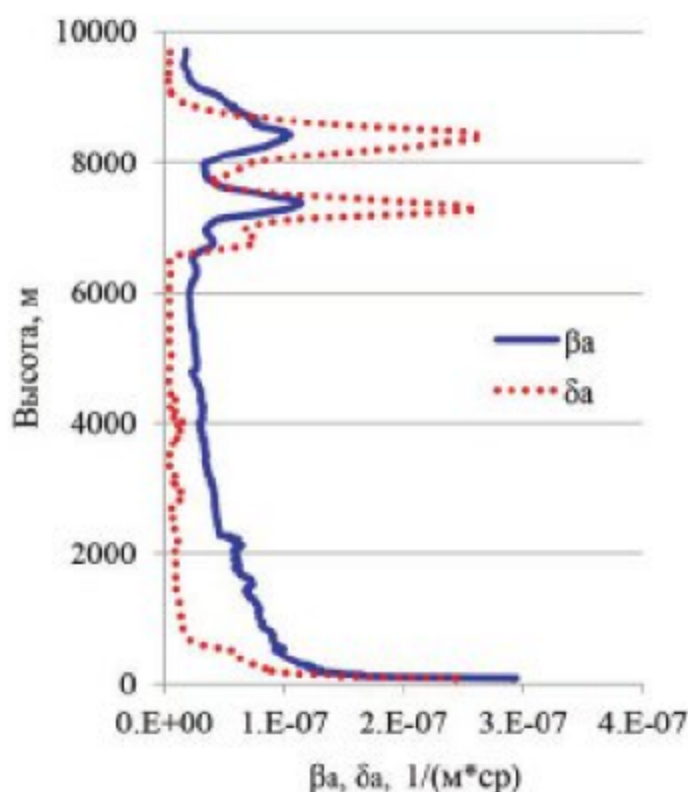


Рис. 2.27. Высотное распределение среднесезонного показателя аэрозольного обратного рассеяния β_a и его стандартного отклонения δ_a на длине волны 1064 нм в Антарктиде, гора Вечерняя, 2014–2015 г.

Fig. 2.27. Vertical profile of seasonally average aerosol backscattering coefficient β_a and its standard deviation δ_a on the wavelength 1064 nm in Antarctic, Mount Vechernyaya, 2014–2015

татом вклада оптически тонких облаков верхнего яруса, которые не обнаруживались визуально и не исключались при анализе данных одновременных радиометрических измерений. Как приземный слой, так и уровень около 8 км характеризуются повышенной степенью изменчивости показателя обратного аэрозольного рассеяния.

Комплексные лидарные и радиометрические измерения. Характеристики аэрозольного слоя, получаемые при обработке результатов лидарных и радиометрических измерений, являются взаимодополняющей информацией. Комплексные лидарные и радиометрические измерения становятся в полной мере эффективными для характеристики аэрозоля, если условия измерений позволяют отнести их к одному и тому же аэрозольному слою, а набор проведенных измерений позволяет решить задачу расчета полного набора параметров оптической модели, представляющей свойства аэрозольного слоя при решении задач переноса излучения.

Идея специальной организации координированных лидарных и радиометрических измерений на объединенных лидарных и радиометрических станциях AERONET и EARLINET и методика обработки

not removed when analyzing data of simultaneous radiometric measurements. The both bottom layer and levels about 8 km are characterized by increased gradients of changes of the aerosol backscattering coefficient.

Complex lidar and radiometric measurements. Parameters of the aerosol layer obtained upon data processing of lidar and radiometric measurements represent the mutually complementary pieces of information. Complex lidar and radiometric experiments become effective in full for aerosol characterization, if, according to sensed conditions, they apply to the same aerosol layer and if a series of made observations allows one to calculate parameters totality for the optical model presenting aerosol layer properties in the radiative transfer theory.

The idea to specially organize coordinated lidar and radiometric measurements in the united lidar and radiometric stations AERONET and EARLINET and the technique to process joint data arrays were offered

совместного массива данных предложена в работе [17]. Расчет параметров аэрозоля в процедуре обработки данных измерений является «некорректной» обратной задачей. Алгоритм ее решения использует методы статистической регуляризации [31–33] и основан на нахождении параметров аэрозольной модели, обеспечивающей максимум апостериорного распределения вероятности искомых параметров. Исходной информацией для восстановления параметров аэрозольного слоя служит набор лидарных и радиометрических измерений, а также априорные ограничения на искомые параметры аэрозольной модели.

Первые экспериментальные результаты практического применения предложенного метода комплексного лидарного и радиометрического зондирования (LRS – Lidar&Radiometer Sounding) на станции в Минске (Беларусь) были представлены в работе [34]. Институт физики НАН Беларуси (Беларусь) и Лаборатория оптики атмосферы (Франция) совместно разработали методику измерений и программное обеспечение для реализации LRS-измерений. В настоящее время в Европейском регионе в рамках сети EARLINET формируется специализированная сеть станций комплексного лидарного и радиометрического зондирования аэрозоля [35, 36].

В оптических исследованиях в Антарктиде наряду с регулярными наблюдениями, выполняющимися по методикам AERONET, EARLINET, CIS-LiNet, предусмотрена специальная программа LRS-измерений. Первый в Антарктиде комплексный лидарный и радиометрический эксперимент был проведен 23 декабря 2012 г.

Усредненное по аэрозольному слою распределение объемов рассеивающихся частиц представлено на рис. 2.28. Доля крупнодисперсных частиц в общем

in [17]. Calculation of aerosol parameters in the procedure of measured data processing is the ill-conditioned inverse problem. The algorithm to solve it uses the statistic regularization methods [31–33] and is based on finding parameters of the aerosol model providing the maximum of posterior distribution of probability of the sought-for parameters. The initial information for retrieval of the aerosol layer parameters is made up from results of a series of lidar and radiometric observations and a priori restrictions on the sought-for model parameters.

The first experimental results of practical use (on the station in Minsk) of the method offered to the lidar and radiometric sounding (LRS – Lidar&Radiometer Sounding) were described in [34]. The Institute of physics, NASB (Belarus) and LOA (France) jointly have developed a measurement technique and software to realize the LRS technology. Currently, a special-purpose network of stations for complex lidar and radiometric sensing of aerosol is formed in Europe within the network EARLINET [35, 36].

In optical Antarctic researches, the special LRS program is provided for along with routine observations on the basis of the techniques of AERONET, EARLINET and CIS-LiNet. The first complex lidar and radiometric experiment in Antarctic was carried out in the station Molodezhnaya, December 23, 2012.

The aerosol-layer-mean size distribution of the scattering particle volume from the first Antarctic complex experiment is shown in Fig. 2.28. The coarse mode fraction of particles in the general aerosol

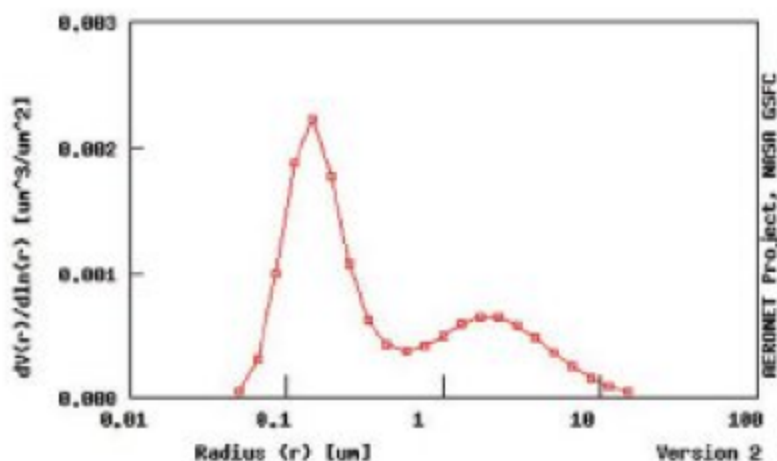


Рис. 2.28. Распределение объемов аэрозольных частиц по размерам, 11:56, 23 декабря 2012 г., станция «Молодежная»

Fig. 2.28. Aerosol size distribution of the particle volume, 11:56, December 23, 2012, station «Molodezhnaya»

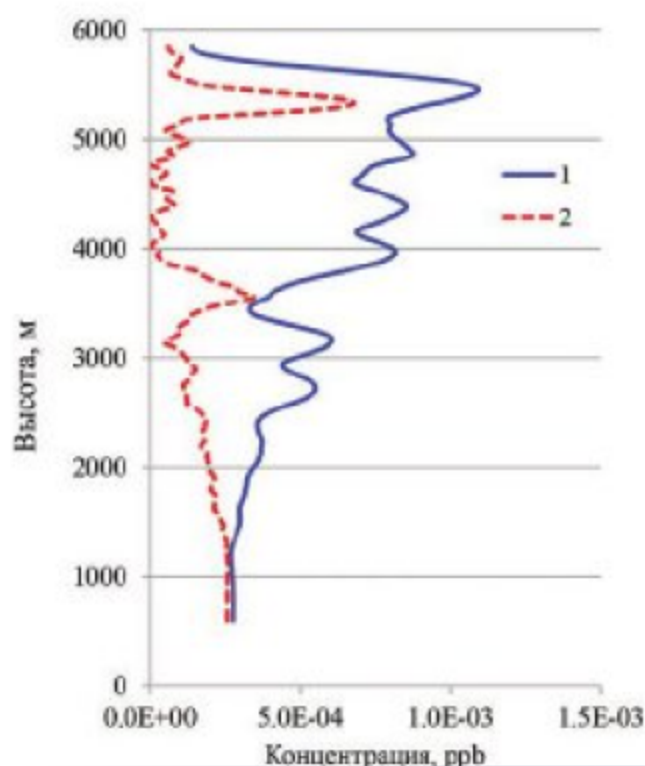


Рис. 2.29. Высотные профили концентрации мелкодисперсной (1) и крупнодисперсной (2) фракций аэрозольных частиц по данным комплексного лидарного и радиометрического зондирования, 14:30 – 15:30, 23 декабря 2012 г.

Fig. 2.29. Concentration vertical profiles for fine (1) and coarse (2) fractions of aerosol particles according to data of complex lidar and radiometric sounding, 14:30 – 15:30, December 23, 2012

содержании аэрозоля составляла 0,25, т. е. несколько превышала среднюю величину для станции «Гора Вечерняя» (см. табл. 2.9).

Результаты восстановления высотных профилей концентрации мелких и крупных частиц представлены на рис. 2.29. Обнаруживается слой с центром на высоте 5000 м с повышенной концентрацией мелких частиц. Крупные частицы содержатся преимущественно в нижней атмосфере и в виде узких слоев на высотах 3500 и 5300 м.

Дополнительную информацию о геофизических процессах, определяющих специфику высотных распределений аэрозольных фракций в рассматриваемом эксперименте, предоставляют результаты моделирования траекторий переноса воздушных масс (модель HYSPLIT, NOAA [37]) и данные спутниковых наблюдений спектрометром MODIS (FIRMS, NASA [38]), представленные на рис. 2.30, 2.31.

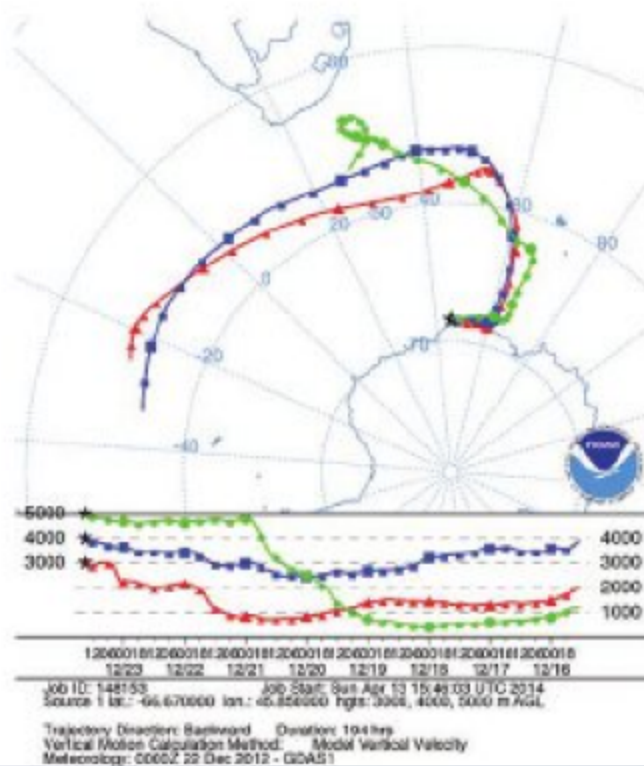


Рис. 2.30. Схема обратных траекторий переноса воздушных масс для станции «Молодежная», 15:00, 23 декабря 2012 г. для высот 500, 2000 и 5000 м, модель HYSPLIT, NOAA

Fig. 2.30. Scheme of reverse trajectories of air mass transport for station «Molodezhnaya», 15:00, December 23, 2012, for altitudes 500, 2000 and 5000 m, model HYSPLIT, NOAA

content was 0.25, that is, it somewhat exceeded the mean quantity for the station «Vechernyaya Hill» (see Table 2.9).

Obtained results for the concentration vertical profiles for the fine and coarse particles modes are displayed in Fig. 2.29. Here, one can see a layer with the center at the level 5000m which has higher concentration of the fine particles mode. The coarse mode of particles is seen in the lower atmosphere and also at the levels 3500 m and 5300 m in the form of two thin layers.

Additional information about geophysical processes specifying peculiarities of the vertical profiles of aerosol particles modes in the first Antarctic complex experiment can be taken from the results of modeling of air-mass transport trajectories (model HYSPLIT, NOAA [37]), which are presented here in Fig. 2.30, and from the data of satellite observation with the aid of the spectrometer MODIS (FIRMS, NASA [38]), which here are given in Fig. 2.31.

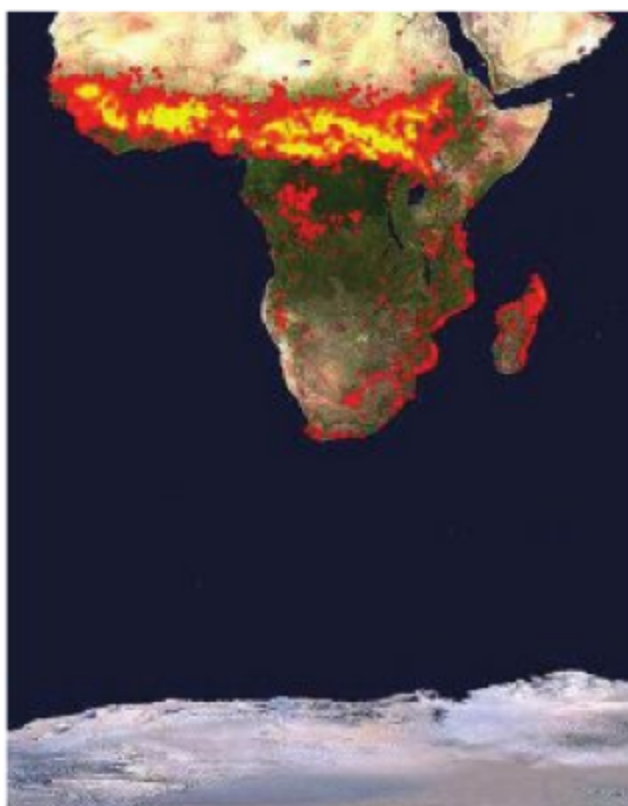


Рис. 2.31. Карта очагов пожаров по данным MODIS, 16–25.12.2012, данные FIRMS, NASA

Fig. 2.31. Map of seats of fire according to MODIS data, December 16–25, 2012, data of FIRMS, NASA

Как следует из результатов расчета «обратных» траекторий (рис. 2.30), воздушная масса на высоте 5000 м в районе лидарных наблюдений могла обогатиться мелкими частицами при прохождении в низком слое атмосферы вблизи региона Южной Африки вследствие присутствия очагов пожаров (рис. 2.31). Все «обратные» траектории в тропосферном слое приходят в пункт наблюдения из океанского региона, что, вероятно, увеличивает общее содержание крупных частиц. Кроме того, слой крупных частиц на высоте 5300 м может быть обусловлен вкладом оптически тонких облаков.

2.4.2. Результаты моделирования аэрозольных полей в Антарктиде и сравнение с данными радиометрических измерений

Моделирование дополняет данные измерений и позволяет оценить характеристики аэрозоля и его пространственно-временное распределение в тех случаях, когда измерения отсутствуют или являются неполными. Моделирование содержания аэрозоля над Антарктикой осуществляется нами на основе модели переноса с учетом химических превращений GEOS-Chem [39, 40]. Входными данными для моде-

As follows from the results of reverse trajectories calculations (see Fig. 2.30), the air mass at the altitude 5000 m in the region of lidar observations was probably enriched with small particles in the time of passing in the atmosphere bottom layer near seats of fire in Southern Africa (see Fig. 2.31). All reverse trajectories of tropospheric air mass come to the observation point from the ocean. This probably is the reason of increasing large particles content in the site of observation. Besides, the layer of coarse particles at the altitude 5300 m could be caused by contribution of optically thin cirri.

2.4.2. Modeling of aerosol in Antarctic and comparison with the data of radiometric measurements

Model simulations supplement measurement data and allow estimating aerosol properties and spatial-temporal distributions of aerosol concentrations where measurements are absent or incomplete. We used chemical transport model GEOS-Chem [39, 40] to simulate aerosol concentrations over Antarctica. The GEOS-Chem uses meteorological input from the Goddard Earth Observing System (GEOS) [41]

ли являются базы данных поступления химических компонентов и аэрозолей в атмосферу и метеорологические данные системы GEOS (Goddard Earth Observing System) [41]. Результатом моделирования является распределение содержания атмосферных примесей в пространстве и времени. GEOS-Chem позволяет моделировать пространственно-временное распределение основных типов атмосферного аэрозоля: сульфатного, аммонийного, нитратного, сажи (черного углерода, гидрофильного и гидрофобного), минеральной пыли, морского соляного аэрозоля тонкой и грубой фракций, аэрозоля на основе органических соединений, в том числе органического углерода (гидрофильного и гидрофобного) и вторичных органических аэрозолей. Используемые базы данных поступления аэрозолей в атмосферу включают антропогенные выбросы, выбросы в результате сжигания биотоплива, горения биомассы, извержений вулканов, поступления из морской воды, выветривания. В модель включены следующие микрофизические процессы: образование частиц, рост, коагуляция, осаждение и вымывание. Расчеты проведены для горизонтальной сетки $4^\circ \times 5^\circ$ и 47 вертикальных слоев до высоты 80 км.

Результаты расчетов сравнивались с измерениями на радиометрической станции «Гора Вечерняя», входящей в сеть AERONET. В сети AERONET, в частности, измеряется общее содержание аэрозоля (OCA). OCA [$\text{мкм}^3/\text{мкм}^2 = \text{мкм}$] – величина, характеризующая содержание аэрозоля во всей толще атмосферы над данной географической точкой и представляющая собой толщину слоя аэрозоля, который образуется, если весь аэрозоль, содержащийся в вертикальном столбе атмосферы, опирающемся на участок поверхности единичной площади, осадить на этот участок. Мы провели сравнение результатов трех серий измерений на станции «Гора Вечерняя» (январь – февраль 2009 г., январь – март 2012 г., декабрь 2012 г. – март 2013 г.) с рассчитанными среднесуточными значениями OCA для соответствующих дат. Результаты сравнения представлены на рис. 2.32. Как видно из рис. 2.32, рассчитанные и измеренные значения достаточно хорошо согласуются.

Как показали расчеты, среднее OCA над сушей составляет 0,001–0,002 мкм, на побережье и в прибрежной полосе – 0,003–0,005 мкм, над океаном – до 0,01 мкм. Станция «Гора Вечерняя» расположена на побережье. На рис. 2.33 показано рассчитанное среднемесячное OCA в атмосфере над станцией «Гора Вечерняя». Как следует из расчета, содержание аэрозоля подвержено сезонным изменениям. В зимний период содержание аэрозоля приблизительно в два раза больше, чем в летний.

На рис. 2.34 представлено рассчитанное распределение массового содержания аэрозоля по составу в атмосфере над станцией «Гора Вечерняя» (усред-

and data from various emissions inventories. The GEOS-Chem model provides spatial and temporal distribution of atmospheric species concentrations including major aerosol types such as sulfate, ammonium, nitrate, black carbon in both hydrophilic and hydrophobic modes, mineral dust, sea salt aerosols in both accumulation and coarse modes, and organic aerosols including organic carbon in both hydrophilic and hydrophobic modes and secondary organic aerosols. The aerosol emissions inventories used by GEOS-Chem include anthropogenic, biofuel, biomass burning, volcanic, marine, soil particles emissions. Aerosol microphysics processes include nucleation, condensation, coagulation, wet scavenging and dry deposition. The simulation is performed at $4^\circ \times 5^\circ$ horizontal resolution with 47 vertical layers up to 80 km.

We compared model results with the AERONET sun-photometer measurements at the station «Vechernaya Hill». The AERONET provides wide number of aerosol parameters and characteristics, among them volume concentration of total aerosol. Volume concentration in $\text{mm}^3/\text{mm}^2 = \text{mm}$ is defined as total volume of aerosol particles in the atmospheric column divided by the surface area of the cross section of the atmospheric column. There were 3 measurement seasons at the station «Vechernaya Hill» (from January 2009 to February 2009, from January 2012 to March 2012, and from December 2012 to March 2013). Volume concentration from the AERONET measurements was compared with daily-averaged model-simulated volume concentration. Figure 2.32 shows that predictions are in reasonably good agreement with observations.

The computations indicate that mean volume concentration of total aerosol varies from 0.001 to 0.002 mm over land, from 0.003 to 0.005 mm over coast, and from 0.005 up to 0.01 mm over ocean. The station «Vechernaya Hill» is located at the coast. Figure 2.33 shows model-simulated monthly averaged volume concentration of total aerosol in the atmosphere over the station «Vechernaya Hill». According to simulation, aerosol burden is seasonally dependent. Volume concentration of total aerosol in winter is about twice higher than in summer.

Figure 2.34 shows the model-simulated aerosol composition in per cent by mass in the atmosphere over the station «Vechernaya Hill» (yearly averaged for

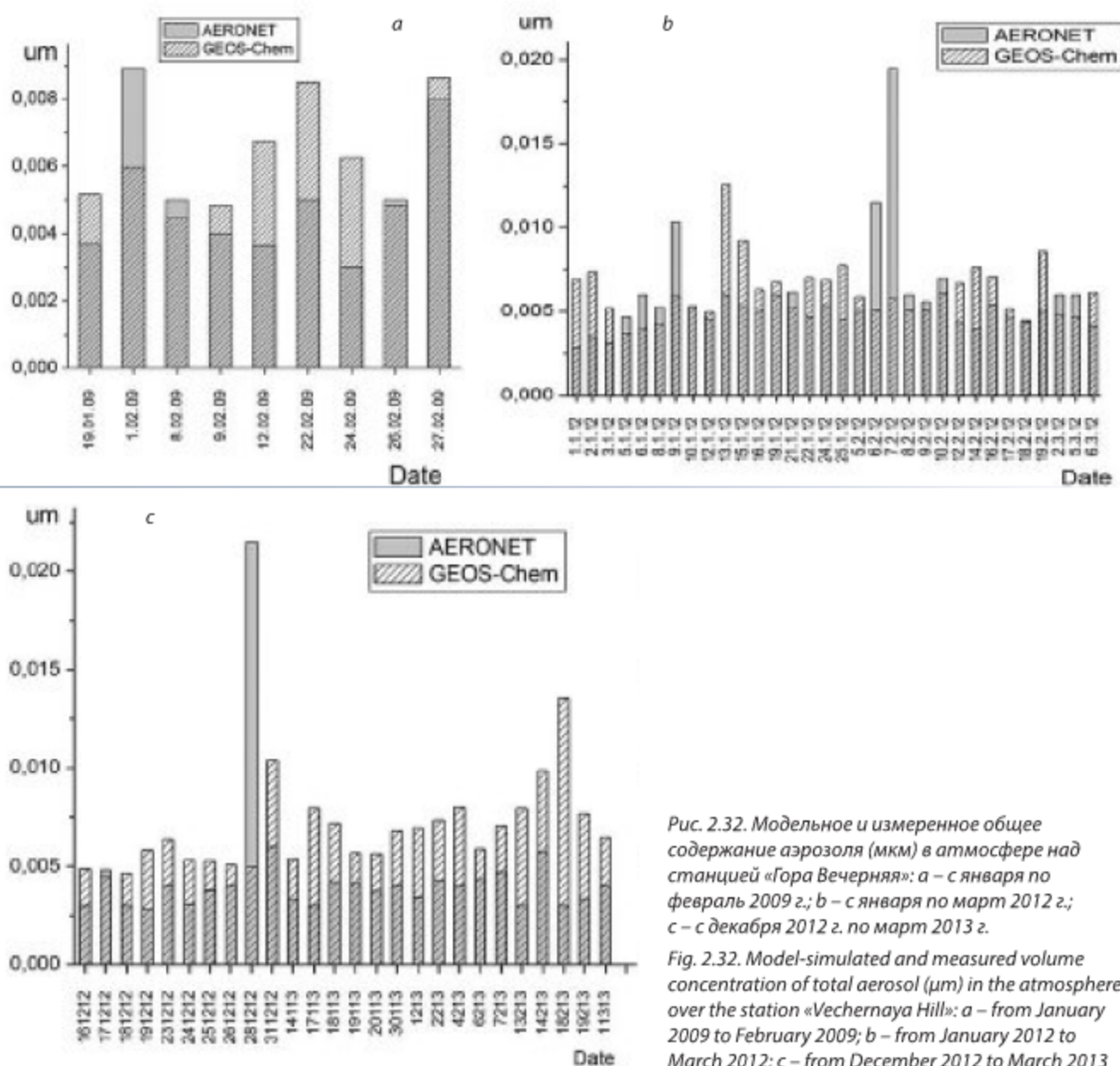
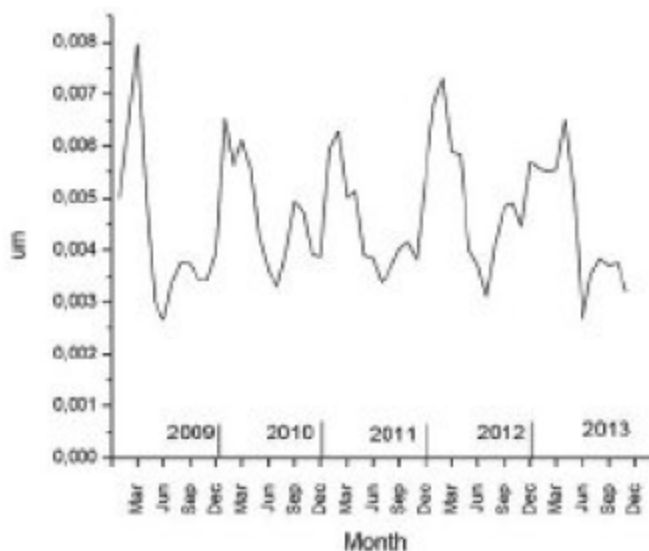


Рис. 2.32. Модельное и измеренное общее содержание аэрозоля (мкм) в атмосфере над станцией «Гора Вечерняя»: а – с января по февраль 2009 г.; б – с января по март 2012 г.; в – с декабря 2012 г. по март 2013 г.

Fig. 2.32. Model-simulated and measured volume concentration of total aerosol (μm) in the atmosphere over the station «Vechernaya Hill»: a – from January 2009 to February 2009; b – from January 2012 to March 2012; c – from December 2012 to March 2013

Рис. 2.33. Среднемесячное ОАА (мкм) в атмосфере над станцией «Гора Вечерняя» (2009–2013 гг.)

Fig. 2.33. Model-simulated monthly averaged volume concentration of total aerosol (μm) in the atmosphere over the station «Vechernaya Hill» (2009–2013)



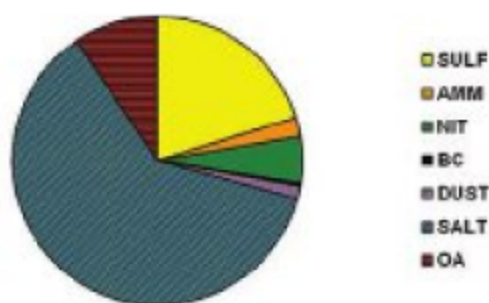


Рис. 2.34. Распределение аэрозоля по составу в атмосфере над станцией «Гора Вечерняя» (усреднение за 2013 г.): SULF – сульфаты; AMM – аммоний; NIT – нитраты; BC – черный уголь (сажа); DUST – минеральная пыль; SALT – морская соль; OA – органический аэрозоль

Fig. 2.34. Model-simulated aerosol composition over the station «Vechernaya Hill» (yearly averaged for 2013): SULF – sulfate, AMM – ammonium; NIT – inorganic nitrates; BC – black carbon; DUST – mineral dust; SALT – sea salt aerosol; OA – organic aerosols

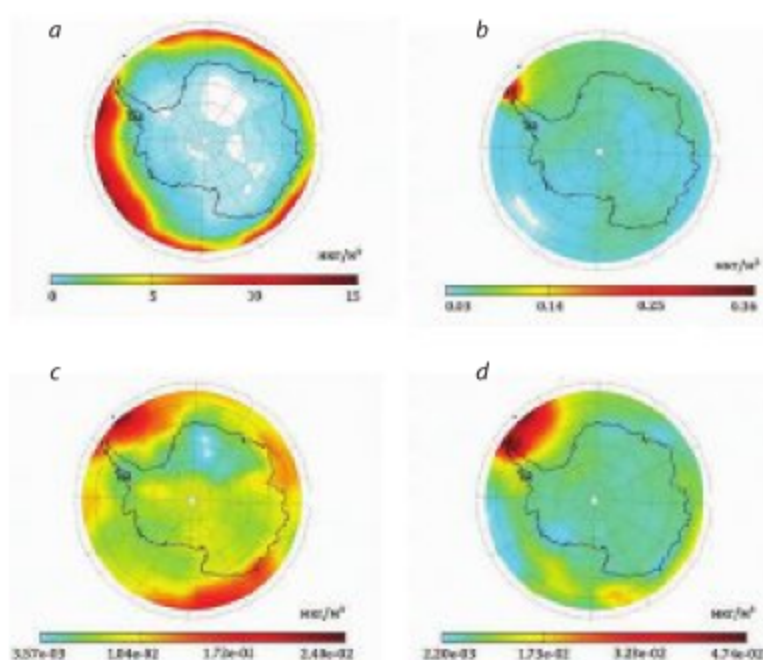


Рис. 2.35. Распределение среднемесячной концентрации аэрозолей ($\text{мкг}/\text{м}^3$) над Антарктикой (май 2013 г.): а – морская соль; б – сульфаты; в – нитраты; д – аммоний

Fig. 2.35. Model-simulated distributions of mass concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) over Antarctica (May 2013): а – sea salt; б – sulfate; в – nitrate; д – ammonium

нение за 2013 г.). Как видно из рис. 2.34, основной составляющей является морская соль, что объясняется близостью станции к океану. Значительную долю составляют сульфаты, органический аэрозоль и нитраты. Содержание аммония, пыли и сажи мало.

На рис. 2.35 показано типичное распределение приземной концентрации некоторых видов аэрозоля над Антарктикой. Приведены результаты моделирования среднемесячной концентрации морской соли, сульфатов, нитратов и аммония для мая 2013 года. Подобный характер пространственного распределения концентрации аэрозолей является типичным и для других временных периодов.

2013). The dominant component is sea salt because of the location of the station close to the ocean. Sulfates, organic aerosol, and nitrates constitute significant fractions. Ammonium, mineral dust, and black carbon are small parts of the total aerosol mass.

Figure 2.35 shows the typical spatial distribution of near-surface aerosol mass concentration over Antarctica. The maps show modeled monthly mean (May 2013) mass concentration (mg/m^3) of sea salt, sulfate, nitrate and ammonium. Similar patterns of mass concentration distribution hold for other time periods as well.



Литература References

1. Новый малогабаритный озонметр М-124, предназначенный для измерения суммарного озона / Г. П. Гуцин [и др.] // Атмосферный озон. Труды VI Всесоюз. симп. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – С. 49–56.
2. Методические указания по производству и обработке наблюдений за общим содержанием атмосферного озона / сост. Г. П. Гуцин. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 45 с.
3. Шаламянский, А. М. Усовершенствование методики измерений ОЗО по свету от зенита неба. Прикладная метеорология / А. М. Шаламянский, К. И. Ромашкина, Б. М. Игнатенко // Труды НИЦДЗА (Филиал ГГО). – 2001. – Вып. 3 (549). – С. 181–189.
4. Ozone net instrumentation developed in Belarus / A. N. Krasouski [et al.] // Proceedings of the QUADRENNIAL OZONE SYMPOSIUM. – Sapporo, 2000.
5. Спектрорадиометр для мониторинга приземного ультрафиолетового солнечного излучения / Л. Н. Турышев [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. – 2005. – Т. 72, № 2. – С. 262–270.
6. NSF Polar Programs UV Spectroradiometer Network. 1995–1997 Operations Report. – Biospherical Instr. Inc., 1998.
7. Измерение озона в широком диапазоне концентраций с использованием полупроводниковых NiO газовых сенсоров / В. С. Демин [и др.] // Измерительная техника. – 2008. – № 9. – С. 67–71.
8. CIMEL Electronique [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.cimel.fr/?lang=en>.
9. Dubovik, O. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from sun and sky radiance measurements / O. Dubovik, M. King // J. Geophys. Res. – 2000. – Vol. 105 (D16). – P. 20673–20696.
10. The AERONET (Aerosol Robotic Network) [Electronic resource]. – Mode of access: <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>.
11. AERONET-A federated instrument network and data archive for aerosol characterization / B. N. Holben [et al.] // Remote Sens. Environ. – 1998. – Vol. 66. – P. 1–16.
12. EARLI09 – DIRECT intercomparison of eleven EARLINET lidar systems / F. Volker [et al.] // Proc. of the 25th Int. Laser Radar Conference, St.-Petersburg, July 5–9 2010. – 2010. – P. 891–894.
13. EARLINET instrument intercomparison campaigns: overview on strategy and results / W. Wandinger [et al.] // Atmos. Meas. Tech. Discuss. – 2015. – Vol. 8. – P. 10473–10522.
14. Müller, D. Microphysical particle parameters from extinction and backscatter lidar data by inversion with regularization: theory / D. Müller, U. Wandinger, A. Ansmann // Appl. Optics. – 1999. – Vol. 38. – P. 2346–2357.
15. Kolgotin, A. Theory of inversion with two-dimensional regularization: profiles of microphysical particle properties derived from multiwavelength lidar measurements / A. Kolgotin, D. Müller // Appl. Opt. – 2008. – Vol. 47. – P. 4472–4490.
16. Inversion with regularization for the retrieval of tropospheric aerosol parameters from multiwavelength lidar sounding / I. Veselovskii [et al.] // Appl. Optics. – 2002. – Vol. 41, № 18. – P. 3685–3699.
17. Methodology to retrieve atmospheric aerosol parameters by combining ground-based measurements of multi-wavelength lidar and sun sky-scanning radiometer / A. Chaikovskiy [et al.] // 8th Int. Symposium on Atmospheric and Ocean and Ocean Optics: Atmospheric Physics / G. A. Zherebtsov [et al.] (eds.) // Proceeding of SPIE. – 2002. – Vol. 4678. – P. 257–268.
18. Derivation of total ozone abundance and cloud effects from spectral irradiance measurements / K. Stamnes [et al.] // Appl. Optics. – 1991. – Vol. 30, № 30. – P. 1–15.
19. Kylling, A. LibRadtran, library for radiative transfer calculations. Edition 1.0 / A. Kylling, B. Mayer. – 2001.
20. A description of the advanced research WRF Version 3 / W. C. Skamarock [et al.] // NCAR Technical Note. – 2008. – NCAR / TN-468+STR [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v3.pdf. – Date of access: 08.05.2010.
21. Zege, E. Image transfer through a scattering medium / E. Zege, A. Ivanov, I. Katsev. – Heidelberg: Springer-Verlag, 1991. – 349 p.
22. Bohren, C. F. Theory of the optical properties of snow / C. F. Bohren // J. Geophys. Res. – 1974. – Vol. 79. – P. 4527–4535.
23. Wiscombe, W. J. A model for the spectral albedo of snow. I. Pure snow / W. J. Wiscombe, S. J. Warren // J. Atmos. Sci. – 1980. – Vol. 37. – P. 2712–2733.
24. Greenfell, J. C. Reflection of solar radiation by the Antarctic snow surface at ultraviolet, visible, and near-infrared wavelength / J. C. Greenfell, S. G. Warren, P. C. Mallen // J. Geophys. Res. – 1994. – Vol. 99. – P. 18669–18684.
25. Li, W. Snow grain size retrieved from near-infrared radiances at multiple wavelengths / W. Li, K. Stamnes, B. Chen // Geophys. Res. Lett. – 2001. – Vol. 28. – P. 1699–1702.
26. Preliminary validation of the GLI algorithms with MODIS daytime data / M. Hori [et al.] // Polar Meteorol. Glaciol. – 2001. – Vol. 15. – P. 1–20.
27. The retrieval of the effective radius of snow grains and control of snow pollution with GLI data / E. P. Zege [et al.] // Proc. of Conference on Light Scattering by Nonspherical Particles: theory, measurements, and applications. – Boston: Am. Meteorol. Soc., 1998. – P. 288–290.

28. Algorithm for retrieval of the effective snow grain size and pollution amount from satellite measurements / E. P. Zege [et al.] // *Rem. Sens. of Env.* – 2011. – Vol. 115. – P. 2674–2685.
29. Kokhanovsky, A. A. Scattering optics of snow / A. A. Kokhanovsky, E. P. Zege // *Appl. Opt.* – 2004. – Vol. 43. – P. 1589–1602.
30. The ASTER spectral library version 2.0 / A. M. Baldridge [et al.] // *Rem. Sens. of Env.* – 2009. – Vol. 113. – P. 711–715.
31. Turchin, V. The use of mathematical-statistics methods in the solution of incorrectly posed problems / V. Turchin, V. Kozlov, M. Malkevich // *Sov. Phys. Usp.* – 1971. – Vol. 13. – P. 681–703.
32. Tarantola, A. Inverse problem theory: methods for data fitting and model parameter estimation / A. Tarantola. – Amsterdam: Elsevier, 1987. – 614 p.
33. Rodgers, C. D. Inverse methods for atmospheric sounding. Theory and Practice / C. D. Rodgers. – Word Scientific, 2000. – 238 p.
34. CIMEL and multiwavelength lidar measurements for troposphere aerosol altitude distributions investigation, long-range transfer monitoring and regional ecological problems solution: field validation of retrieval techniques / A. Chaikovsky [et al.] // *Optica Pura y Aplicada.* – 2004. – Vol. 37. – P. 3241–3246.
35. Algorithm and software for the retrieval of vertical aerosol properties using combined lidar/radiometer data: dissemination in EARLINET / A. Chaikovsky [et al.] // *Proc. of 26th Int. Laser and Radar Conference.* – Porto Heli (Greece), 2012. – Vol. 1. – P. 399–402.
36. Lidar-Radiometer Inversion Code (LIRIC) for the retrieval of vertical aerosol properties from combined lidar/radiometer data: development and distribution in EARLINET / A. Chaikovsky [et al.] // *Atmos. Meas. Tech. Discuss.* – 2015. – Vol. 8. – P. 12759–12822.
37. HYSPLIT Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT_info.php.
38. Fire Information for Resource Management System (FIRMS) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>.
39. Global modeling of tropospheric chemistry with assimilated meteorology: Model description and evaluation / I. Bey [et al.] // *J. Geophys. Res.* – 2001. – Vol. 106. – P. 23073–23096.
40. GEOS-Chem Model [Electronic resource]. – Mode of access: <http://acmg.seas.harvard.edu/geos>.
41. GEOS-5 system [Electronic resource]. – Mode of access: <http://gmao.gsfc.nasa.gov/systems/geos5>.





**БЕЛОРУССКИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ НА ЗЕМЛЕ ЭНДЕРБИ****BELARUSIAN GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL
RESEARCH IN ENDERBY LAND**

Цель научных геолого-геофизических исследований по изучению литосферы Земли Эндерби и ее акватории – оценка ресурсного минерально-сырьевого потенциала района расположения Белорусской антарктической станции как основы для постановки в будущем геологоразведочных работ.

Основные задачи: исследование в зоне базирования Белорусских антарктических экспедиций (на Вечернегорской площади) детальной геологической обстановки на основе отбора образцов горных пород и проведения гравиметрической и магнитометрической съемок в крупном масштабе; создание специализированного полигона для мониторинга гравитационного и магнитного полей с целью установления характера протекания современных тектонофизических процессов в зонах разломов; региональное изучение глубинного строения земной коры и верхней мантии с целью тектонического районирования территории Земли Эндерби.

Для решения первой задачи в летний антарктический сезон 2008/2009 гг. белорусские специалисты в составе 54-й РАЭ выполнили комплекс научных детальных рекогносцировочных геолого-геофизических исследований на Вечернегорской площади и на станции «Молодежная». Комплекс включал маршрутные гравиметрические и магнитометрические рейсы и геолого-съёмочные работы с отбором образцов горных пород на Вечернегорской площади; заложение геодинамического полигона для изучения вариаций геофизических полей во времени, обусловленных современными тектонофизическими процессами, а также стационарные геомагнитные и гравиметрические наблюдения в немагнитном павильоне на станции «Молодежная».

По результатам детальных полевых геолого-геофизических работ и последующего лабораторного изучения петрографических, петрохимических и петрофизических свойств образцов горных пород, с учетом геологических исследований докембрийского основания в окрестностях станции «Молодежная», проведенных в 1973 г. американским геологом

The purpose of the geological and geophysical investigations of the Enderby Land and its adjacent water area was to estimate the potential mineral resources in the region of location of the Belarusian Antarctic Station as the stage for the future geological exploration works.

The major tasks were as follow: detailed study of the geological conditions within the zone of location of the Belarusian expeditions (the Mount Vechernyaya area) based on the collection of rock samples and large-scale gravity and magnetometer surveys; creation of a special-purpose ground for the gravity and magnetic field monitoring in order to clear up the course of recent tectonophysical processes in the fault zones; regional study of the deep structure of the Earth's crust and upper mantle in order to divide the Enderby Land territory into tectonic regions.

To solve the first problem the Belarusian scientists working in the team of the 54th Russian Antarctic Expedition in the summer Antarctic season of 2008–2009 performed a complex of detailed geological and geophysical reconnaissance works within the Mount Vechernyaya area and at the station «Molodezhnaya». The reconnaissance complex included the gravimeter and magnetic route surveys, as well as the geological surveys with rock sampling within the Mount Vechernyaya area; laying of a geodynamic testing ground to study the geophysical field variations in time due to recent tectonophysical processes, as well as the stationary geomagnetic and gravity observations at a nonmagnetic room of the station «Molodezhnaya».

Using the results of the detailed field geological and geophysical works and the subsequent laboratory studies of the petrographic, petrochemical and petrophysical properties of rock samples, as well as of the geological studies of the Precambrian basement in the vicinity of the station «Molodezhnaya» carried out in 1973 by American geologist E. S. Grew, who

Э. С. Грев, участвовавшим в 18-й Советской антарктической экспедиции (Grew, 1978; Grew, Manton, 1981), научным сотрудником Института природопользования НАН Беларуси О. В. Мясниковым на площади «Гора Вечерняя – Рубин», названной по геологическим правилам Вечернегорской площадью, построена геологическая карта Вечернегорской площади (рис. 3.1) (Каратаев, Мясников, 2010; Мясников, 2011).

На Вечернегорской площади выделены основные рудогенерирующие, рудоконтролирующие и рудовмещающие формации, которыми являются гранитоиды чарнокитовой рапаквивоподобной ультраметаморфической толщи. С ними связаны железо-титановые массивно-вкрапленные руды магматогенной и метаморфогенной (скарноидной) серий. На контакте с архейскими плагиогнейсами встречены пиропы с ювелирными свойствами, признаки цинка и меди. По геохимическим признакам перспективными участками являются мыс Рог, гора Вечерняя, мыс Гнездовой, бухта Терпения и гора Рубин (здесь в оруденелых породах склонны накапливаться Co, Ti, Mo, Cu, Zn, Ga, Sn, CdO).

Региональные геолого-геофизические исследования на Земле Эндерби и ее акватории выполнены с целью прогнозного районирования территории по видам полезных ископаемых на основе критериев, связывающих природу формирования и размеще-

participated in the 18th Soviet Antarctic Expedition (Grew, 1978; Grew, Manton, 1981), O. V. Myasnikov, researcher of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus compiled the geological map of the Mount Vechernyaya area (Fig. 3.1) (Karatayev, Myasnikov, 2010; Myasnikov, 2011).

The main ore-generating, ore-controlling and ore-bearing formations mapped within the Mount Vechernyaya area are the granitoids of the charnockite rapakivi-like ultrametamorphic strata with their associated titaniferous iron massive-impregnation ores of the igneous and metamorphogenic (skarnoid) series. Pyropes showing gem properties, as well as some signs of the zinc and copper occurrences were determined in the zone of contact with the Archean plagiogneisses. According to the geochemical evidences the prospect sites are Cape Rog, Mount Vechernyaya, Cape Gnezdovoy, Terpeniya Bay, Mount Rubin (where Co, Ti, Mo, Cu, Zn, Ga, Sn, CdO tend to be accumulated in metallogenic rocks).

Regional geological and geophysical investigations within the Enderby Land and its water area were carried out in order to make the preliminary division of this territory into regions in accordance with the kinds of minerals found there using the crite-

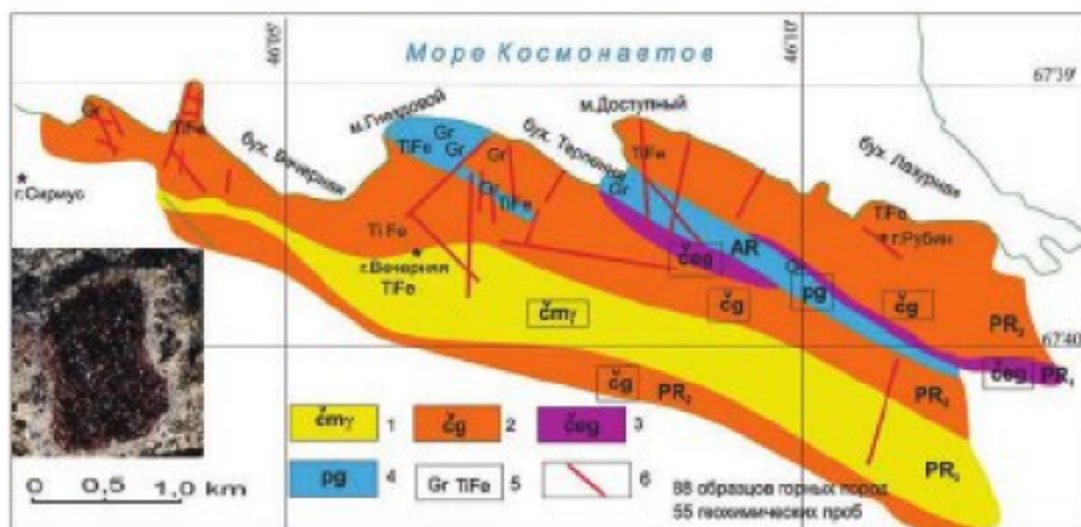


Рис. 3.1. Фрагмент геологической карты Вечернегорской площади (составитель О. В. Мясников): 1 – ультраметаморфические полевошпат-кварц-плагиоклаз-амфиболитовые струйчатые рапакиви-гнейсовые чарнокиты; 2 – амфибол-полевошпат-кварц-плагиоклазовые чарнокиты; 3 – гибридные амфибол-пироксен-плагиоклаз-кварц-полевошпатовые чарнокитизированные эндебиты; 4 – протолит-реликтовые двупироксеновые амфибол-биотитовые плагиогнейсы

Fig. 3.1. Fragment of the geological map of the Mount Vechernyaya area (compiled by O. V. Myasnikov): 1 – ultrametamorphic feldspar-quartz-plagioclase-amphibolite streamy rapakivi-gneissic charnockites; 2 – amphibole-feldspar-quartz-plagioclase charnockites; 3 – hybride amphibole-pyroxene-plagioclase-quartz-feldspathic charnockitized enderbites; 4 – protolith-relict twopyroxenic amphibole-biotitic plagiogneisses

ния полезных ископаемых с различными типами тектонических структур и геофизическими полями. Для Земли Эндерби базой для оценки минерально-сырьевого потенциала являются главным образом геофизические поля и редкие прямые геологические наблюдения в основном вдоль открытой ото льда береговой линии (зоны). Для решения задач геологического прогноза разработана концепция, суть которой состоит в извлечении из геофизических полей информации о разнородности глубинного строения литосферы (типизация), о вещественном составе фундамента и об особенностях тектонического строения. Эта информация сопоставляется с теми геологическими структурами, которые являются носителями полезных ископаемых – шовными зонами, зонами тектоно-магматической активизации, разломами. Разработаны соответствующие прогнозные критерии, связывающие опосредованно геофизические поля с полезными ископаемыми через устанавливаемые по полям отмеченных геологических структур.

Исходя из этой концепции геологического прогноза для районирования территории Земли Эндерби по видам полезных ископаемых был построен следующий комплект карт: карты наблюденных и локальных гравитационных и магнитных аномалий, тектоническая карта, геологическая карта, карта мощности земной коры, разрезы литосферы, петрофизические карты, данные о геофизических типах земной коры основных тектонических элементов, а также использована геологическая карта Земли Эндерби, составленная российскими геологами (Атлас океанов, 2005; Лейченко и др., 2003; Лейченко, Гусева, 2006), см. рис. 3.2–3.5.

По комплексу указанных геолого-геофизических карт было выполнено районирование территории Земли Эндерби и прилегающих областей в тектоническом аспекте. При этом основное значение имеют гравитационное и магнитное аномальные поля, дающие пространственную и глубинную информацию о геологических структурах.

Как известно, аномальное поле силы тяжести несет в себе информацию о составе, внутренней структуре, разломах кристаллического фундамента и платформенного чехла, мощности последнего, а также о глубинной плотностной неоднородности литосферы и астеносферы. Магнитные аномалии четко фиксируют магнитные неоднородности главным образом вещества кристаллического фундамента и его разломную тектонику; региональная составляющая магнитного поля отражает латеральную магнитную неоднородность нижнего («базальтового») слоя земной коры. Вещество верхней мантии в аномальном магнитном поле не отражается в силу его индуктивного происхождения: при высоких температурах, соизмеримых с температурой точки Кюри, горные породы теряют магнитные свойства.

ria that relate the mineral formation and distribution patterns to the different type tectonic structures and geophysical fields. The geophysical fields and rare direct geological observations mainly along the ice-free shoreline (waterfront zone) may serve as an essential ground for the estimation of the potential mineral resources of the Enderby Land. A concept developed to solve the geological forecasting problem consists in deriving the information on the deep lithosphere structure (typification), the basement material composition and the tectonic peculiarities from the geophysical field data. This information is correlated with those geological features that are considered to be mineral-bearing structures, such as sutures, zones of tectonic-magmatic activation, faults. The corresponding forecast criteria have been developed that mediate correlate the geophysical fields with the minerals determined from the fields of the mentioned geological structures.

This concept of geological forecasting developed to divide the Enderby Land territory into regions by their characteristic minerals was used to compile a set of maps as follows: maps of the measured and local gravity and magnetic anomalies, tectonic map, geological map, map of the Earth's crust thickness, lithosphere sections, and petrophysical maps (Figs. 3.2–3.5). Data of the geophysical types of the crust of the main tectonic elements and the geological map of the Enderby Land compiled by the Russian geologists have been also considered (Atlas of the Oceans, 2005; Leychenkov et al., 2003; Leychenkov, Guseva, 2006).

The above geological and geophysical maps were used to make the division of the Enderby Land territory and its adjacent areas into tectonic regions. The gravity and magnetic anomalous fields were of special importance as these provide information about the space and depth distribution of the geological structures.

As is known an anomalous gravity field informs about the composition, internal structure, faults in the crystalline basement and platform cover, platform cover thickness, as well as about the deep density inhomogeneity of the lithosphere and asthenosphere. The magnetic anomalies clearly define the magnetic nonuniformities of the crystalline basement material, as well as its fault tectonics. The regional component of the magnetic field is indicative of the lateral magnetic nonuniformity of the lower («basaltic») layer of the crust. The upper mantle material is not shown in the anomalous field because of its inductive nature: rocks lose their magnetic properties at high temperatures comparable with the Curie point.

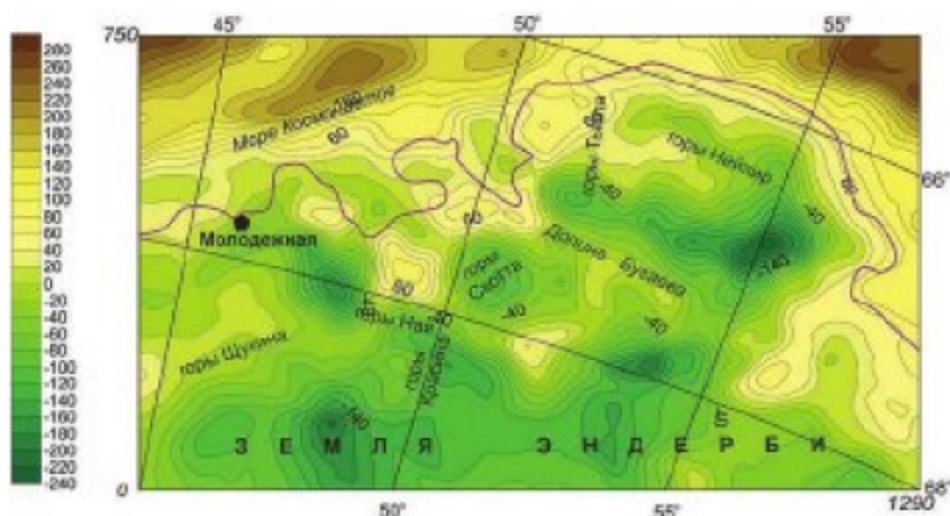


Рис. 3.2. Карта гравитационных аномалий в редукции Буге Земли Эндерби

Fig. 3.2. Map of the Enderby Land gravity anomalies in the Bouguer reduction

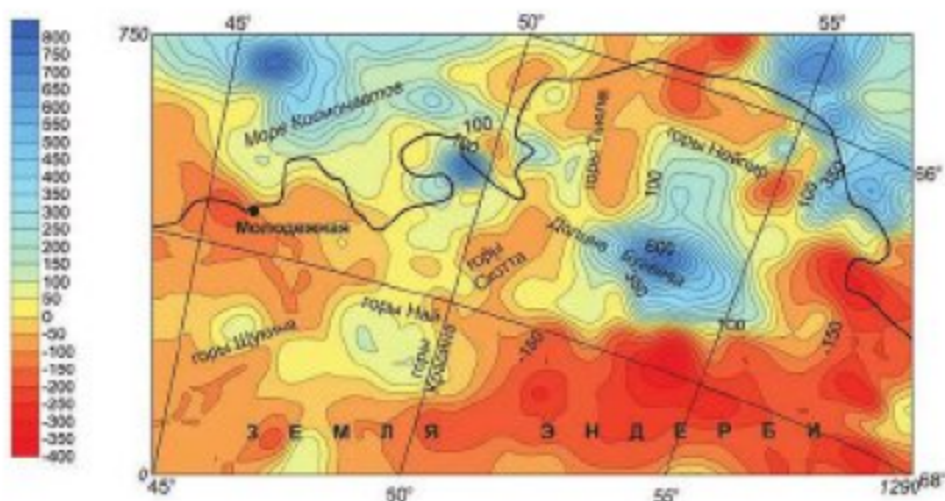


Рис. 3.3. Карта магнитных аномалий Земли Эндерби

Fig. 3.3. Map of magnetic anomalies of the Enderby Land

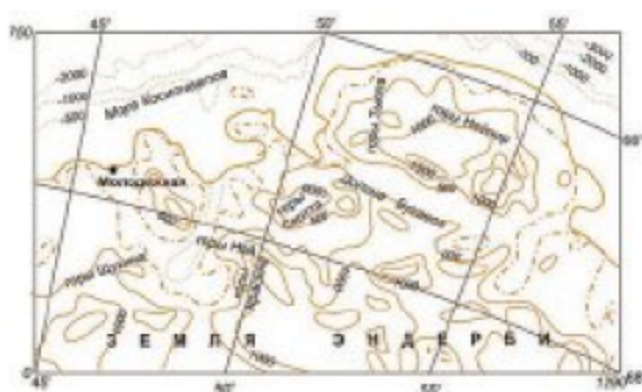


Рис. 3.4. Карта коренного рельефа местности Земли Эндерби

Fig. 3.4. Map of the bedrock topography of the Enderby Land



Рис. 3.5. Карта мощности земной коры Земли Эндерби

Fig. 3.5. Map of the Earth's crust thickness of the Enderby Land

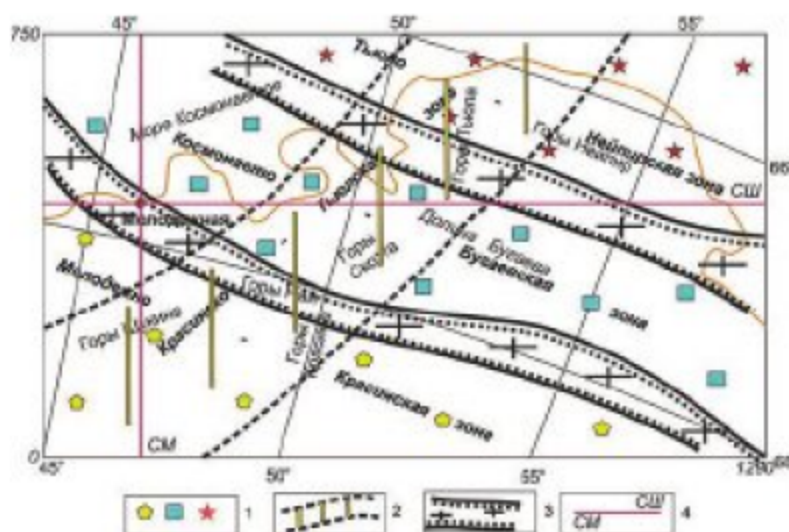


Рис. 3.6. Схема геофизического обеспечения тектонического районирования Земли Эндерби и ее акватории: 1, 2 – зоны однородности геофизических полей и рельефа земной поверхности: 1 – субширотные зоны различной генерации (Т-Н; К-Б; М-К); 2 – субмеридиональная зона (К-Т); 3 – зоны разломов; 4 – субмеридиональный (СМ, 750 поз. км) и субширотный (СШ, 1290 поз. км) профили физико-геологического моделирования

Fig. 3.6. Scheme of the geophysical data providing for the identification of the tectonic regions within the Enderby Land and its water area: 1, 2 – zones of uniform geophysical fields and surface topography: 1 – sublatitudinal zones of different generation (T-N, K-B, M-K); 2 – submeridional zone (K-T); 3 – fault zones; 4 – submeridional (750 linear kilometers) and sublatitudinal (1290 linear kilometers) profiles of physical-geological modeling

Картина однородности в геофизическом отношении всякого участка исследуемой территории оценивается по таким признакам поля, как характер морфологии, простирание и интенсивность аномалий. Границы между районами определяются по характеру разных полей: срезания одного поля другим, резким переходом одного типа форм поля в другой. Выделенные площади интерпретируются как блоки земной коры различной генерации. При районировании полей обращают внимание на зоны протяженных по площади высоких градиентов или цепочек локальных аномалий, что интерпретируется как зоны глубинных разломов в земной коре. Все эти характеристики хорошо формализуются и поэтому процесс районирования гравитационного и магнитного аномальных полей может выполняться с помощью компьютерных программ под визуальным контролем исследователя.

В целом территория Земли Эндерби и ее акватория по потенциальным полям и рельефу коренных пород может быть разбита на четыре крупные зоны однородности геофизических полей, площади и границы которых неплохо совпадают – это Молодежно-Красинская (М-К), Космонавтов-Бугаевская (К-Б), Тьюло-Нейпирская (Т-Н) дугообразные зоны, и секущая их в субмеридиональном направлении – Красинско-Тьюлскую (К-Т), см. рис. 3.6.

На рис. 3.7 и 3.8 представлены разрезы земной коры, полученные в результате физико-геологиче-

The geophysical inhomogeneity pattern of each site within the studied territory was estimated using such field properties as its morphology pattern and the extent and intensity of its anomalies. The boundaries between the regions are determined by the different patterns of various fields: cutting of one field by the other one, a sharp transition of one type field into the other one. The areas distinguished are interpreted as the Earth's crust blocks of different generation. When defining the field regions a special attention was paid to zones of extended high gradients or chains of local anomalies that are interpreted as deep fault zones in the Earth's crust. All the above features are well formalizable and, therefore, the identification of the gravity and magnetic anomalous fields can be made using computer programs under sight control of an investigator.

From the data of potential fields and the bedrock topography the whole territory of the Enderby Land and its adjacent water area can be subdivided into four large zones showing nonuniform geophysical fields, which areas and boundaries are well coincident: Molodezhnaya-Krasin (M-K), Kosmonavtov-Bugaev (K-B), Tyula-Napier (T-N) arcuate zones, and Krasin-Tyula (K-T) zone crossing them submeridionally (Fig. 3.6).

The Earth's crust sections presented in Figs. 3.7 and 3.8 are results of the physical and geological mod-

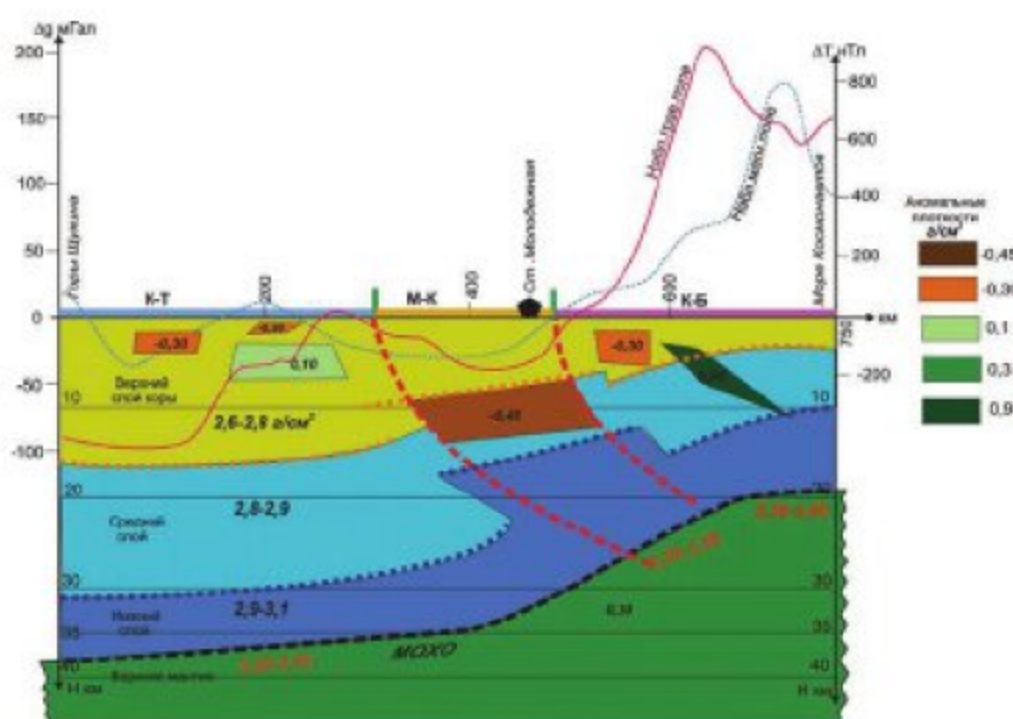


Рис. 3.7. Разрез литосферы Земли Эндерби по субмеридиональному профилю: К-Т – Красинско-Тюльская, М-К – Молодежно-Красинская, К-Б – Космонавто-Бугаевская зоны районирования

Fig. 3.7. Lithosphere section of the Enderby Land along the submeridional profile: (K-T) – Krasin-Tyula, (M-K) – Molodezhnaya-Krasin, (K-B) – Kosmonavtov-Bugayev zones

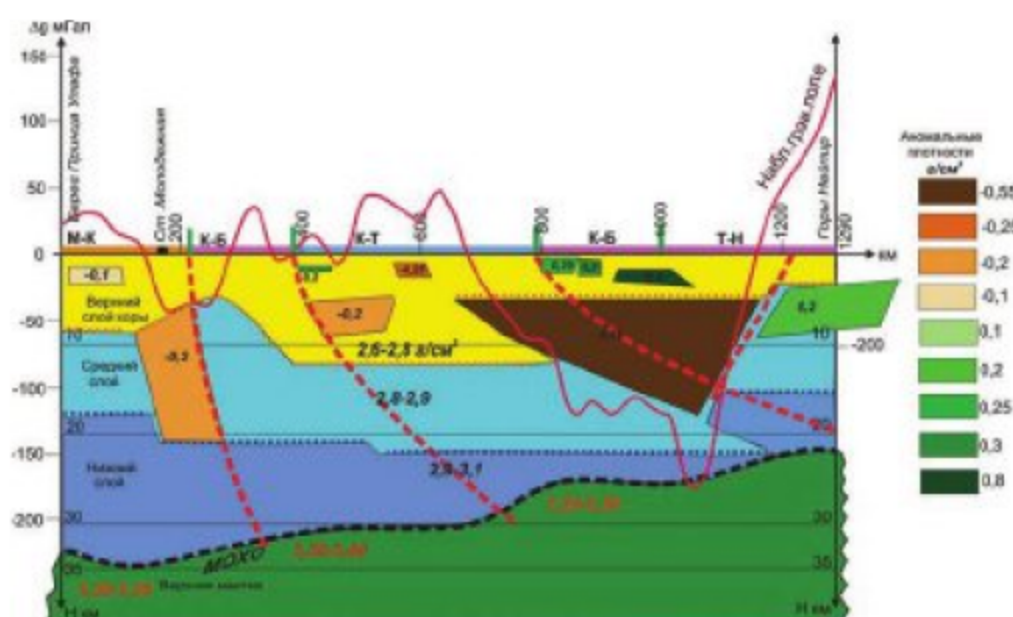


Рис. 3.8. Разрез литосферы Земли Эндерби по субширотному профилю: Т-Н – Тюло-Нейпирская зона районирования; остальные обозначения зон районирования как на рис. 3.7

Fig. 3.8. Lithosphere section of the Enderby Land along the sublatitudinal profile: (T-N) – Tyula-Napier zone; the other zone symbols see in Fig. 3.7

ского моделирования по комплексу геолого-геофизических данных (Каратаев, Голобоков, 2003; Каратаев и др., 2011).

Анализируя эти модели разреза литосферы, находим, что в верхней части земной коры имеются локальные физико-геологические образования с различной аномальной плотностью вплоть до $+0,9 \text{ г/см}^3$. Выявленные локальные структуры с относительно пониженной плотностью пород могут быть палеореликтами осадочных образований, возможно, перспективных на нефтегазовые месторождения.

В Космонавто-Бугаевской и Тьюло-Нейпирской зонах районирования на контакте верхнего («гранитного») и среднего («диоритового») слоев земной коры выявлены крупные тела с отрицательной аномальной плотностью до $-0,55 \text{ г/см}^3$. Красинско-Тюльская зона характеризуется отрицательными локальными телами в верхней коре. Четко прослеживается тенденция уменьшения мощности коры в субмеридиональном направлении – аномальность подкорового слоя характеризуется величиной $+0,3 \text{ г/см}^3$. Тем самым каждая зона однородности геофизических полей обладает своей специфической глубинной структурой, что дает основания характеризовать зоны однородности полей как блоки строения земной коры Земли Эндерби.

Дугообразная последовательность расположения субширотных Молодежно-Красинской, Космонавто-Бугаевской и Тьюло-Нейпирской зон наводит на мысль о существовании на северо-востоке Земли Эндерби некоего единого центра их формирования. Так, В. Е. Хаин отмечает, что расположенный в северной части Восточно-Антарктической платформы протяженный Вегенер-Моусонский гранулит-гнейсовый пояс, включающий Землю Эндерби, первоначально был связан с Восточно-Гатским поясом Индостана того же типа (Хаин, 2001). Связь Восточно-Гатского гранулит-гнейсового пояса в докембрии с Землей Эндерби показана также на схеме реконструкции палеоконтинента Гондвана (Smith, Hallam, 1970; Диц, Холден, 1974).

Базируясь на этих представлениях о том, что в докембрии Земля Эндерби Восточной Антарктиды и Восточно-Гатский докембрийский блок Индостана входили в состав единой геологической структуры, сопоставим модель литосферы по широтному профилю Земли Эндерби (см. рис. 3.8) с сейсмическим разрезом литосферы по профилю, секущему южную часть Индостана в широтном направлении (рис. 3.9).

Сопоставляя эти две модели разреза литосферы, находим, что глубинные разломы этих структур носят листрический характер и отражают классическую тектоническую «ванну» формирования крупнейшего палеорифта, борта которого ныне на юге образуют Землю Эндерби, а на севере – Восточно-Гатскую струк-

туру, исходящую из набора геологических и геофизических данных (Karataev, Golobokov, 2003; Karataev et al., 2011).

When analyzing these models of the lithosphere section one can see some local physical-geological formations of different anomalous density up to $+0.9 \text{ g/cm}^3$ in the upper part of the Earth's crust. The revealed local structures of a rather low rock density could be paleorelicts of sedimentary formations probably promising for oil and gas deposits.

Within the Kosmonavtov-Bugayev and Tyula-Napier zones large bodies of negative density down to -0.55 g/cm^3 were revealed at the contact of the upper («granitic») and middle («dioritic») crustal layers. The Tyula-Napier zone is characterized by the negative local bodies found in the upper crust. It is clearly defined that the crust thickness tends to decrease in submeridional direction: the subcrustal layer anomaly shows a value of $+0.3 \text{ g/cm}^3$. Therefore, each zone of uniform geophysical fields shows its specific depth structure, which is a reason to describe the uniform field zones as blocks building the Enderby Land crust.

An arcuate arrangement of sublatitudinal Molodezhnaya-Krasin, Kosmonavtov-Bugayev and Tyula-Napier zones suggests that some single nucleus of their formation exists in the northeast of the Enderby Land. V. Ye. Khain noted that the lengthy Wegener-Mawson granulite-gneissic belt including the Enderby Land, which is situated in the northern part of the East Antarctic Platform, had been initially connected with the same-type Eastern Ghats belt of Indian Supercontinent (Khain, 2001). The connection of the Eastern Ghats granulite-gneissic belt with the Enderby Land in the Precambrian was also shown in the Gondwanaland reconstruction diagram (Smith, Hallam, 1970; R. Dietz, J. Holden., 1974).

Proceeding from the idea that the Enderby Land of Eastern Antarctica and the Eastern Ghats Precambrian block of Hindustan were parts of a single geological structure in Precambrian time the authors compared the lithosphere model reconstructed along the latitudinal profile of the Enderby Land (see Fig. 3.8) with the seismic section of the lithosphere along the profile cutting the southern part of Hindustan in latitudinal direction (Fig. 3.9).

The correlation of the above lithosphere section models shows that deep faults of these structures are listric and represent a classical tectonic depression of the largest paleorift, which borders form at present the Enderby Land in the south and the Eastern Ghats structure in the north that in the Paleoproterozoic

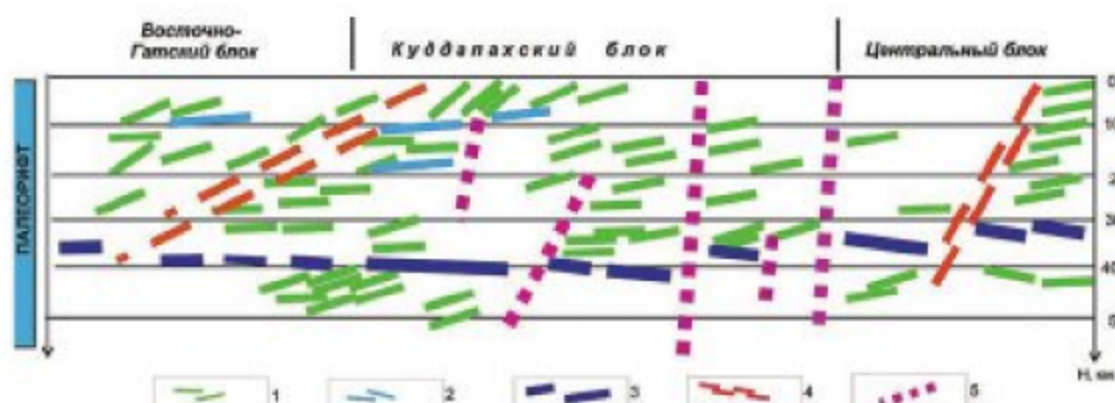


Рис. 3.9. Фрагмент профиля глубинного сейсмического зондирования через южные районы Индийского щита (Харченко, 1985): 1 – отражающие площадки; 2 – отражающие площадки, приуроченные к сейсмическому горизонту в верхней части коры; 3 – поверхность Мохо; 4 – пологие зоны нарушений; 5 – глубокие разломы

Fig. 3.9. Fragment of the DSS profile across the southern regions of the Indian Shield (according to G. Ye. Kharchenko): 1 – reflectors; 2 – reflectors confined to a seismic horizon in the upper crust; 3 – Moho discontinuity; 4 – gentle zones of dislocations; 5 – deep faults

туру, которые ранее в палеопротерозое составляли единое геологическое целое. Иначе говоря, мы видим практически зеркальное тектоническое отображение Земли Эндерби и Восточно-Гатского пояса на юго-востоке Индостана. Это свидетельствует о том, что формирование и развитие земной коры Земли Эндерби происходило одновременно по обобщенному сценарию с формированием и развитием земной коры юго-востока Индостана. Основываясь на материалах тектонических исследований Восточной Антарктиды, проведенных российскими геологами (Грикуров, Михальский, 2002; Михальский и др., 2006; Михальский, 2007; Хаин, 2001), и в целом следуя их представлениям о характере формирования фундамента Восточной Антарктиды, на рис. 3.10 представлен наш вариант Тектонической карты фундамента Земли Эндерби (Гарецкий и др., 2009, 2011; Каратаев, 2014).

На рис. 3.11 показаны типовые разрезы земной коры для каждого из выделенных на Тектонической карте блоков. Как уже упоминалось, согласно реконструкциям палеоконтинента Гондваны в архее будущие Индостанская и Восточно-Антарктическая платформы составляли единое целое и их кратонизация произошла в неоархее (3,0–2,7 млрд лет) с образованием крупного Гатско-Нейпирского протократона, явившегося палеоархейским ядром древнего магматизма основного-ультраосновного ряда, гранитизации и метаморфизма в гранулитовой фации (время стабилизации по Е. В. Михальскому – 2,8–2,5 млрд лет). Вокруг этого ядра древнейшей консолидации, развитие которого продолжалось в мезо- и неопротерозое, наращивалась континентальная кора.

formed a single geological unit. All the geological and geophysical data available show an almost mirror tectonic imaging of the Enderby Land and the Eastern Ghats belt in southeastern Hindustan. This evidently suggests that the formation and development of the Enderby Land crust and the crust evolution in the southeastern Hindustan were simultaneous processes that followed the general scenario. Using the results of the tectonic studies of Eastern Antarctica carried out by the Russian geologists (Grikurov, Mikhalsky, 2002; Mikhalsky et al., 2006; Mikhalsky, 2007; Khain, 2001) and following, in general, their ideas about the pattern of the basement evolution in Eastern Antarctica, the authors have compiled their own version of the Tectonic Map of the Enderby Land basement, which is shown in Fig. 3.10 (Garetsky et al., 2009, 2011; Karatayev, 2014).

The geological and geophysical data describing the deep structure of the Enderby Land crust, as well as the Earth's crust structure types recognized from its geophysical studies (Karatayev, Pashkevich, 1986; Pashkevich et al., 1987) were used to present the type sections of the crust for each of the blocks shown in the Tectonic Map (Fig. 3.11). As it was mentioned above in Archean time the future Indian and Eastern Antarctic Platforms formed a single whole and their cratonization took place in the Neoproterozoic (3.0–2.7 Ga ago) with the formation of a large Ghats-Napier procraton, which became a Paleoproterozoic center of old magmatism of the mafic-ultramafic series, granitization and granulite-facies metamorphism (according to Ye. V. Mikhalsky, stabilization took place 2.8–2.5 Ga ago). The continental crust grew up accretionary around this old consolidation nucleus which evolution continued in the Meso- and Neoproterozoic.

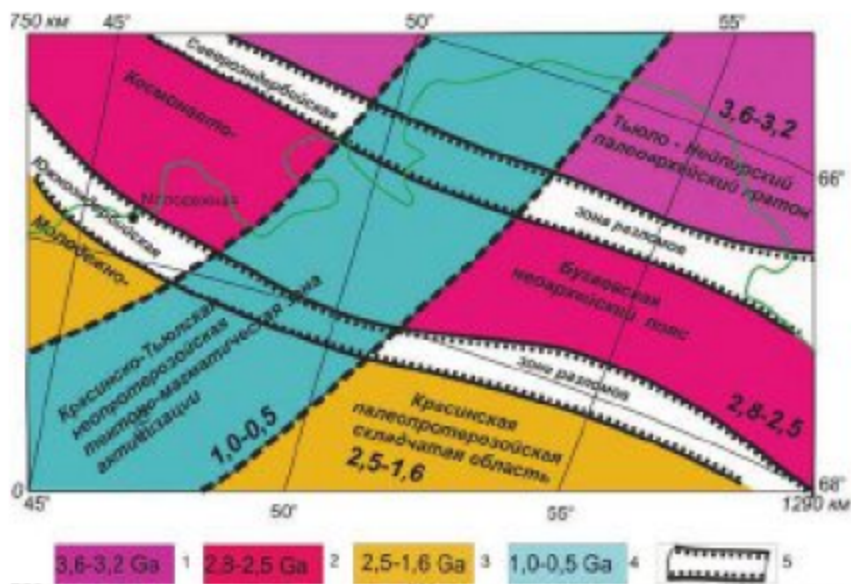


Рис. 3.10. Тектоническая карта Земли Эндерби и ее акватории, составленная Р. Г. Гарецким, Г. И. Каратаевым, И. В. Данкевичем: 1 – палеоархейские; 2 – неоархейские; 3 – палеопротерозойские; 4 – неопротерозойские структуры; 5 – глубинные разломы; 6 – рельеф поверхности фундамента

Fig. 3.10. Tectonic map of the Enderby Land and its water area (compiled by R. G. Garetsky, G. I. Karatayev, I. V. Dankevich). Structures: 1 – Paleoarchean; 2 – Neoproterozoic; 3 – Paleoproterozoic; 4 – Neoproterozoic; 5 – deep faults; 6 – basement surface relief

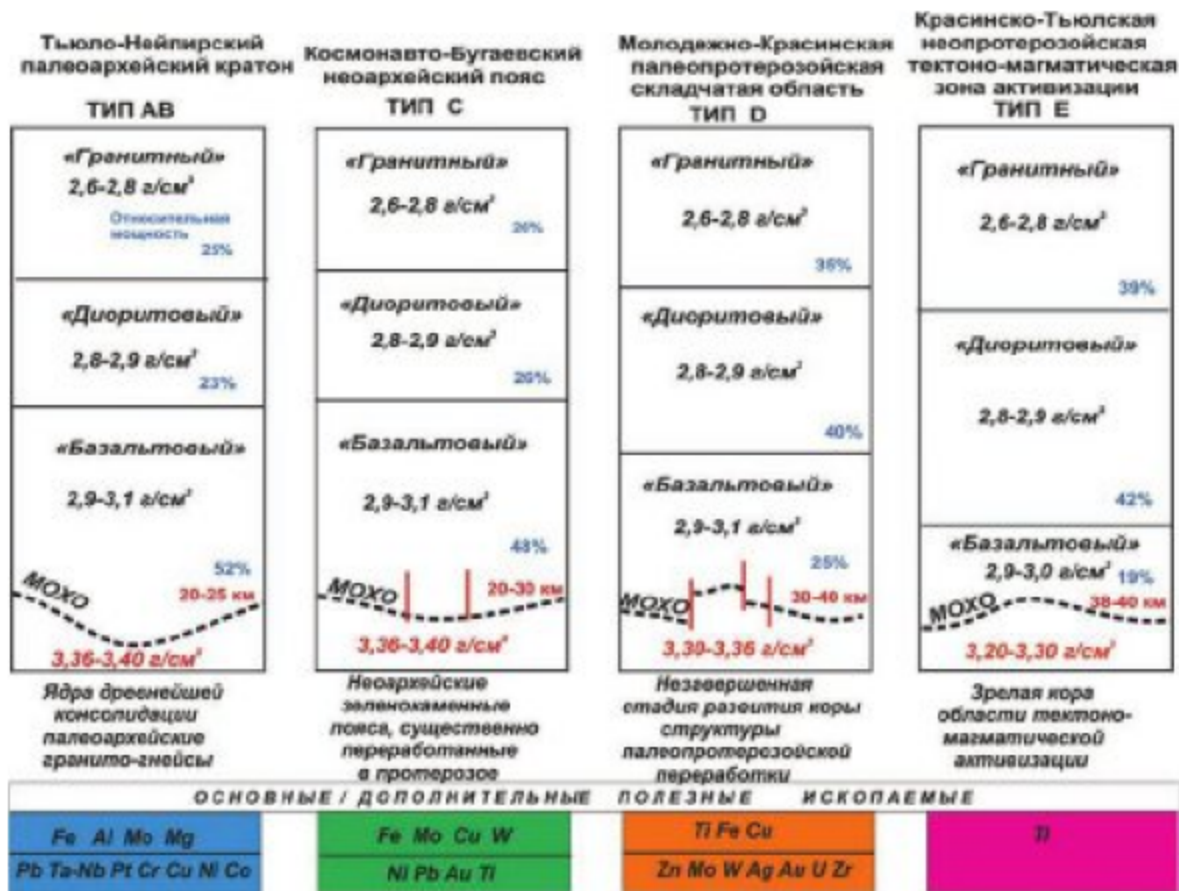


Рис. 3.11. Глубинное строение земной коры основных тектонических элементов Земли Эндерби и присущие им полезные ископаемые

Fig. 3.11. Deep structure of the Earth's crust of the main tectonic elements of the Enderby Land and their specific minerals

В позднем протерозое (точнее, во время неопротерозойско-раннепалеозойской активизации), характерном формированием подвижных поясов, возник Индо-Антарктический субширотный вулканоплутонический пояс рифтогенного происхождения, разделивший Гатско-Нейпирский гранито-гнейсовый кратон на две части: Восточно-Гатскую в Индостане и Тьюло-Нейпирскую в Восточной Антарктиде. В последующем этот пояс, в силу активных горизонтальных движений перерос в спрединг, в конечном итоге разорвавший Антарктический и Индийский континенты. Реликты этого спрединга сегодня видны в виде сейсмического пояса вокруг Антарктиды (Атлас., 2005).

Именно с процессом раздвижения Индостанского и Восточно-Антарктического микроконтинентов относительно линии спрединга по соответствующим трансформным разломам в районе Земли Эндерби и образовался 0,7–0,55 млрд лет назад Красинско-Тьюлский пояс тектономагматической активизации, секущий на Земле Эндерби все три субширотные дугообразные структуры (рис. 3.12, 3.13).

In the Late-Proterozoic (more exactly during the Neoproterozoic-Early Paleozoic activation) which is peculiar in the formation of mobile belts, the Indo-Antarctic sublatitudinal volcanic-plutonic belt of rift origin appeared and separated the Ghats-Napier granite-gneissic craton into two parts: the Eastern Ghats part in Hindustan and the Tyula-Napier one in Eastern Antarctica. Then this belt developed into a spreading zone due active horizontal movements and consequently broke the Antarctic and Indian continents. This spreading relicts are now observed as a seismic belt around Antarctica (Atlas., 2005).

The Krasin-Tyula belt of tectonic-magmatic activation, which crosses all three sublatitudinal arcuate structures in the Enderby Land (Figs. 3.12 and 3.13), developed 0.7–0.55 Ga ago just in the process of the Hindustan and East Antarctica microcontinents moving apart relative to the spreading line along the corresponding transform faults in the region of the Enderby Land.

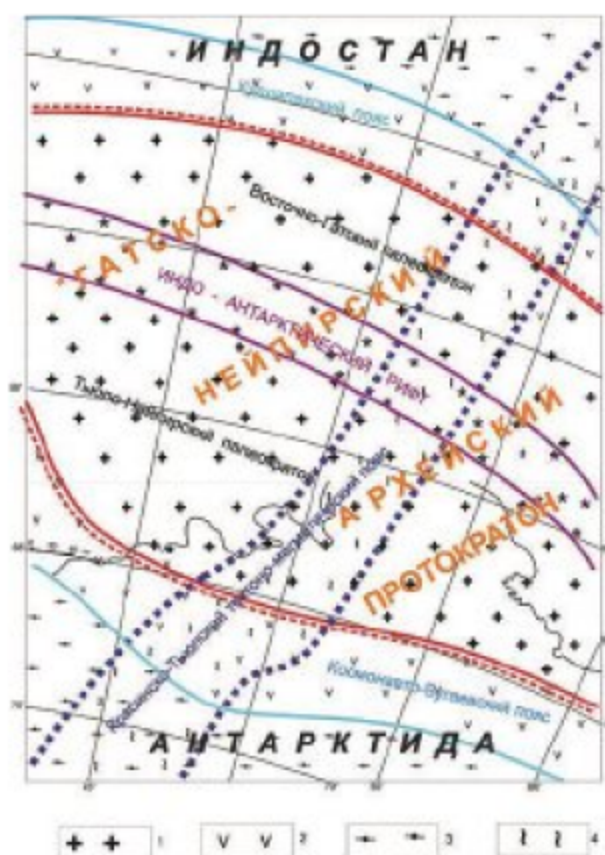


Рис. 3.12. Макет пространственной модели формирования земной коры Индостано-Восточно-Антарктического континента: 1 – архейский протократон; 2 – палеопротерозойская складчатость; 3 – мезопротерозойская складчатость; 4 – неопротерозойская складчатость

Fig. 3.12. Spatial model of formation of the Earth's crust of the Hindustan – East Antarctic continent: 1 – Archen protocraton; 2 – Paleoproterozoic folding; 3 – Mesoproterozoic folding; 4 – Neoproterozoic folding

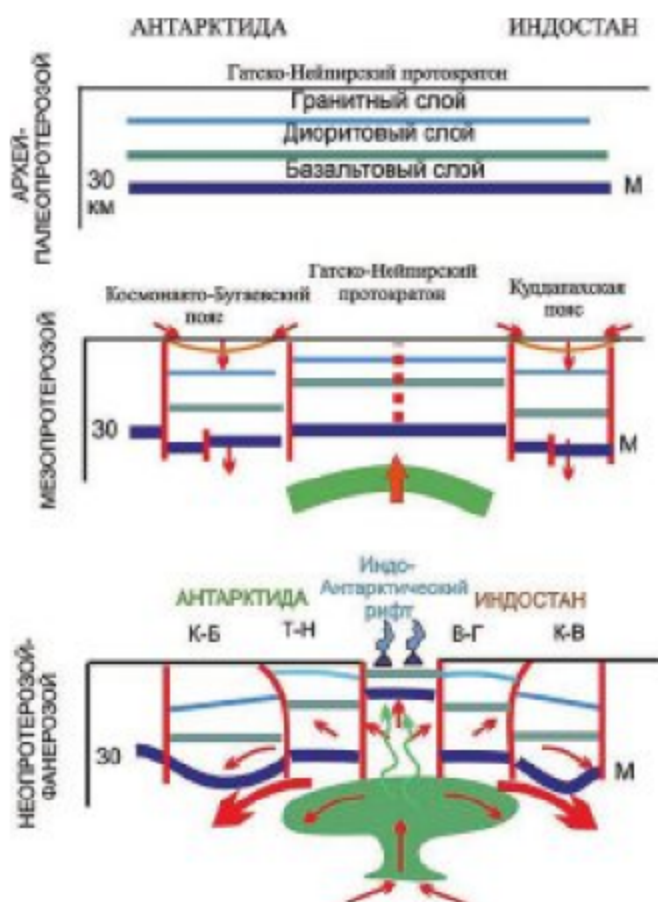


Рис. 3.13. Макет разреза литосферы геодинамической модели формирования земной коры Индостано-Восточно-Антарктического континента вдоль меридиана 52°: К-Б – Космонавто-Бугаевский пояс; Т-Н – Тьюло-Нейпирский кратон; В-Г – Восточно-Гатский кратон; К-В – Куддапахская впадина

Fig. 3.13. Lithosphere section of the geodynamic model of the Hindustan – East Antarctica continental crust formation along the meridian 52°: K-B – Kosmonavtov-Bugayev belt; T-N – Tyula-Napier craton; E-G – Eastern Ghats craton; K-T – Kuddapakh trough

Согласно изложенной концепции тектонические события на территории Земли Эндерби развивались в следующей последовательности. Вдоль северо-восточной окраины Антарктического материка расположен Тьюло-Нейпирский палеоархейский кратон – древнейшее ядро консолидации, сформировавшееся в раннем архее на рубеже 3,9–3,4 млрд лет. Оно сложено чарнокито-эндербитовыми (гранулитогнейсовыми) комплексами, существенно переработанными в протерозое. Южное обрамление Тьюло-Нейпирского кратона представляет Космонавто-Бугаевская неоархейская структура, сложенная метаморфическими породами гранулитовой фации Рейнерского комплекса. Эти две структуры разделяет субширотная линейная Североэндербийская зона глубинных разломов, возможно, характеризующих область ран-

The concept presented above suggests the following succession of tectonic events in the territory of the Enderby Land. The Tyula-Napier Paleoproterozoic craton situated along the northeastern continental borderland of Antarctica is the oldest consolidation nucleus formed in the Early Archean 3.9–3.4 Ga ago. This is built by the charnockite-enderbite (granulite-gneissic) complexes essentially reworked in the Proterozoic. The southern border of the Tyula-Napier craton is the Kosmonavtov-Bugayev Neoproterozoic structure composed of the granulite facies metamorphic rocks of the Rayner complex. These two structures are separated by a sublatitudinal linear North-Enderby zone of deep faults, that are, probably, peculiar to the area of the Early-Riphean overthrust of the Tyula-Napier structure in the process of the separation of the Hin-

нерифейского надвига Тьюло-Нейпирской структуры в процессе раздвижения Индостанской и Восточно-Антарктической платформ (по аналогии с надвигом Восточных Гат на Куддапахскую впадину). На юге региона в палеопротерозое сформировалась Молодежно-Красинская структура, активно развивавшаяся в раннем палеозое. Ее от Космонавто-Бугаевской структуры отделяет крупный пояс Южноэндербийских глубинных разломов. Выделенные на карте два субширотных пояса глубинных разломов, судя по материалам физико-геологического моделирования разреза литосферы, являются листрическими разломами, контролирующими процесс отделения Восточно-Антарктической платформы от Индостана.

Все три субширотные структуры во время неопротерозойской активизации, под влиянием процесса формирования спрединга между Восточно-Антарктической и Индостанской платформами были расколоты трансформными разломами, между которыми 0,7 млрд лет назад сформировалась Красинско-Тьюльская неопротерозойская (возможно, раннепалеозойская) тектоно-магматическая структура.

С геофизической точки зрения важно заметить, что, как и на Африканской докембрийской платформе, выделенные на Земле Эндерби субширотные структуры характеризуются существенно отрицательными аномалиями силы тяжести, отвечающими областям преимущественного развития коры с «нормальным» гранито-метаморфическим слоем с уникальной металлогенической специализацией (Долгинов, Натаров, 1988).

Прогнозное районирование Земли Эндерби по видам полезных ископаемых выполнено на основе концепции, связывающей природу формирования и размещения полезных ископаемых с различными типами тектонических структур. Для Земли Эндерби базой для оценки минерально-сырьевого потенциала являются главным образом геофизические поля и редкие прямые геологические наблюдения в основном вдоль береговой зоны, как правило, открытой ото льда.

Суть этой концепции состоит в извлечении из геофизических полей информации о разнородности глубинного строения литосферы (типизация), о вещественном составе фундамента, об особенностях тектонического строения и сопоставлении этой информации с теми геологическими структурами, которые являются носителями полезных ископаемых – шовные зоны, зоны тектоно-магматической активизации, разломы, с установлением соответствующих прогнозных критериев (Билибина и др., 1984; Чупров, 1984; Щеглов и др., 1994).

Исходя из предлагаемой концепции для районирования территории Земли Эндерби по видам полезных ископаемых использован комплект геоло-

dustan and Antarctic Platforms (by analogy with the Eastern Gats thrust over the Kuddapakh Trough). The Molodezhnaya-Krasin structure formed in the south of the region in the Palaeoproterozoic and was actively developed in the Early Paleozoic. It is separated from the Kosmonavtov-Bugayev structure by a large belt of South-Enderby deep faults. Judging from the data of physical and geological modeling of the lithosphere section, two mapped sublatitudinal belts of deep faults are listric faults that controlled over the East Antarctic Platform separation from Hindustan.

All three sublatitudinal structures were broken by transform faults during the Neoproterozoic activation under the influence of spreading developed between the East Antarctic and Hindustan Platforms. The Neoproterozoic (possibly, Early Paleozoic) Krasin-Tyula tectono-magmatic structure formed between these transform faults 0.7 Ga ago.

It is important to note that, like in the African Precambrian Platform, the sublatitudinal structures distinguished in the Enderby Land are characterized by essentially negative gravity anomalies that correspond to areas, where the predominantly developed crust has a «normal» granite-metamorphic layer showing unique metallogenic properties (Dolginov, Natarov, 1988).

The forecast division of the Enderby Land into regions by their characteristic minerals was made using a concept relating the mineral formation and distribution pattern with different types of tectonic structures. The data used to assess the mineral resources of the Enderby Land are mainly the geophysical fields and occasional direct geological observations mostly along the ice-free shore line.

A concept consists in deriving an information on the deep lithosphere structure heterogeneity (typification), the basement material composition and the tectonic peculiarities from the geophysical field data and the correlation of this information with those geological features that are considered to be mineral-bearing structures, such as sutures, zones of tectono-magmatic activation, faults with the development of the corresponding forecast criteria (Bilibina et al., 1984; Chuprov, 1984; Scheglov et al., 1994).

In the framework of this concept of geological forecasting developed to divide the Enderby Land territory into regions by their characteristic minerals

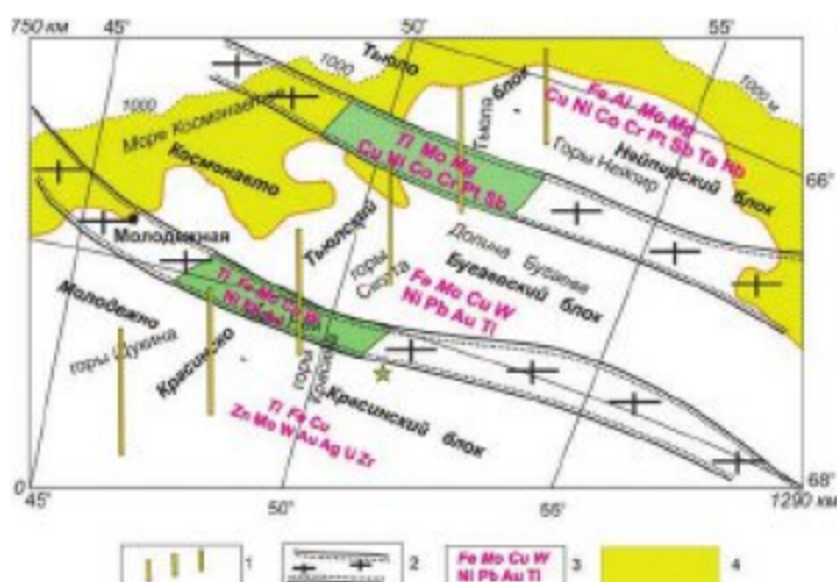


Рис. 3.14. Вариант прогнозного размещения полезных ископаемых основных блоков земной коры Земли Эндерби: 1 – Красинско-Тьюлская зона тектоно-магматической активизации; 2 – зоны глубинных разломов; 3 – виды полезных ископаемых: курсивом – основных, прямым шрифтом – дополнительных, согласно закономерности, показанной на рис. 3.12; 4 – область прогноза нефтегазоносности

Fig. 3.14. Version of the forecast mineral distribution in the main crustal blocks of the Enderby Land: 1 – Krasin-Tyula tectono-magmatic activation zone; 2 – deep fault zones; 3 – minerals: primary – in italics, auxiliary – in roman types in accordance with the pattern shown in Fig. 3.12; 4 – areas of promising oil and gas occurrence

го-геофизических и петрофизических карт, включая данные о геофизических типах земной коры основных тектонических элементов, геологическую карту Вечернегорской площади, геологическую карту Земли Эндерби, составленную российскими геологами (Лейченков, 2003).

Следует отметить, что первые материалы по прогнозу возможных полезных ископаемых в районе базирования Белорусских антарктических экспедиций были сделаны О. В. Мясниковым для Вечернегорской площади (см. рис. 3.1). Им указывалось, что проявление металлических полезных ископаемых, выявленных на этой площади относится к магматическому и метаморфогенному (скарноидному) типу (серии). С этими типами связаны железо-титановые рудопроявления. Так, на горе Вечерняя на контакте нео- и мезопротерозойских гранитоидов зафиксировано рудное тело мощностью до одного метра и до 100 м по простиранию. Для железо-титановых руд метаморфогенной серии рудовмещающей является архейская биотит-двопироксено-гнейсовая формация. Есть подобные рудопроявления и на других участках этой площади.

Для уточнения и дополнения российской прогнозной карты нами, на основании вышеизложенной концепции и комплексного анализа указанных геолого-геофизических данных, были составлены несколь-

the authors used a set of geological, geophysical and petrophysical maps, including data of the crust geophysical types of the main tectonic elements, the geological map of the Mount Vechernyaya area, the geological map of the Enderby Land compiled by the Russian geologists (Leychenkov et al., 2003).

It should be noted that the first materials for forecasting the potential minerals in the region of location of the Belarusian Antarctic expedition were presented by O. V. Myasnikov for the Mount Vechernyaya area (see Fig. 3.1). He noted that metalliferous minerals revealed within this area belong to the igneous and metamorphogenic (skarnoid) type or series. Titaniferous iron ores are associated with this mineral type. An ore body up to 1 m in thickness and 100 m in extent was recorded at the contact of Neo- and Mesoproterozoic granitoids at the Mount Vechernyaya. The Archean biotite-two-pyroxenic-gneiss formation encloses titaniferous iron ores of metamorphic series. Similar ore shows are also found in the other sites of this area.

To refine and supplement the Russian forecast map the authors using the above concept and a complex analysis of geological and geophysical data have compiled some versions of forecast maps based

ко вариантов прогнозных карт на основе закономерных связей геолого-геофизических типов земной коры, петроплотностных и петромагнитных характеристик пород с распределением полезных ископаемых. На рис. 3.14 представлен один из возможных вариантов прогнозных геологических решений.

on regular patterns of the geological and geophysical types of the Earth's crust, petrologic rock density and magnetic properties with the mineral distribution. One of the versions of possible geological forecast solutions is presented in Fig. 3.14.



Литература References

1. Атлас Океанов. Антарктика / Гл. управление навигации и океанографии М-ва обороны Рос. Федерации, Гос. науч. центр Рос. Федерации, Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт. – СПб., 2005. – 20 с.
2. Билибина, Т. В. Основные типы рудоносных структур докембрия / Т. В. Билибина, В. И. Казанский, Н. П. Лаверов // Металлогения раннего докембрия СССР. – Л.: Наука, 1984. – С. 15–29.
3. Гарецкий, Р. Г. Глубинное строение и тектоника Земли Эндерби (Восточная Антарктида) / Р. Г. Гарецкий, Г. И. Каратаев // Мониторинг состояния природной среды Антарктики и обеспечение деятельности национальных экспедиций: материалы 1-й Междунар. науч.-практ. конф. (к. п. Нарочь, Беларусь, 26–29 мая 2014 г.). – Минск: Экоперспектива, 2014. – С. 41–46.
4. Тектоническое районирование фундамента Земли Эндерби (Восточная Антарктида) / Р. Г. Гарецкий [и др.] // Современное состояние наук о Земле: материалы Междунар. конф., посвящ. памяти В. Е. Хаина. – М.: Изд-во МГУ, 2011. – С. 824–829.
5. Геолого-геофизические исследования в районе Белорусской антарктической станции: планы и первые результаты / Р. Г. Гарецкий [и др.] // Материалы XLII Тектонического совещания «Геология полярных областей Земли». – М.: ГЕОС, 2009. – Т. 1. – С. 119–124.
6. Грикуров, Г. Э. Некоторые черты тектонического строения и эволюции Восточной Антарктиды в свете представлений о суперконтинентах / Г. Э. Грикуров, Е. В. Михальский // Рос. журн. наук о Земле. – 2002. – Т. 4, № 4. – С. 247–257.
7. Диц, Р. Распад Пангеи / Р. Диц, Дж. Холден // Новая глобальная тектоника. – М.: Мир, 1974. – С. 315–329.
8. Долгинов, Е. А. Типы региональных гравитационных аномалий Африки / Е. А. Долгинов, А. Г. Натаров // Обзор ВИЭМС. – М.: Наука, 1988. – 53 с.
9. Каратаев, Г. И. Результаты геолого-геофизических исследований в Антарктиде / Г. И. Каратаев // Наука – инновационному развитию общества: материалы 20-й Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 23 янв. 2014 г.). – Минск: Беларуская навука, 2014. – С. 283–291.
10. Каратаев, Г. И. Методика построения физико-геологического разреза по комплексу геофизических полей / Г. И. Каратаев, С. В. Голобоков // Литасфера. – 2003. – № 2 (19). – С. 74–84.
11. Каратаев, Г. И. Физико-геологические модели земной коры Земли Эндерби (Восточная Антарктида) / Г. И. Каратаев, Т. В. Венцелидес, С. В. Голобоков // Современное состояние наук о Земле: материалы Междунар. конф., посвящ. памяти В. Е. Хаина. – М.: Изд-во МГУ, 2011. – С. 830–834.
12. Каратаев, Г. И. Глубинное строение земной коры Земли Эндерби (Восточная Антарктида) / Г. И. Каратаев, С. В. Голобоков, Т. В. Венцелидес // Актуальные проблемы геологии и поисков месторождений полезных ископаемых: материалы V Университет. геол. чтений (Минск, 8–9 апр. 2011 г.). – Минск, 2011. – С. 14–17.
13. Каратаев, Г. И. Рекогносцировочные геофизические исследования Белорусской антарктической экспедиции 2008/2009 года / Г. И. Каратаев, О. В. Мясников // Литосфера. – 2010. – № 1 (32). – С. 111–115.
14. Каратаев, Г. И. Геолого-математический анализ комплекса геофизических полей / Г. И. Каратаев, И. К. Пашкевич. – Киев, 1986. – 186 с.
15. Лейченко, Г. Л. Строение и природа земной коры южной части моря Уэдделла (Антарктика) по данным глубинных сейсмических зондирований / Г. Л. Лейченко, Г. А. Кудрявцев, В. А. Поселов // Исследования литосферы в работах петербургских геофизиков (развитие идей академика Г. А. Гамбурцева) / Н. А. Караев (ред.) [и др.]. – СПб., 2003. – С. 80–87.
16. Лейченко, Г. Л. Строение и история развития земной коры осадочного бассейна моря Дейвиса, Восточная Антарктика / Г. Л. Лейченко, Ю. Б. Гусева // Научные результаты геолого-геофизических исследований в Антарктике / под ред. Г. Л. Лейченко, А. А. Лайбы. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2006. – Вып. 1. – С. 101–115.
17. Михальский, Е. В. Чарнокиты Восточной Антарктиды и их геологическая типизация / Е. В. Михальский, Дж. Шератон, Н. В. Владыкин // Докл. НАН Беларуси. – 2006. – Т. 408, № 4. – С. 523–527.
18. Михальский, Е. В. Тектоника Антарктиды во взглядах Российских исследователей / Е. В. Михальский // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. – 2007. – Т. 82, вып. 5. – С. 56–63.

19. Мясников, О. В. Геология и петрография участка гора Вечерняя (холмы Тала) / О. В. Мясников // Научные результаты российских геолого-геофизических исследований в Антарктике. – 2011. – Вып. 3. – С. 37–59.
20. Корреляционные методы комплексирования геофизических полей при типизации земной коры / И. К. Пашкевич [и др.] // Изучение литосферы геофизическими методами (электромагнитные методы, геотермия, комплексная интерпретация): сб. науч. тр. – Киев: Наук. думка, 1987. – С. 146–164.
21. Хаин, В. Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000) / В. Е. Хаин. – М.: Научный мир, 2001. – 606 с.
22. Харченко, Г. Е. Глубинное строение земной коры Индийского щита / Г. Е. Харченко. – Киев: Наук. думка, 1985.
23. Чупров, В. В. Шовные долгоживущие глубинные зоны как главные рудоносные структуры докембрия / В. В. Чупров // Металлогения раннего докембрия СССР. – Л.: Недра, 1984. – С. 46–57.
24. Щеглов, А. Д. Современные проблемы металлогении докембрия / А. Д. Щеглов, Т. В. Билибина, В. М. Терентьев // Региональная геология и металлогения. – 1994. – № 3. – С. 7–26.
25. Grew, E. S. Precambrian basement at Molodezhnaya Station, East Antarctica / E. S. Grew // Geological Society of America Bull. – 1978. – Vol. 89. – P. 801–813.
26. Grew, E. S. Geochronologic studies in east Antarctica: ages of rocks at Reinbolt Hills and Molodezhnaya Station / E. S. Grew, W. I. Manton // Antarctic Journal of the United States. – 1981. – Vol. 16, № 5. – P. 5–7.
27. Smith, A. The rift of the southern continents / A. Smith, A. Hallam // Nature. – 1970. – Vol. 225. – P. 139–144.





ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЛОРУССКИХ БИОЛОГОВ

RESEARCH WORKS CONDUCTED IN THE ANTARCTIC BY BELARUSIAN BIOLOGISTS

Биологические исследования в Антарктике белорусскими специалистами были начаты еще в период 16-й Советской антарктической экспедиции в 1970–1972 гг. (Гигиняк Ю. Г.).

Спектр исследований был чрезвычайно широким, начиная от изучения сезонных изменений прибрежных биоценозов моря Дейвиса (Восточная Антарктида), интенсивности дыхания морских гидробионтов и заканчивая определением первичной продукции в морских и пресноводных экосистемах (рис. 4.1).

В последнее время проведена определенная диверсификация научных исследований. Наряду с классическими направлениями, ориентированными на изучение регионального биологического разнообразия, разворачиваются работы, целью которых

Biological research works in the Antarctic conducted by Belarusian specialists were started during the 16th Soviet Antarctic Expedition of 1970–1972 (Giginyak Y. G.).

The research spectrum was very broad, ranging from the study of the seasonal changes in coastal biocenoses Davis Sea (East Antarctic), the intensity of marine aquatic breathing and ending with the definition of primary production in marine and freshwater ecosystems (Fig. 4.1).

In the last period, a certain diversification of research took place. Along with traditional directions of research works, focused on the study of regional biodiversity, the operations are unfolding the purpose of which is to establish the causes and patterns



Рис. 4.1. Подводные работы в море Дейвиса (район станции «Мирный») (Гигиняк Ю. Г.)

Fig. 4.1. Underwater works in the Davis Sea (region of the station «Mirny») (Giginyak Y. G.)



Рис. 4.2. Район биологических исследований в районе российской станции «Прогресс»

Fig. 4.2. The area of biological researches in the region of the Russian station «Progress»

является установление причин и закономерностей функционирования всей антарктической биоты в регионе исследований.

Целенаправленные исследования биологического разнообразия Антарктики начаты белорусскими специалистами в 2007 г. в период 1-й БАЭ. Сбор материала и наблюдения проводились преимущественно в регионе расположения полевой базы «Гора Вечерняя», восточная часть оазиса «Молодежный» (Земля Эндерби, холмы Тала).

Кроме того, исследования биологического профиля проводились белорусскими специалистами еще на 7 российских станциях и полевых базах (станции «Мирный», «Прогресс» (рис. 4.2), «Новолазаревская», «Беллинсгаузен», «Восток», полевые базы «Молодежная», «Дружная 4»), а также на китайской и индийской станциях.

Изучение антарктических сообществ невозможно без использования специализированных современных методов исследований, таких как молекулярно-генетические, а также комплексных, объединяющих методический аппарат смежных естественнонаучных дисциплин. С этой целью происходит привлечение специалистов узкого профиля, обладающих необхо-

of functioning of the Antarctic biota in the research area.

The purpose-oriented studies of Antarctic biodiversity by Belarusian specialists started in 2007 in the period of the 1st BAE. The collection of materials and observations was carried out mainly in the location of the region field base «Mount Vechernyaya», the eastern part of the oasis «Molodezhny» (Enderby Land, Thala Hills).

Moreover, the studies of biological profile were carried out by Belarusian specialists at 7 Russian stations and field bases (stations «Mirny», «Progress» (fig. 4.2), «Novolazarevskaya», «Bellingshausen», «Vostok», field bases «Molodezhnaya», «Druzhnaya 4»), as well as Chinese and Indian stations.

The study of the Antarctic communities is impossible without the use of specialized modern research methods such as molecular genetics, as well as complex, combining methodological apparatus of related scientific disciplines. For this purpose there is the involvement of specialists of the narrow profile with the necessary instrumentation and methodological base -

димой приборной и методической базой – физиков, химиков, геологов, генетиков, лимнологов, почвоведов, метеорологов, климатологов.

В настоящее время существенно расширен спектр собственно биологических направлений, вовлеченных в данный процесс. В частности, в ходе последних белорусских антарктических экспедиций одним из ключевых векторов были микробиологические исследования. Начато формирование коллекции чистых культур микроорганизмов и к настоящему времени из различных биотопов выделено более 350 штаммов бактерий. Из образцов антарктического грунта выделены бактерии – деструкторы нефти рода *Deinococcus* (штамм A2-6). Начато изучение эндолитных сообществ, комплексов микроартропод, свободноживущих низших червей и протистов. Показаны прямые корреляционные связи между интенсивностью ультрафиолетового излучения и плотностью зоо- и бактериопланктона. Это новое направление антарктических исследований.

Осуществлен отбор проб от представителей разных таксонов для последующего проведения генетических исследований и создания генетического банка. Начаты исследования биохимических свойств, выделяемых из темноокрашенных антарктических водорослей и лишайников меланиновых комплексов. Продолжается наполнение банков данных по биологическому разнообразию и биоресурсному потенциалу исследуемой биоты окрестностей горы Вечерняя.

Инициировано исследование озерной седиментации (рис. 4.3). В частности, осуществляется накопление данных по видовому составу и структуре водорослево-бактериальных матов, покрывающих дно крупных озер, а также составу более глубинных осадков. Следует также отметить, что из озера Нижнее, расположенного в районе полевой базы «Гора Вечерняя», взята серия кернов донных отложений (максимальный размер 1,75 м).

Согласно предварительным исследованиям возраст фрагмента керна на отрезке 40–45 см от поверхности составляет около 5 тыс. лет. Ожидается, что детальный споровой и химический анализ в совокупности с определением абсолютного возраста различных слоев керна позволит получить дополнительную информацию. Это необходимо для реконструкции палеоклиматических процессов и установления основных путей и направлений генезиса биоты в регионе исследований.

Осуществляется накопление коллекционного материала. В Гербарии Института экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, имеющем статус Национального достояния, создан специальный раздел по антарктическим лишайникам и мхам.

В настоящее время исследования выполняются в рамках следующих научных направлений.

physicists, chemists, geologists, geneticists, limnology, soil scientists, meteorologists and climatologists.

Recently the spectrum of the actual biological areas involved in this process significantly expanded. In particular, during the last of the Belarusian Antarctic expeditions one of the key vectors of this study was microbiological. The formation of a collection of pure cultures of microorganisms was started and so far by today from various habitats more than 350 stocks of bacteria were detached. From Antarctic soil samples of bacteria oil-destructors were detached of the species *Deinococcus* (stock A2-6). The studying of endolith communities microarthropoda complexes, the freely living lower worms and protists was started. The direct correlation between the intensity of ultraviolet radiation and the density of zooplankton and bacterial plankton were shown. This is a new direction of the Antarctic research works.

The sampling from the representatives of different taxons for future genetic research and the establishment of a genetic bank was implemented. The research of biochemical properties extracted from Antarctic dark-colored algae and lichens melanin complexes was begun. The filling of databases on biodiversity and bio-resource potential investigated biota surrounding Mount Vechernyaya is continuing.

A study of lake sediment was initiated (Fig. 4.3). In particular, the accumulation of data is carried out on the species composition and structure of the algal-bacterial mats covering the bottom of large lakes, as well as the composition of the deeper sediments. It should also be noted that of the Nizhnyeye Lake, located in the area of field base «Mount Vechernyaya», a series of sediment samples was taken (maximum 1.75 m).

According to preliminary studies, the age of the core fragment of the segment 40–45 cm from the surface is about 5000 years old. It is expected that a detailed chemical analysis of the spore, and, in conjunction with the determination of the absolute age of the various layers of the core, will provide additional information. It is necessary to reconstruct paleoclimatic processes, and the establishment of the main ways and directions of the genesis of the biota in the research area.

The accumulation of the collection material is being implemented. In the herbarium of the Institute of Experimental Botany, having the status of a national treasure, a special section on Antarctic lichens and mosses was created.

Currently, studies are carried out in the following scientific fields.



Рис. 4.3. Отбор кернов донных отложений на оз. Прогресс (станция «Прогресс») (Гайдашов А. А.)
Fig. 4.3. Sampling of core sediment fragments on the lake Progress (station «Progress») (Gaydashov A. A.)

1. Микробиологическое

В последние десятилетия микробиота Антарктики стала предметом интенсивных исследований и рассматривается как источник выделения экстремофильных микроорганизмов (рис. 4.4). Они интересны для систематиков и экологов, а также перспективны для биотехнологов. В пробах антарктических почв, льда, водоемов найдены как виды-«универсалы», широко распространенные по всей территории планеты, так и представители новых таксонов – специфических обитателей этого континента.

Созданы коллекции чистых культур микроорганизмов, полученных в результате посева различных образцов на поверхность питательных сред. Были высеяны образцы воды пресных водоемов, донных отложений пресных водоемов, микрофлоры «зеленого снега», эндолитных и гиполитных сообществ, почвы с повышенным содержанием нефтепродуктов, фрагментов останков пингвинов и тюленей, панцирей морских звезд и морских ежей, целлюлозо-содержащих и других объектов. В результате было выделено более 350 изолятов чистых культур микроорганизмов (рис. 4.5).

Изучение ферментативных свойств исследованных бактерий позволило выделить не менее 30 изолятов, обладающих протеолитической активностью, 6 изолятов с целлюлолитической активностью; 4 изолята с липолитической активностью; 25 изолятов с амилолитической активностью. Все эти микро-

1. Microbiological

In recent decades, the microbiota of the Antarctic has been the subject of intense research and is considered as a source of isolation extremophilic microorganisms. They are interesting for systematists and ecologists, as well as promising for biotechnologists. In the samples of Antarctic soil, ice, water bodies «universal» species were found, widespread throughout the world, as well as the representatives of the new taxons – specific inhabitants of this continent.

The collections of pure cultures of microorganisms obtained by plating on the surface of different samples of culture media were created. The samples of water freshwater, sediment freshwater, «green snow» microflora were seeded, as well as collections of endolith and hypolith communities, soils with a high content of oil products, the fragments of the remains of penguins and seals, shells of sea stars and sea urchins, cellulose, and other objects. As a result, more than 350 isolates of pure cultures of microorganisms were allocated.

The studying of enzymatic properties of bacteria made it possible to allocate no less than 30 isolates, having proteolytic activity, 6 isolates with cellulolytic activity; 4 isolates with lipolytic activity; 25 isolates with amylolytic activity. All these microorganisms can be a potential source of biologically active



Рис. 4.4.
В микробиологической
лаборатории
(Мямин В. Е.)

Fig. 4.4. In the
microbiological
laboratory (Myamin V. E.)

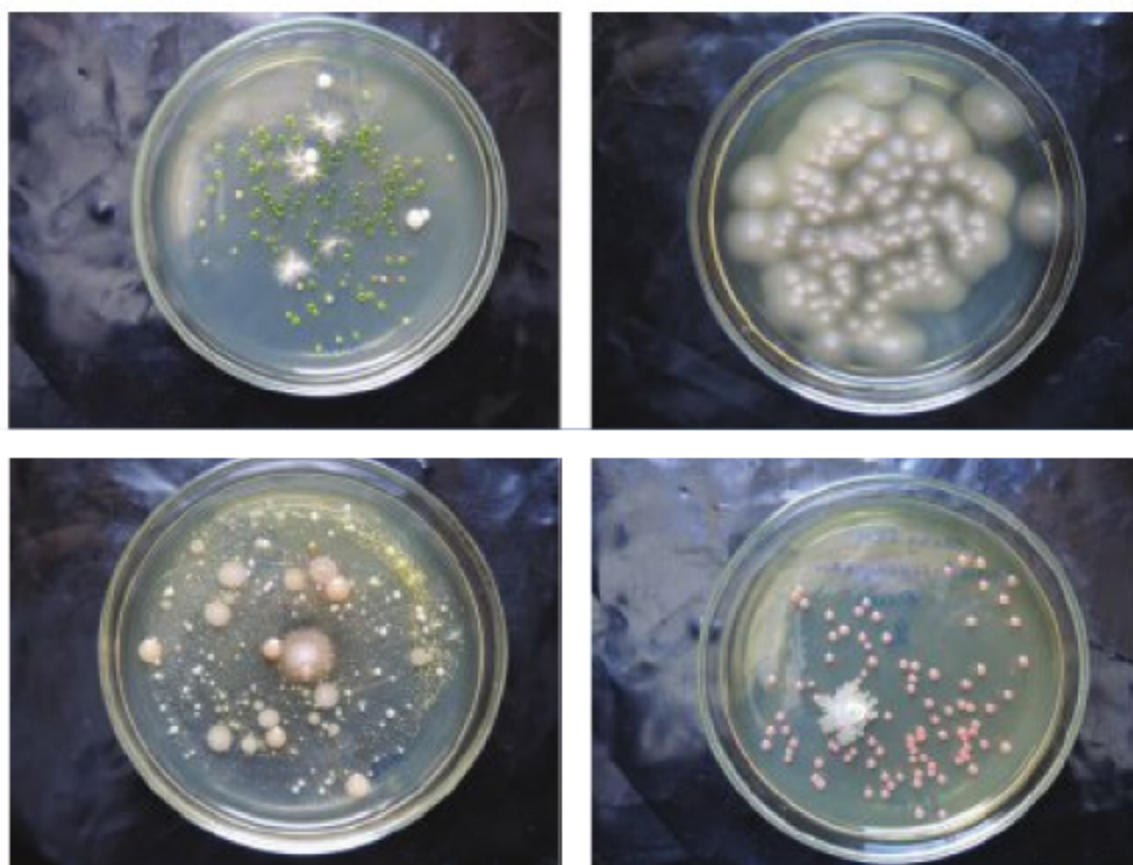


Рис. 4.5. Изоляты микроорганизмов из различных образцов

Fig. 4.5. Isolates of microorganisms from various samples

организмы могут являться потенциальным источником биологически активных веществ и ферментов, имеющих биотехнологическое значение.

Большие площади скальных обнажений гранитоидов Восточной Антарктиды покрыты бурыми и красновато-бурыми пластинами, под которыми в трещинах повсеместно встречаются эндолитные сообщества. Эти сообщества являются сложными по структуре и представлены комплексом различных микроорганизмов, таких как лишайники, грибы, водоросли, археи, эубактерии.

Проведенные исследования позволили установить ряд интересных особенностей. По численности, морфометрическим параметрам, образуемой биомассе микроорганизмы эндолитных сообществ практически не отличались друг от друга, но довольно сильно отличались от гиполитных сообществ (рис. 4.6). Интересно, что численность, и особенно биомасса микроорганизмов эндолитных сообществ была примерно в 5 раз выше, чем численность и биомасса гиполитных сообществ.

В настоящее время отобраны штаммы микроорганизмов, изолированных из различных источников

substances and enzymes that have biotechnological value.

Large areas of rocky outcrops of granitoids of the East Antarctic is covered with gray and reddish-brown plates, under which in the cracks there are endolith communities are quite often met. These communities are complex in structure and represented by a series of various microorganisms, such as lichens, fungi, algae, archaea, eubacteria.

The research revealed a number of interesting features. On the one hand, from the point of view of the number, morphometric parameters, formed biomass the microorganisms of endolith communities did not differ from each other, but were quite different from hypolith communities. Interestingly, the number and biomass of microorganisms especially of endolith communities was about 5 times higher than the abundance and biomass of hypolith communities.

Microbial stocks isolated from various sources and by different phenotypic characteristics (form colonies

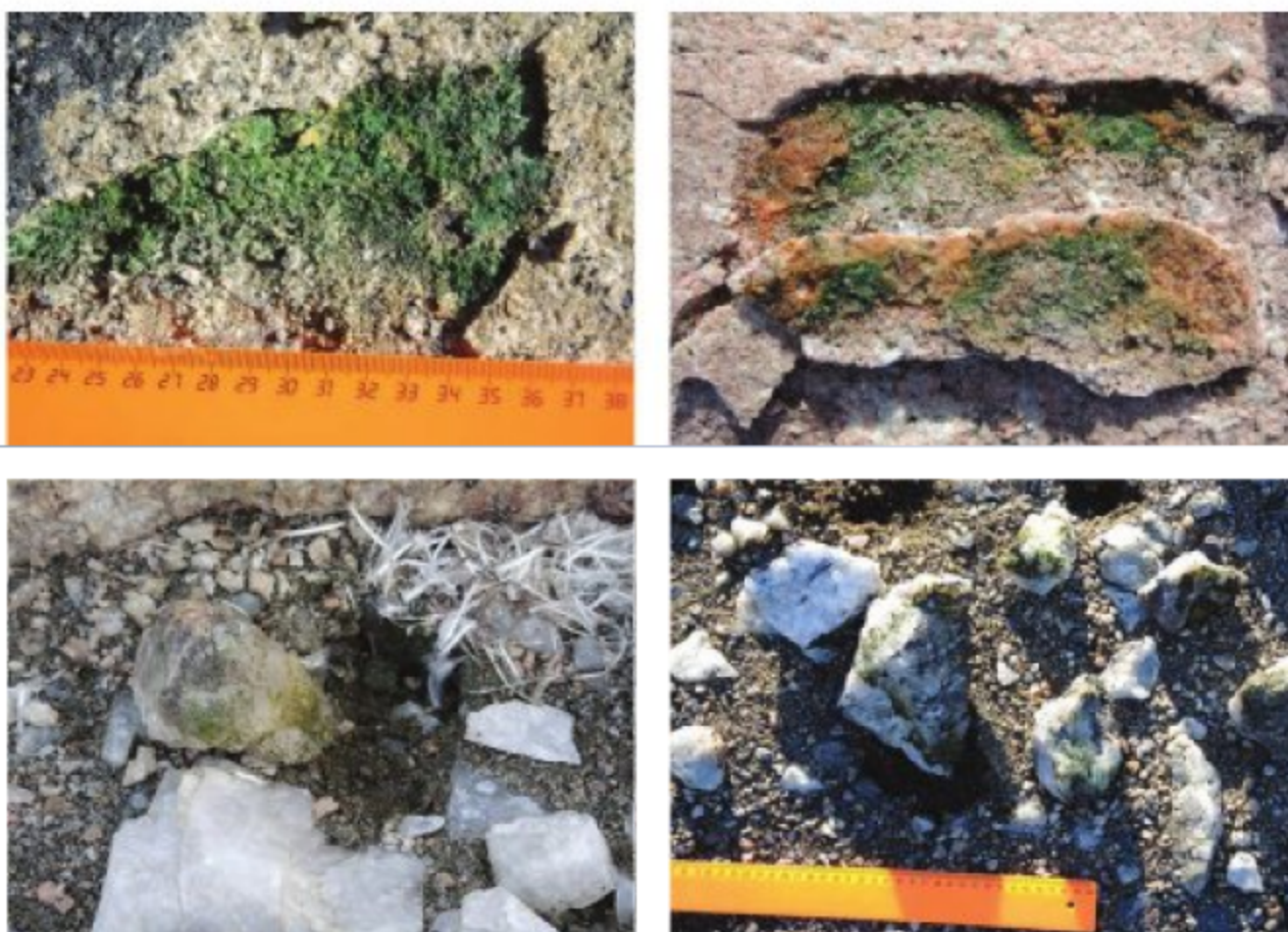


Рис. 4.6. Эндолитные и гиполитные сообщества в районе бухты Лазурная (гора Вечерняя)
 Fig. 4.6. Endolith (top) and hypolith (bottom) communities at the coast of Lazurnaya bay (Mount Vechernyaya)

и отличающихся по фенотипическим признакам (форма колоний, скорость роста). Для данных бактерий был определен температурный диапазон роста, проведен тест на наличие каталазы и оксидазы, описана и сфотографирована форма образуемых колоний.

Важным блоком в микробиологическом направлении является исследование бактериопланктона – важнейшего звена в короткой трофической цепи антарктических водоемов. Динамика его количественных и качественных характеристик варьируется и не всегда может быть однозначно объяснена. На протяжении нескольких экспедиций проводится мониторинг содержания бактериопланктона в пресных водоемах прибрежной зоны моря Космонавтов.

Отмечено, что численность бактериопланктона в пресноводных водоемах увеличивалась с глубиной. В феврале в оз. Stepped минимальная концентрация отмечена у поверхности (0,16 млн кл./мл). На всех других горизонтах (1, 2 м) она практически одинакова (0,27–0,29 млн кл./мл).

growth rate) were recently selected. For these bacteria the temperature growth range was determined, a test for the presence of catalase and oxidase was conducted, the shape of colonies formed was described and photographed.

An essential unit in the microbiological direction is the research of bacterial plankton – an important link in the short food chain of Antarctic waters. The dynamics of its quantitative and qualitative characteristics vary and may not always be clearly explained. Several expeditions have been monitoring bacterial content in the fresh waters of the coastal area of the Cosmonauts Sea.

It is noted that the number of bacterial in fresh-water water reservoirs increased with depth. In February in the Stepped Lake the minimum concentration was observed at the surface (0.16 mln cells/ml). At all other levels (1, 2 m), it is almost the same (0.27–0.29 mln cells/ml).

В пробах в основном присутствуют кокки и палочковидные формы бактерий. Других форм бактериопланктона в исследованных озерах не обнаружено.

Присутствие бактериопланктона в водоемах изменялось в течение летних месяцев. В январе численность и биомасса была минимальной, а в некоторых озерах бактериопланктон вообще не был обнаружен. В последующие месяцы отмечается значительный рост этих показателей.

Подобная картина отмечена и для представителей пресноводного зоопланктона. Так, если в начале января в оз. Stepped численность коловраток *Bdelloidea* составляла 126–333 экз/100 л, то через месяц – 677 экз/100 л.

В оз. Scandrett численность *Bdelloidea* с конца декабря до середины февраля увеличилась с 59 до 4915 экз/100 л. В оз. Reid коловратки *Epiphanes senta* в декабре не обнаружены и начали появляться лишь к концу января (3 экз/100 л). К середине февраля их численность возросла до 20 экз/100 л. (Все озера расположены в районе российской станции «Прогресс», Восточная Антарктида.)

Самый крупный представитель местного зоопланктона *Daphnia studei* отмечена в водоемах лишь с конца января.

Предварительный анализ полученных данных позволяет сделать некоторые предположения о причинах отсутствия бактериопланктона и отдельных представителей зоопланктона в пресноводных озерах.

На наш взгляд, одной из причин отсутствия этих организмов в водоемах в летний период может быть сильное воздействие на них ультрафиолетового излучения, которое увеличивается при снижении ОЗО.

Как показали данные измерений озона в период проведения 6-й БАЭ (2013–2014 гг.), в этом районе исследований именно после 3 января 2014 г. содержание озона снизилось на 8–10%, что стало одной из причин увеличения УФ-индекса с 3,5 до 5,5–7 единиц. Это является сильной дозой, способной, видимо, вызвать угнетение и даже гибель бактерио- и зоопланктона. Только после 21–28 января началось постепенное уменьшение УФ-индекса до 2–4 единиц. С этого периода отмечается рост численности планктонных организмов.

В пресноводных озерах также были определены биомасса и некоторые морфометрические параметры бактериопланктона (рис. 4.7).

Установлено, что общая численность бактериальных клеток в проточных водоемах была довольно низкой и находилась в пределах от $0,01 \pm 0,01$ до $0,13 \pm 0,03$ млн кл./мл. В то же время численные ха-

In the samples cocci and rod-shaped bacteria are generally present. No other forms of bacterial were found in the studied lakes.

The presence of bacterial plankton in water reservoirs changed during the summer months. In January, the abundance and biomass was minimal, and in some lakes bacterial plankton in general has not been found. In the following months there is a significant increase in these indicators.

A similar pattern was observed for members of the freshwater zoo-plankton. So, if at the beginning of January, the number of *Bdelloidea* rotifers in the Stepped Lake amounted to 126–333 units/100 l, in a month – 677 units/100 l.

In the Scandrett Lake the number of *Bdelloidea* from late December to mid-February has increased from 59 to 4915 units/100 l. In the Reid Lake the number of *Epiphanes senta* in December is not detected and only began to appear towards the end of January (3 units/100 l). By mid-February, their number increased to 20 units/100 l (all lakes are located in the Russian station «Progress», East Antarctic).

The largest local representative of the zooplankton *Daphnia studei* was noted in the waters only in late January.

The preliminary analysis of the data leads to some assumptions about the reasons for the absence of certain bacterial and zooplankton in freshwater lakes.

In our opinion, one of the reasons for the absence of these organisms in the aquatic environment in the summer can be a strong influence of ultraviolet radiation on them, which is increased with a decrease in total ozone content.

As shown by the data of ozone measurements during the 6th BAE (2013–2014), in this research area just after 3 January 2014 ozone content decreased by 8–10%, which was one of the reasons for the increase of UV-index from 3.5 to 5.5–7.0 units. This is a strong dose of that can probably cause depression and even death of bacterioplankton and zooplankton. Only after 21–28 January, a gradual decrease in UV-index up to 2–4 units began. This period is marked with the increase in the number of planktonic organisms.

In freshwater lakes biomass have also been identified and some morphometric parameters of bacterial plankton (Fig. 4.7).

It was found that the total number of bacterial cells in flowing water reservoirs was quite low, and ranged from 0.01 ± 0.01 to 0.13 ± 0.03 mln. cells/ml. At the same time, numerical characteristics of bac-

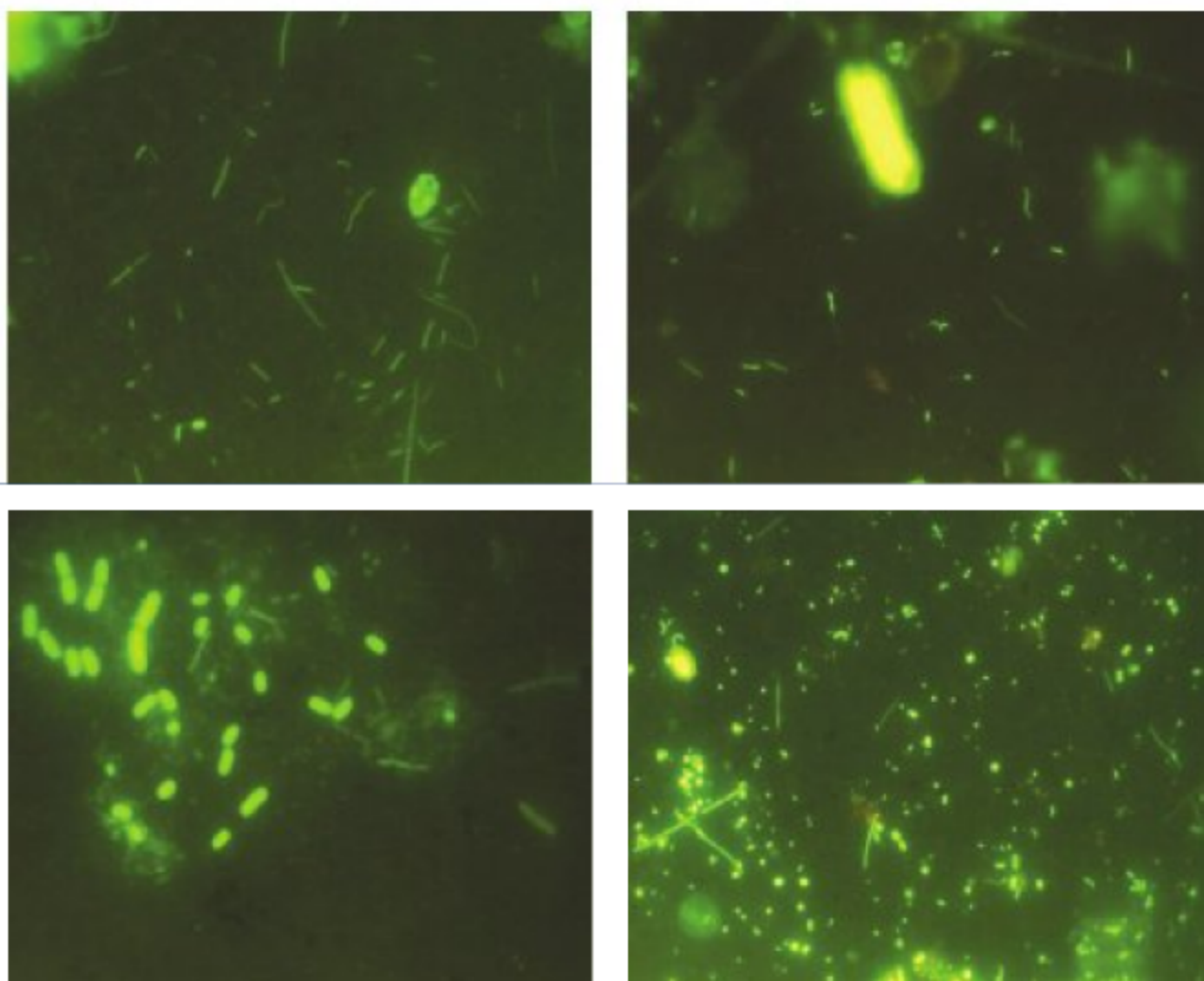


Рис. 4.7. Микрофотографии бактериопланктона из пресных озер
 Fig. 4.7. Microphotos of bacterial plankton from freshwater lakes

рактистические бактериопланктона непроточных водоемов колебались в широких пределах – от $0,22 \pm 0,06$ до $4,52 \pm 0,67$ млн кл./мл.

Биомасса бактериопланктона проточных водоемов находилась в пределах $0,004 \pm 0,006 \dots 0,041 \pm 0,021$ мг/л. Биомасса бактериопланктона слабопроточных водоемов находилась в пределах $0,062 \pm 0,011 \dots 0,312 \pm 0,047$ мг/л, биомасса бактериопланктона непроточных водоемов находилась в пределах $0,046 \pm 0,018 \dots 0,939 \pm 0,280$ мг/л.

Можно сделать заключение, что биопродуктивность бактериопланктона в непроточных водоемах более чем в 20 раз выше биопродуктивности бактериопланктона проточных водоемов.

Учитывая уникальность антарктической экосистемы, для ее безопасной биоремедиации необходимо использовать аборигенные бактерии-деструкторы.

terial stagnant ponds ranged widely – from 0.22 ± 0.06 to 4.52 ± 0.67 mln cells/ml.

The biomass of bacterial plankton in flowing water reservoirs was within $0.004 \pm 0.006 \dots 0.041 \pm 0.021$ mg/l. Bacterial biomass of water reservoirs was within $0.062 \pm 0.011 \dots 0.312 \pm 0.047$ mg/l, the biomass of bacterial plankton in stagnant ponds was within $0.046 \pm 0.018 \dots 0.939 \pm 0.280$ mg/l.

It can be concluded that bacterial productivity in flowing water reservoirs more than 20 times higher bacterial bioefficiency of flowing water reservoirs.

Taking into account the uniqueness of the Antarctic ecosystem, for its safe bioremediation it is necessary to use indigenous bacteria-destructors.

В настоящее время известны бактерии-деструкторы углеводов, выделенные из грунтов Антарктиды, относящиеся к родам *Pseudomonas* и *Rhodococcus*.

На основании анализа молекулярно-генетических маркеров (определения нуклеотидной последовательности генов 16S рРНК и гена *rpoC*) были идентифицированы четыре штамма, относящиеся к бактериям – деструкторам нефтепродуктов.

Установлено, что изолированные бактерии – деструкторы нефтепродуктов А2-6 относятся к роду *Deinococcus*. Остальные исследованные штаммы деструкторы (А2-н2, А29-к1, А31-2д) принадлежат к бактериям рода *Rhodococcus*.

Проведены комплексные исследования, направленные на изучение санитарно-эпидемиологической ситуации, складывающейся в районе полевой базы «Гора Вечерняя» в результате сезонной работы научно-экспедиционного отряда. Установлено, что деятельность экспедиционного отряда практически не влияет на санитарно-эпидемиологическую ситуацию в районе полевой базы «Гора Вечерняя».

2. Ботаническое

2.1. Микологическое. В последнее время все больше внимания уделяется исследованию жизнеспособности микроорганизмов, в том числе грибов, в условиях постоянного воздействия низких температур на их арктические и антарктические местообитания. Адаптационные способности микроскопических грибов, их толерантность позволяет им успешно осваивать различные субстраты и развиваться в условиях полярных регионов.

Изучено влияние температуры на микромицеты, колонизировавшие поверхность предметов антропогенного происхождения из различных материалов, находившихся на открытом воздухе в условиях Антарктиды в течение многих лет (рис. 4.8).

At present there are bacteria-destructors of hydrocarbons extracted from the soils of Antarctic related to *Pseudomonas* and *Rhodococcus* species.

Based on the analysis of molecular genetic markers (identification of the nucleotide sequence of 16S rRNA genes and gene *rpoC*) four stocks were identified related to the bacteria-oil destructors.

It was found that the isolated bacteria – oil destructors А2-6 belong to the *Deinococcus* genus. The rest of the studied oil destructors (А2-н2, А29-к1, А31-2д) belong to the bacteria of the *Rhodococcus* genus.

Complex investigations were implemented aiming at studying of the sanitary-epidemiological situation prevailing in the area of the field base «Mount Vechernyaya» as a result of seasonal work scientific expedition team. It was found that the activity of the expeditionary force does not affect the sanitary-epidemiological situation in the area of the field base «Mount Vechernyaya».

2. Botanical

2.1. Micological. In recent years, more and more attention is paid to the study of the viability of micro-organisms, including fungi, in the conditions of constant exposure to low temperatures in their Arctic and Antarctic habitat. Adaptive capacity of microscopic fungi, their tolerance allows them to successfully master the various substrates and to develop in conditions of the Polar Regions.

The effect of temperature on micromycetes, which colonized the surface of objects of anthropogenic origin, was studied and involved various materials that were in the open air under the conditions of the Antarctic for many years (Fig. 4.8).



Рис. 4.8. Жилые и строительные объекты, поврежденные плесневыми грибами

Fig. 4.8. Living and building objects damaged by moulds

Выделенные культуры микромицетов характеризовались низким таксономическим разнообразием, доминирующее положение занимали представители родов *Penicillium* и *Aureobasidium*. Результаты исследования показали, что споры плесневых грибов способны сохранять высокую жизнеспособность в условиях высокой солнечной радиации и низких антарктических температур. Установлено, что они активно используют для осуществления жизнедеятельности короткий период повышения температуры до плюсовых значений. Данный факт свидетельствует о широких возможностях антарктических микромицетов к температурной адаптации, что необходимо учитывать при оценке биостойкости материалов, используемых при строительстве и эксплуатации антарктических станций.

2.2. Альгологическое. Водоросли являются неотъемлемой частью многих экосистем, особенно водных. Нередко они характеризуются массовыми кратковременными вспышками численности, вызывая цветение воды. Экологическая значимость данной группы организмов в качестве продуцентов и элементов трофических цепей общеизвестна. Особенно велика их роль в функционировании сообществ, находящихся в экстремальных условиях, в частности, в Антарктиде. Сведений о водорослях, развивающихся в различных наземных антарктических экосистемах, немного. Практически нет никаких данных относительно альгофлоры восточной части оазиса «Молодежный» (полевая база «Гора Вечерняя»), на территории которой регулярно осуществляется сбор фактического материала по данной группе организмов.

К настоящему времени в этом районе нами зарегистрировано около 150 видов водорослей, относящихся к 8 отделам, 15 классам, 35 отрядам, 51 семейству и 72 родам (рис. 4.9, 4.10). Наиболее разнообразным в таксономическом отношении является тип Ochrophyta, включающий 72 вида из 6 классов. Класс Bacillariophyceae представлен 6 отрядами, 37 семействами. Наибольшее число видов (16) из 8 родов отмечено в отряде Naviculales, в пределах которого виды распределены на 5 семейств: Amphipleuraceae (2 рода) – *Amphipleura* Kützinger, 1844 (1 вид) и *Amphora* Ehrenberg ex Kützinger, 1844 (4 вида); Naviculaceae (1 род) – *Navicula* Bory de Saint-Vincent, 1822 (3 вида); Pinnulariaceae (1 род) – *Pinnularia* Ehrenberg, 1843 (4 вида); Pleurosigmaaceae (2 рода) – *Gyrosigma* Hassall, 1845 (1 вид) и *Pleurosigma* W. Smith, 1852 (1 вид); Stauroneidaceae (2 рода) – *Craticula* Grunow, 1867 (1 вид) и *Stauroneis* Ehrenberg, 1843 (1 вид).

Среди представителей антарктической флоры следует выделить пресноводную водоросль *Prasiola crispa*, отдел Chlorophyta, обнаруженную практически на всех обследованных материковых участках.

Synthetized micromycete cultures are characterized by low taxonomic diversity, dominated by representatives of the genera *Penicillium* and *Aureobasidium*. The results showed that the spores of fungi are able to maintain high viability in conditions of high solar radiation and low temperatures of the Antarctic. It was found that they are actively using vital for a short period of raising the temperature to above zero. This fact testifies to the broad possibilities of Antarctic micromycetes to temperature adaptation that have to be considered when evaluating the biological stability of the materials used in the construction and operation of Antarctic stations.

2.2. Algologic. Algae are an integral part of many ecosystems, especially water. They are often characterized by short bursts of massive size, causing algal blooms. The ecological importance of this group of organisms as producers and well-known elements of the food chain is significant. Especially significant is their role in the functioning of societies in extreme conditions, especially in the Antarctic. The information about algae developing in a variety of terrestrial Antarctic ecosystems is scarce. Practically there is no data on the algal flora of the eastern part of the oasis «Molodezhny» (field base «Mount Vechernyaya»), on the territory of which regularly collects factual data on this group of organisms.

By this time in the area we have registered about 150 species of algae belonging to 8 divisions, 15 classes, 35 orders, 51 family and 72 genera (Figs. 4.9, 4.10). The most diverse taxonomically is the type Ochrophyta, including 72 species from 6 classes. Bacillariophyceae class was represented by 6 orders, 37 families. The greatest number of species (16) from 8 genera was found in the Naviculales order, and within it the species which are divided into 5 families: Amphipleuraceae (2 genres) – *Amphipleura* Kützinger, 1844 (1 species) and *Amphora* Ehrenberg ex Kützinger, 1844 (4 species); Naviculaceae (1 genus) – *Navicula* Bory de Saint-Vincent, 1822 (type 3); Pinnularia Ceae (1 genus) – *Pinnularia* Ehrenberg, 1843 (4 species); Pleurosigmaaceae (2 species) – *Gyrosigma* Hassall, 1845 (1 species) and *Pleurosigma* W. Smith, 1852 (1 species) Stauroneidaceae (2 species) – *Craticula* Grunow, 1867 (1 species) and *Stauroneis* Ehrenberg, 1843 (1 species).

Among the representatives of the Antarctic flora one should point out freshwater algae *Prasiola crispa*, Chlorophyta section, detected in almost all the surveyed continental areas.

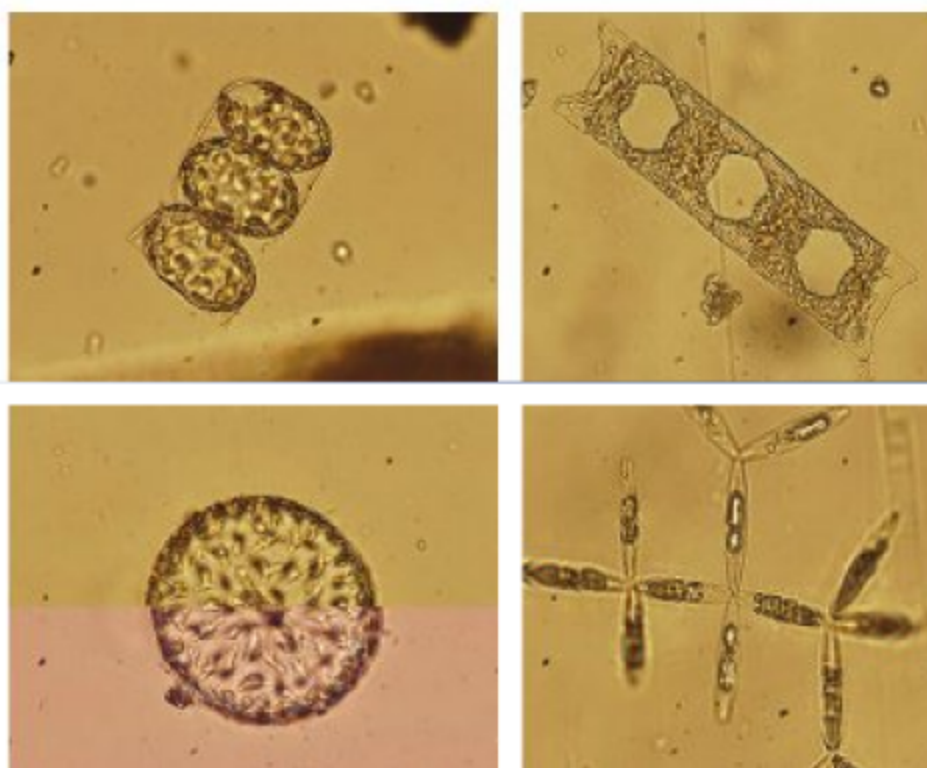


Рис. 4.9. Представители морского фитопланктона Антарктики в районе проведения работ БАЭ

Fig. 4.9. Representatives of sea phytoplankton of Antarctic in the area of works conducted by BAE

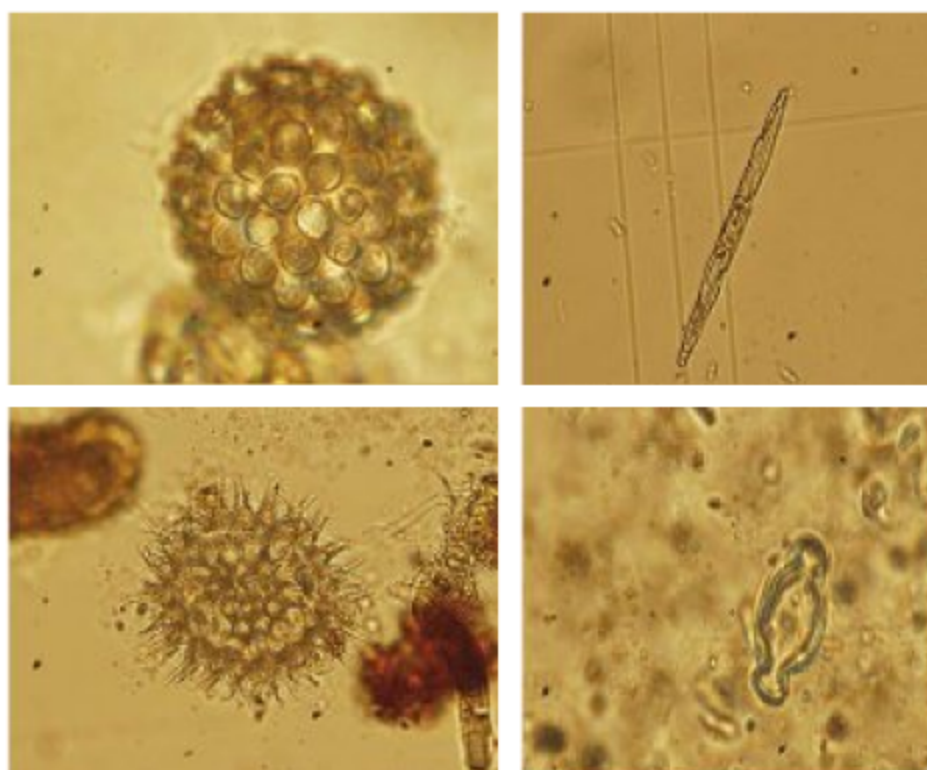


Рис. 4.10. Представители пресноводного фитопланктона Антарктики в районе проведения работ БАЭ

Fig. 4.10. Representatives of freshwater phytoplankton of Antarctic in the area of works conducted by BAE

Установлен высокий уровень сходства между флорой и фауной наземных и пресноводных экосистем Земли Эндерби (Восточная Антарктида, район расположения БАЭ) и умеренной зоны Северного полушария (Европа, Беларусь) (табл. 4.1).

Из всех видов фитопланктона, обнаруженных нами в озерах Антарктики, около 80 являются обитателями пресноводных озер Беларуси. Из 43 видов лишайников, обнаруженных в районе расположения БАЭ, 30% видов произрастают на территории Беларуси. Среди представителей зоопланктона также обнаружены виды с биполярным распространением. Установлена таксономическая близость водорослево-бактериальных образований донных отложений из пресноводных озер Антарктики и горячих источников Камчатки.

В пресноводных озерах, расположенных в окрестностях российской антарктической станции «Прогресс» в период 2013–2014 гг. обнаружено 123 вида водорослей из 7 отделов. Ведущее место (56%) по количеству видов занимают Bacillariophyta – 69, почти в два раза меньше (24%) встречено Cyanophyta – 30 видов. На третьем месте находятся зеленые водоросли, объединяя почти 14% видового богатства, представленного 17 видами. Остальные отделы представлены 1–3 видами.

Морской фитопланктон в шельфовой зоне моря Космонавтов представлен примерно 100 видами.

A high level of similarity between the flora and fauna of terrestrial and freshwater ecosystems of Enderby Land (East Antarctic, BAE layout area) and the temperate zone of the northern hemisphere (Europe, Belarus) was identified (Table 4.1).

Of all the species of phytoplankton found you in Antarctic lakes about 80 are inhabitants of freshwater lakes in Belarus. Of the 43 species of lichen discovered in the BAE location area 30% of the species grow on the territory of Belarus. Among the representatives of zooplankton the species with bipolar distribution were also found. The taxonomic proximity of algae-bacterial formations of sediments from freshwater lakes in the Antarctic and the hot springs of Kamchatka was identified.

In freshwater lakes located in the vicinity of the Russian Antarctic station «Progress» during the period 2013–2014 123 species of algae from 7 divisions were found. The leading position (56%) in the number of species is occupied by Bacillariophyta – 69, almost half (24%) was Cyanophyta – 30 species. In the third place are the green algae, combining almost 14% of species, represented by 17 species. The rest of the sections are represented by 1–3 species.

Marine phytoplankton in the shelf zone of the Cosmonauts Sea involved about 100 species.

Таблица 4.1. Таксономическое сходство пресноводного фитопланктона Беларуси и Антарктики
Table 4.1. Taxonomic similarity of freshwater phytoplankton of Belarus and Antarctica

Таксон Taxon	Водоросли Algae	Число видов, Беларусь Number of species in Belarus	% от общего числа % from total number	Число видов, Антарктида (БАЭ) Number of species in Antarctica (BAE)	% от общего числа % from total number
Cyanophyta	Синезеленые Blue-green	260	14.2	25	31.6
Cryptophyta	Криптофитовые Cryptomonads	14	0.8	1	1.3
Dinophyta	Динофитовые Dinoflagellates	25	1.4	3	3.8
Chrysophyta	Золотистые Golden	70	3.7	2	2.5
Bacillariophyta	Диатомовые Diatoms	622	34.1	33	41.7
Xanthophyta	Желтозеленые Yellow-green	69	3.8	2	2.5
Euglenophyta	Эвгленовые Euglenids	126	6.9	4	5.0
Chlorophyta	Зеленые Green	624	34.1	9	11.4
Charophyta	Харовые Charophyta	17	0.9	Не обнаружено No findings	–
Rhodophyta	Красные, или багрянки Red	4	0.2	Не обнаружено No findings	–

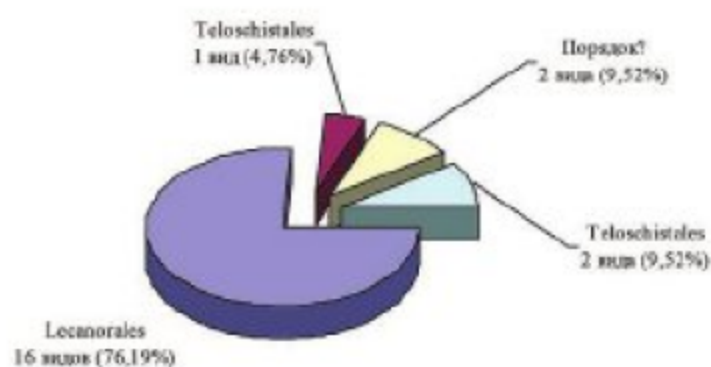


Рис. 4.11. Таксономическая структура лишайников региона исследований
 Fig. 4.11. Taxonomic hierarchy of lichens in the region of study



Рис. 4.12. Локалитеты лишайников, собранных на территории восточной Антарктиды в районе базы «Гора Вечерняя»
 Fig. 4.12. Places of lichen gathering on the territory of East Antarctic (area of field base «Mount Vechernyaya»)

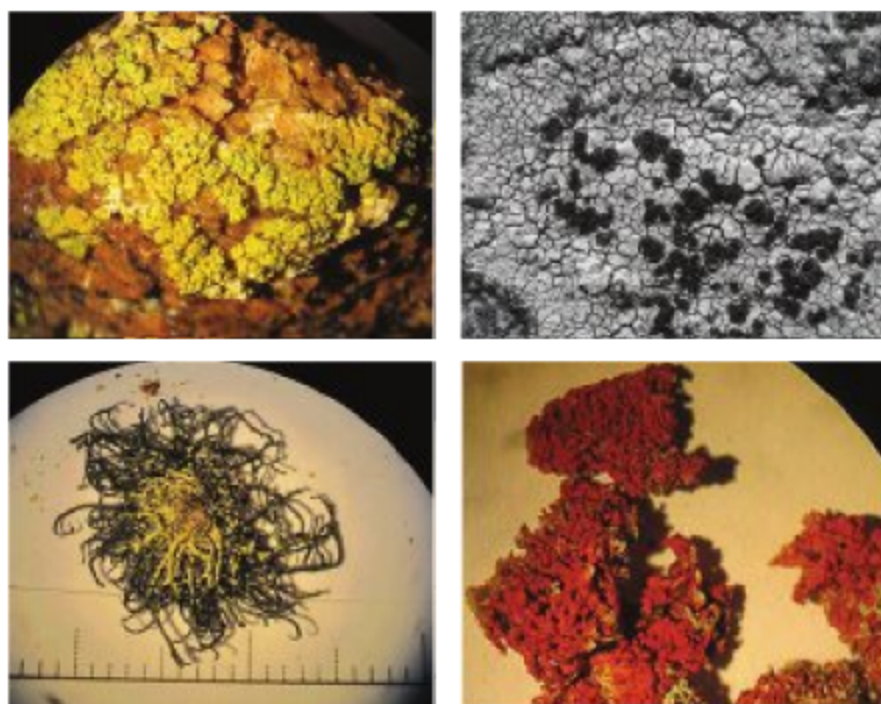


Рис. 4.13. Внешний вид *Pleopsidium chlorophanum*, *Lecidela lapicida*, *Neuropogon sulphureus*, *Rusavskia elegans*
 Fig. 4.13. External appearance of *Pleopsidium chlorophanum*, *Lecidela lapicida*, *Neuropogon sulphureus*, *Rusavskia elegans*

2.3. Лихенологическое. В ходе ревизии гербарных образцов из Антарктиды определено 43 вида лишайников из 28 родов и 16 семейств. Наибольшее число видов относится к эпилитным лишайникам, реже к эпилитно-бриофитным и бриофитным видам (рис. 4.11, 4.12).

К наиболее часто встречающимся видам в гербарии можно отнести следующие лишайники: *Buellia frigida*, *Caloplaca citrina*, *Candelariella flava*, *Lecanora polytropa*, *Leptogium puberulum*, *Physcia caesia*, *Pseudephebe minuscula*, *Rinodina olivaceobrunnea*, *Umbilicaria aprina*, *Umbilicaria decussata*, *Usnea sphacelata*, *Xanthoria elegans* (рис. 4.13). Лишайники из родов *Buellia*, *Caloplaca*, *Candelariella*, *Physcia*, *Rinodina* и *Xanthoria* относятся к нитрофильным и токситолерантным видам, некоторые из них довольно часто встречаются в Антарктиде.

3. Зоологическое

В составе пресноводного зоопланктона Антарктиды выделяется один из крупнейших в пресноводных озерах представитель ракообразных *Daphnia studei*, достигающий 2 мм (рис. 4.14). Исследовались озера, расположенные в районе российской станции «Прогресс». Этот вид обнаружен нами в 7 озерах: Reid, Stepped, Scandrett, Discussion, Sibthorpe, Progress и Горное.

Как показали исследования австралийских ученых, изучавших микрофоссилии из отложений пресноводного озера Reid (возраст примерно 130 000 лет), кладоцера *Daphniopsis studei* и коловратка *Notholca* sp. жили в озере все это время. В самых древних слоях встречаются и остатки копепоид.

2.3. Lichenological. During the revision of herbarium specimens from the Antarctic 43 species of lichens from 28 genera and 16 families were identified. The greatest number of species belongs to epilithic lichens, at least to epilithobriofitnym and briofitnym species (Figs. 4.11, 4.12).

The most frequent species in the herbarium of lichens are the following: *Buellia frigida*, *Caloplaca citrina*, *Candelariella flava*, *Lecanora polytropa*, *Leptogium puberulum*, *Physcia caesia*, *Pseudephebe minuscula*, *Rinodina olivaceobrunnea*, *Umbilicaria aprina*, *Umbilicaria decussata*, *Usnea sphacelata*, *Xanthoria elegans* (Fig. 4.13). Lichens of the genera *Buellia*, *Caloplaca*, *Candelariella*, *Physcia*, *Rinodina* и *Xanthoria* are nitrophil and toxy-tolerant species, some of which are quite common in the Antarctic.

3. Zoological

In the structure of freshwater zooplankton lakes in the Antarctic the largest representative of crustacean *Daphnia studei* reaching 2 mm was met (Fig. 4.14). The studied lakes are located in the area of Russian station «Progress». This species are met in 7 lakes: Reid Lake, Stepped Lake, Scandrett Lake, Discussion Lake, Sibthorpe Lake, Progress Lake and Gornoye Lake.

As shown by studies of Australian scientists studying microfossils from freshwater lake sediments of Reid Lake (aged about 130 000), cladocerans *Daphnia studei* and rotifer *Notholca* sp. lived in the lake all the time. In the most ancient layers the remains of copepods are found.

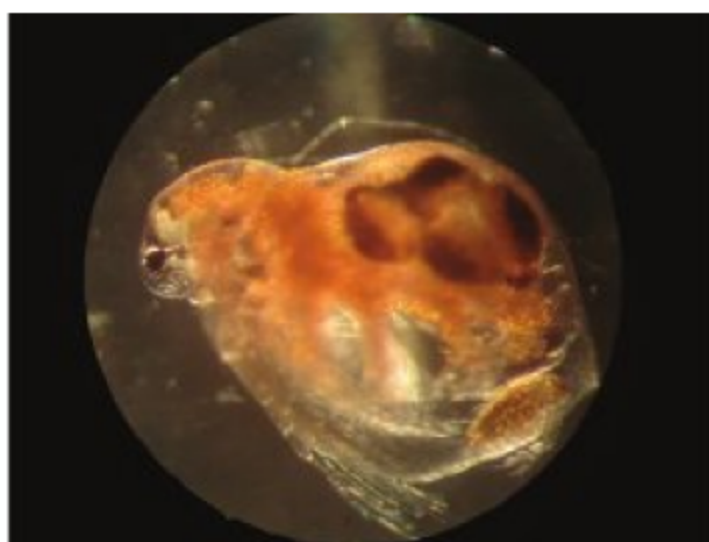


Рис. 4.14. Представитель ракообразных *Daphnia studei*
Fig. 4.14. Representative of Crustacea – *Daphnia studei*

У *Daphniopsis studeri* из оз. Stepped нами была определена верхняя летальная температура. Опыты показали, что для этого вида планктонных ракообразных 100%-ная гибель наступает при 33 °C, что говорит об их очень высокой адаптивной способности. Таким образом, планктон исследованных озер можно охарактеризовать как эвритермный, сложившийся в специфических условиях Антарктики.

Кроме дафниид в зоопланктоне отмечены коловратки рода *Bdelloidea*, нематоды и тихоходки *Tardigrada*.

В целом можно отметить относительную бедность зоопланктона изученных озер. В планктоне идентифицированы следующие виды коловраток: *Lepadella* (s. str.) *patella* (Müller, 1776), *Epiphanes senta* (Müller, 1773), *Cephalodella sterea* (Gosse, 1887), *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *Encentrum* (*Parententrum*) *saundersidae* (Hudson, 1885), *Notholca verae*. Класс *Bdelloidea* был широко представлен в пробах разноразмерными особями, по-видимому, принадлежащими к разным видам. Из этого класса была идентифицирована только одна вид – *Philodina alata*. Можно предположить, что в отобранных образцах присутствовали виды родов *Adineta*, *Mniobia* и *Macrotrachela*.

Кроме водоемов, проведены исследования бделлоидных коловраток, населяющих различные наземные субстраты.

В лишайниках со скальных пород были найдены *Adineta gracilis* (составляли большинство – 73,5%), а также *Adineta minor* и *Macrotrachela kallosoma* (Schulte, 1954). *Adineta steineri* (Bartoš, 1951) был зарегистрирован в лишайниках с камнями. Особи этих двух видов – *Adineta gracilis* (из лишайниковых обрастаний) и *A. minor* (из водорослевого мата) – дали начало лабораторным культурам с использованием в качестве корма водорослей *Chlorella* sp. Из других групп животных встречены только незрелые животные на младших стадиях развития из отряда Copepoda.

Из организмов бентоса часто встречались представители типа *Tardigrada* (тихоходки), животные, населяющие дно или ползающие по субстрату, и мелкие олигохеты.

Несмотря на бедность видового состава бделлоид, в некоторых изученных субстратах наблюдалась чрезвычайно высокая численность данных организмов. Например, в лишайниковых и водорослевых обрастаниях со скальных пород численность бделлоид составляла 4721 экз/см² (максимально до 6844 экз/см²).

В водорослевых матах бделлоидные коловратки менее многочисленны: максимум – 35 экз/см². На данный момент причины, обеспечивающие феноменально высокое количественное развитие популяций бделлоид в лишайниках и водорослях на скальных породах, остаются неясными и заслуживают отдельного изучения.

For *Daphnia studeri* from Stepped Lake we have identified the upper lethal temperature. Experiments have shown that this type of planktonic crustaceans 100% mortality occurs at 33 °C, which indicates a very high their adaptive capacity. Thus, the plankton in the studied lakes can be characterized as eurythermic, formed under the specific conditions of the Antarctic.

Besides daphniae, the zooplankton inhabitants included rotifers *Bdelloidea*, nematodes and tardigrades.

In general, we can note the relative poverty of zooplankton in the studied lakes. The plankton the following types of rotifers were identified: *Lepadella* (s. str.) *patella* (Müller, 1776), *Epiphanes senta* (Müller, 1773), *Cephalodella sterea* (Gosse, 1887), *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *Encentrum* (*Parententrum*) *saundersidae* (Hudson, 1885), *Notholca verae*. *Bdelloidea* class was well represented in the samples of different size individuals, apparently belonging to different species. *Philodina alata* – only one species was identified from this class. It is possible to assume that the samples of selected types *Adineta* contained the geni like *Adineta*, *Mniobia* and *Macrotrachela*.

Besides water reservoirs bdelloid rotifers living in different terrestrial substrates were studied.

The lichens from rocks the following were ones found: *Adineta gracilis* (made up the majority – 73.5%) and *Adineta minor* and *Macrotrachela kallosoma* (Schulte, 1954). *Adineta steineri* (Bartoš, 1951) was registered in lichens growing on rocks. The individuals of the two species – *Adineta gracilis* (from lichen fouling) and *A. minor* (from algal mat) – gave rise to laboratory cultures using as feed algae *Chlorella* sp. Among the other groups of animals only immature animals at younger stages of development of the order Copepoda were met.

From benthic organisms the representatives of *Tardigrada* type are frequently met – animals which inhabit the bottom or crawling on the substrate and smaller oligochaetes.

Despite the poverty of bdelloid species, in some studied substrates, there was an extremely high number of these organisms. For example, among lichen and algae fouling on rocks (sample 3) the number of bdelloid was 4721 units/cm² (maximum up to 6844 units/cm²).

In algal mats bdelloid rotifers are less numerous: maximum 35 units/cm². At the moment, the reasons for providing a phenomenally high quantitative development of bdelloid populations in lichens and algae on rocks remain unclear and deserve a separate study.

Зообентос исследованных пресноводных озер беден и представлен в основном нематодами и тихоходками, которые обитают в водорослево-бактериальном мате, устилающем дно практически всех антарктических озер.

Морской зообентос (моря Содружества, Космонавтов, Дейвиса (Восточная Антарктида) представлен в сублиторали морей практически всеми типами и группами макробеспозвоночных, среди которых асцидии, актинии, мягкие кораллы, губки, голотурии, морские звезды и ежи, плоские черви, полихеты, моллюски (рис. 4.15).

Сюда относятся и другие представители, включая виды, обитающие в толще воды: гребневники, голожаберные моллюски, медузы, ракообразные. Большинство отрядов и классов представлено несколькими видами. При проведении исследований морской донной флоры и фауны с помощью подводного фо-

The zoo-benthos of studied freshwater lakes is poor and is mainly represented by nematodes and tardigrades, which live in algae-bacterial mat covering the bottom of virtually all Antarctic lakes.

Marine zoobenthos (Commonwealth Sea, Cosmonauts Sea, Davis Sea (East Antarctic) is presented in the sublittoral seas by virtually all types of macroinvertebrates and groups, including sea squirts, anemones, soft corals, sponges, sea cucumbers, starfish and urchins, flatworms, polychaetes, mollusks (Fig. 4.15).

This group includes other representatives, including species living in the water column – Ctenophora, nudibranchs, jellyfish and crustaceans. Most groups and classes represented by several species. When conducting research on marine benthic flora and fauna using an underwater camera a photo and video

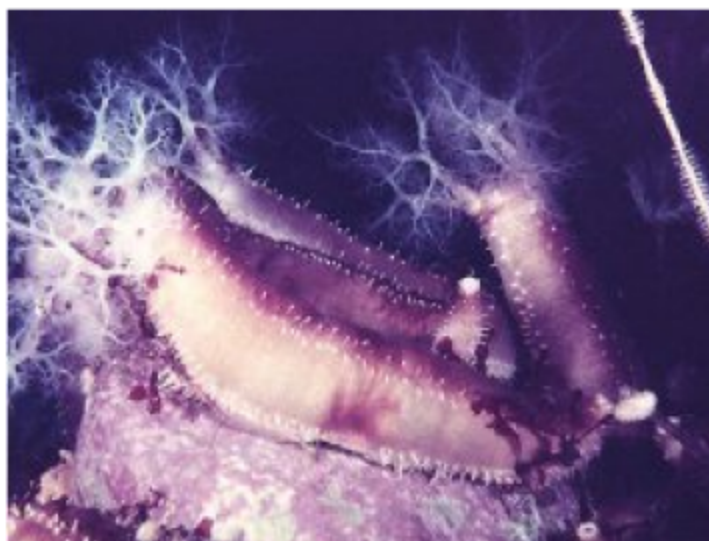


Рис. 4.15. Голотурии из моря Дейвиса (55 м)
Fig. 4.15. Sea-cucumbers of the Davis Sea (55 meters)





Рис. 4.16. Океанологические работы в море Содружества

Fig. 4.16. Oceanographic works in the Cooperation Sea

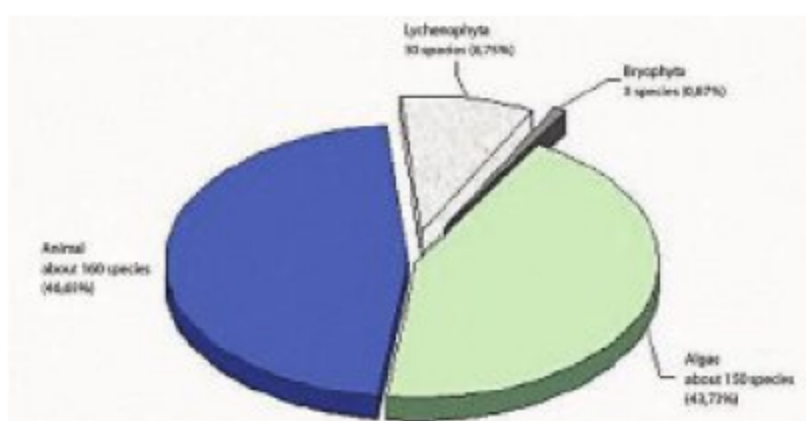


Рис. 4.17. Видовое разнообразие живых организмов в районе проведения работ БАЭ в 2007–2013 гг.

Fig. 4.17. Species diversity of living organisms in the area of BAE in 2007–2013

тоаппарата была проведена фото- и видеосъемка на глубинах от 8 до 45 м (Гайдашов А. А., Гигиняк Ю. Г.), что позволило более реально оценить количественный и качественный состав донного населения (рис. 4.16). По полученной информации, доминирующими видами на таких глубинах являются морские ежи и полихеты (рис. 4.17).

Несмотря на отдельные различия по сезонам в видовом составе орнитофауны в районе «Горы Вечерней» обнаружено 7 видов птиц из трех отрядов: Пингвинообразные (Sphenisciformes) – пинг-

shooting was carried out at depths of 8 to 45 meters (Gaidashov A. A., Giginyak Y. G.), which enabled a more realistic assessment of the quantitative and qualitative composition of the benthos (Fig. 4.16). Based on the received information, the dominant species at these depths are sea urchins and polychaetes (Fig. 4.17).

Despite the individual seasonal differences in the species composition of avifauna in the area of Mount Vechernyaya ain 7 species of birds of 3 groups were found: Sphenisciformes – Adelie penguin (*Pygoscelis*



Рис. 4.18. Поморник над колонией пингвинов Адели

Fig. 4.18. Skua gull above the Adelie penguin colony





Рис. 4.19. Подледный лов *Trematomus borchgrevinki* («ледянка») в море Содружества
 Fig. 4.19. Under-ice fishing of *Trematomus borchgrevinki* in the Cooperation Sea

вин Адели (*Pygoscelis adeliae*), императорский пингвин (*Aptenodytes forsteri*); Ржанкообразные (*Charadriiformes*) – южнополярный поморник (*Stercorarius skua*); Буревестникообразные (*Procellariiformes*) – снежный буревестник (*Pagodroma nivea*), капский голубок (*Daption capensis*), качурка Вильсона (*Oceanites oceanicus*) и серебристо-серый буревестник (*Fulmarus glacoides*) (рис. 4.18).

Ихтиофауна в сублиторали морей представлена всего 5–7 видами, среди которых в подледном горизонте явным доминантом является *Trematomus borchgrevinki* (местное название «ледянка»), в придонном слое и на дне – трематомусы – *Trematomus bernacchii*, *Trematomus sp.* и частично «ледянка» (рис. 4.19). Единично в уловах отмечается *Gymnodraco acuticeps* (местное название «плугарь»).

Отмечено 100%-ное заражение отловленных рыб нематодами и плероцеркоидами цестод, скребнями. Установлено, что среди паразитических форм встречаются представители видов *Ascarophis nototheniae*, *Contraecum osculatum* (Nematoda), *Metacanthocephala campbelli*, *M. johnstoni* (*Acanthocephala*) и др.

adeliae, emperor penguin (*Aptenodytes forsteri*); *Charadriiformes* – South polar skuas (*Stercorarius skua*); *Procellariiformes* – snow petrel (*Pagodroma nivea*), pintado (*Daption capensis*), Wilson's storm petrels (*Oceanites oceanicus*) and silver-gray petrels (*Fulmarus glacoides*) (Fig. 4.18).

Ichthyofauna in sublittoral seas is represented only 5–7 species, a clear dominant in under-ice horizon is *Trematomus borchgrevinki* (locally called «Ice-boats») in the bottom layer and at the bottom – trematomus – *Trematomus bernacchii*, *Trematomus sp.* and partially «Ice-boats» (Fig. 4.19). *Gymnodraco acuticeps*, locally called «Plugar», was scarcely observed in the caught fish.

100% contamination of caught fish by nematodes and cestodes plerocercoids and acanthocephalan were noted. It was found that among the parasitic forms there are the representatives of the following species: *Ascarophis nototheniae*, *Contraecum osculatum* (Nematoda), *Metacanthocephala campbelli*, *M. johnstoni* (*Acanthocephala*) and others.

4. Биохимическое

4.1. Биологически активные вещества. В период короткого антарктического лета (около двух месяцев, декабрь–январь) животный и растительный мир этого региона подвержен довольно жесткому воздействию суммарной солнечной радиации – более 30 ккал/см² в месяц. В то же время в период зимы на материк практически не поступает солнечная коротковолновая радиация. Несомненно, непростые условия выживания организмов Антарктиды требуют и развития сложных адаптационных механизмов к довольно жесткому воздействию различных факторов. Одним из таких механизмов является накопление фотопротекторных пигментов, в частности меланинов.

Проведено выделение меланинов из листовых и кустистых лишайников Восточной Антарктики, а также сравнительное исследование элементного состава листовых и кустистых лишайников.

Все исследуемые образцы характеризуются интенсивным парамагнитным поглощением. Исследованы парамагнитные свойства очищенных меланинов и меланинов в слоевищах лишайников *Xanthoria elegans* ($0,1 \times 10^{17}$ спин/г), *Pseudephebe pubescens* ($0,94 \times 10^{17}$ спин/г), *Usnea sphacelata* ($0,45 \times 10^{17}$ спин/г), *Umbilicaria africana* ($4,2 \times 10^{17}$ спин/г), *Physcia caesia* ($2,0 \times 10^{17}$ спин/г).

Проведено сравнительное исследование элементного состава листовых и кустистых лишайников, показавших высокое содержание ряда элементов. Это свидетельствует о значительном возрасте листовых и кустистых лишайников.

Определено содержание отдельных элементов у двух видов кустистых лишайников, произрастающих на скальных породах Антарктиды, – *Usnea spaelata* (Al – 1470 мкг/г сухого веса, Fe – 385 мкг/г, Zn – 6 мкг/г, Mn – 3 мкг/г, Cu – 2,5 мкг/г, Pb – 1 мкг/г) и *Pseudophebe pubescens* (Al – 35 769 мкг/г сухого веса, Fe – 2007 мкг/г, Zn – 13 мкг/г, Mn – 34 мкг/г, Cu – 7,5 мкг/г, Pb – 1,9 мкг/г).

Выявлены эколого-биохимические особенности некоторых представителей лишайнобиоты Антарктиды.

Установлено, что показатель функциональной активности эндогенных лектинов лишайников, произрастающих в экстремальных условиях Антарктиды, характеризуется видоспецифичностью, пластичностью и зависит от условий произрастания. Предполагается, что белки, в том числе эндогенные лектины таллома лишайников Антарктиды, вовлечены в механизмы адаптации к экстремальным воздействиям и изменяющимся условиям среды обитания.

Анализ показателей активности эндогенных лектинов и содержания белка в талломе отдельных представителей лишайнобиоты Антарктиды позволил

4. Biochemical

4.1. Biologically active substances. During the short Antarctic summer (about 2 months, December and January) flora and fauna of this region is exposed to a fairly firm influence the total solar radiation, which is more than 30 kcal/cm² month. At the same time during the winter there is almost no solar short-wave radiation coming to the mainland. Undoubtedly, difficult conditions of survival Antarctic organisms and require the development of complex adaptive mechanisms to fairly firm influence of various factors. One such mechanism is the accumulation of photoprotective pigments, particularly melanins.

We carried out the selection of melanin leaf and bushy lichen of the East Antarctic, as well as a comparative study of the elemental composition of the leaf and bushy lichens.

All test samples are characterized by intense paramagnetic absorption. The paramagnetic properties of the purified melanin and melanin in the thalli of lichen were studied: *Xanthoria elegans* (0.1×10^{17} spin/g), *Pseudephebe pubescens* (0.94×10^{17} spin/g), *Usnea sphacelata* (0.45×10^{17} spin/g), *Umbilicaria africana* (4.2×10^{17} spin/g), *Physcia caesia* (2.0×10^{17} spin/g).

A comparative study of the elemental composition of the leaf and bushy lichens, which showed high levels of a number of elements, was carried out. This represents significant age of foliose and bushy lichen.

The content of the individual elements in two species of bushy lichens growing on rocks in the Antarctic was identified – *Usnea spaelata* (Al – 1470 mcg/g of dry weight, Fe – 385 mcg/g, Zn – 6 mcg/g, Mn – 3 mcg/g, Cu – 2.5 mcg/g, Pb – 1 mcg/g) and *Pseudophebe pubescens* (Al – 35 769 mcg/g of dry weight, Fe – 2007 mcg/g, Zn – 13 mcg/g, Mn – 34 mcg/g, Cu – 7.5 mcg/g, Pb – 1.9 mcg/g).

The ecological and biochemical features of some representatives of the Antarctic lichen biota were identified.

It was found that the rate of functional activity of endocrine lectins of lichens that grow in extreme conditions of the Antarctic, it is characterized by specificity of species, plasticity and depends on growing conditions. It is assumed that proteins, including endogenous lectins of the thallus of lichens in the Antarctic are involved in the mechanisms of adaptation to extreme influences and changing environmental conditions.

The analysis of activity indicators of endocrine lectins and protein content in the thallus of some representatives of the Antarctic lichen biota revealed

выявить значительную вариабельность данного показателя в зависимости от вида. Так, в исследуемых образцах показатель гемагглютинирующей активности лектинов варьировался от 1418,4 ЕД/мг белка (*Umbilicaria aprina*) до 33542,4 ЕД/мг белка (*Physcia caesia*). В среднем по активности лектинов анализируемые семейства можно было представить в следующей последовательности: *Physciaceae* > *Parmeliaceae* > *Teloschistaceae* > *Umbilicariaceae*.

4.2. Калорийность. Проведено определение калорийности различных представителей морской фауны. В частности, исследование тканей рыб показало, что мышцы имеют калорийность в пределах 3,9 кал/мг сухого вещества или около 4,6 кал/мг органического вещества. Калорийность икринок довольно низка – всего 3,8–3,9 кал/мг сухого вещества при содержании в них органического вещества около 85%. Мальки более калорийны – 4,1–4,3 кал/мг сухого вещества.

Установлено, что энергетическая ценность одного и того же вида ракообразных, обитающих в разных морях Антарктики, оказалась сходной и по калорийности, и по содержанию органического вещества в течение одинаковых годовых сезонов.

Обитатели криопелагического биоценоза в целом имеют высокую калорийность вещества тела – около 4–5 кал/мг сухого вещества при относительном содержании золы 20–30% (в сухом веществе). Отмеченные для них изменения калорийности в отдельные сезоны связаны с периодом размножения. В то же время продолжительность эмбрионального развития совпадает с периодом, в течение которого происходит снижение калорийности с максимума до минимума.

Планктон Антарктики и отдельные его представители, а также рачки из криопелагического биоценоза имеют максимум калорийности или к моменту становления льда на море, или в середине антарктической зимы. К периоду появления диатомовых водорослей и внутриводного льда происходит снижение калорийности. Калорийность отдельных представителей ледовой, подледной и бентосной фауны изменяется в больших пределах и в целом зависит от количества и качества органического вещества у отдельных видов. Кроме того, калорийность фауны также зависит от времени года. Полученные результаты показали, что содержание органического вещества у антарктических видов изменяется от 17 до 98%, а калорийность – от 0,5 до 8,3 кал/мг сухого вещества.

5. Физиологическое

В рамках указанного направления проводились исследования по определению скорости потребления кислорода у гидробионтов из моря Дейвиса,

a considerable variability in this indicator, depending on the species. So, in the selected samples the indicator of hemagglutinating activity of lectins ranged from 1418.4 U/mg of protein (*Umbilicaria aprina*) to 33,542.4 U/mg protein (*Physcia caesia*). On average, the activity of the analyzed lectin family may be presented in the following sequence: *Physciaceae* > *Parmeliaceae* > *Teloschistaceae* > *Umbilicariaceae*.

4.2. Caloric value. The identification of caloric value of marine fauna was carried out. In particular, the study of fish tissues demonstrated that muscles have a caloric value about 3.9 cal./mg of dry substance or about 4.6 cal./mg of organic matter. Caloric value of spawns is rather low – only 3.8–3.9 cal./mg of dry substance with the content of organic matter about 85%. The whitebaits have more caloric value – 4.1–4.3 cal./mg of dry matter.

It was revealed that the caloric value of the same kinds of crustaceans that live in the different seas of the Antarctic and was similar in caloric value and content of organic matter during the same seasons of the year.

The inhabitants of cryopelagic biocenosis generally have a high caloric value of the body material – about 5.4 cal./mg of dry substance, their relative ash content is 20–30% (dry substance). Their caloric value changes in different seasons associated with the period of reproduction. At the same time, the duration of embryonic development coincides with period, during which the reduction from a maximum caloric value to a minimum takes place.

The plankton of the Antarctic and some of its representatives, as well as crustaceans from cryopelagic biocenosis, have a maximum caloric value at the time of the formation of ice on the sea or in the middle of the Antarctic winter. By the time of occurrence of diatoms and frazil a reduction in caloric value takes place. Caloric value of some representatives of the ice, and subglacial and benthic fauna varies within wide limits and generally depends on the amount and quality of organic matter in some species. Moreover, the caloric value of the fauna also depends on the time of year. The obtained results showed that the content of organic substances in Antarctic species varies from 17 to 98%, and the caloric value varies from 0.5 to 8.3 cal./mg of dry substance.

5. Physiological

In the framework of this direction studies were carried out to determine the rate of oxygen consumption in aquatic organisms living in the Davis Sea at

обитающих при отрицательных температурах воды. Такие эксперименты были поставлены еще в ходе 16-й САЭ (1970–1972 гг.) Ю. Г. Гигиняком на различных видах ракообразных. Скорость потребления кислорода в зависимости от массы тела была определена для *Orchomena cavimanus*, *Paramoera walkeri* и других Amphipoda, а также у одного из самых многочисленных представителей отряда Isopoda – *Antarcturus polaris*.

Воды Антарктики относятся к числу самых холодных вод на нашей планете. Температура моря может достигать -2°C и практически никогда не бывает положительной. Одним из методов, применяемых белорусскими биологами в Антарктике для изучения морской биоты в этих условиях, является использование водолазного снаряжения. Была выяснена роль сообщества нижней поверхности льда в производстве первичной продукции. Оказалось, что фитопланктон, заселяющий нижнюю поверхность льда, способен фотосинтезировать в течение 2–3 месяцев, создавая гигантскую биомассу мельчайших водорослей, которые являются основной пищей большинства планктонного и донного населения.

Была установлена сезонность в годовом цикле большинства прибрежных биоценозов. В условиях полной отрицательной гомотермии этот вывод не представлялся самоочевидным, поскольку минус полтора–два градуса в море наблюдались круглогодично, в течение многих сотен лет. Тем не менее сезонные циклы сохранились! Чтобы установить это, нужно было вести наблюдения в течение всех сезонов, т. е. погружаться в море в аквалангах, собирать материал и изучать все процессы, их динамику в течение всего года, и в течение полярного дня, и в течение полярной ночи (июнь, июль, август). Температура в период проведения всего периода работ оставалась ниже нуля при солёности воды около 34,4‰.

В морях Антарктики при отрицательной гомотермии протекает множество процессов, различных по своей скорости и значению. Это касается содержания растворенного в воде кислорода, концентрации сестона, который практически полностью представлен фитопланктоном, солевого режима, фотопериода, миграция и дрейф биоты.

Один из важнейших процессов, который особенно важен в жизни антарктических морей, – процесс сезонных изменений содержания растворенного в воде кислорода (рис. 4.20).

Параллельно изменению концентрации растворенного в морской воде кислорода изменяется и концентрация сестона. Как видно из рис. 4.20, обе кривые имеют синхронный ход процессов, что может говорить о большой роли сестона в газовом режиме моря.

В этот период температура и солёность воды не изменялась. Деструкция органического вещества

low temperatures of water. These experiments were carried out during the 16th SAE (1970–1972) by Y. G. Giginyak on various types of crustaceans. The rate of oxygen consumption as a function of body weight was determined to *Orchomena cavimanus*, *Paramoera walkeri* and other Amphipoda, as well as one of the most numerous representatives from Isopoda order among *Antarcturus polaris*.

Antarctic waters are among the most cooling waters on the planet. The sea temperature can reach -20°C and is almost never positive. One of the methods used by the Belarusian biologists in the Antarctic to study marine biota in these conditions is the use of diving equipment. The role of the lower surface of the ice the community in the production of primary products was revealed. It was found that phytoplankton inhabiting the lower surface of the ice is able to photosynthesize within 2–3 months, creating a huge biomass of tiny algae that are the staple food of the majority of planktonic and benthic species.

The seasonal character has been set for the annual cycle of most coastal biocenoses. In the context of the full negative homothermy this conclusion is not presented as self-evident as the minus one and a half to two degrees in the sea were observed all year round, for many hundreds of years. However, the seasonal cycles survived! To determine this, it was necessary to carry out observations during all seasons, i.e. dive into the sea in the aqualung, collect the material and learn all the processes, their dynamics throughout the year, and during the polar day and during the polar night (June, July and August). The temperature during the whole period of work remained below zero for water salinity of about 34.4‰.

In Antarctic seas, with negative homothermy, many processes take place, which differ in their speed and value. This applies to the content of dissolved oxygen in water, the concentration of seston, which is almost entirely represented by phytoplankton, salt regime, photo-period, migration and drift of the biota.

One of the most important processes, which is particularly important in the life of the Antarctic seas, is the process of the seasonal changes in the content of oxygen dissolved in water (Fig. 4.20).

The change in the concentration of dissolved oxygen in the sea water and seston concentration takes place simultaneously. As seen in Fig. 4.20, the two curves have synchronous running processes, so we can talk about a major role of seston in the sea gas mode.

During this period, the temperature and salinity of the water did change. The destruction of organic mat-

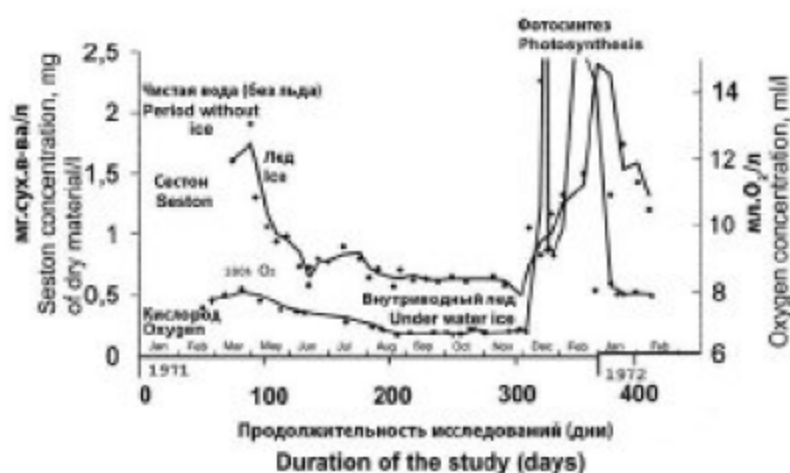


Рис. 4.20. Изменение содержания растворенного в воде кислорода и сестона в поверхностном слое воды моря Дейвиса
Fig. 4.20. Changing of the content of dissolved oxygen and seston in the surface layer of the Davis Sea

в период антарктической зимы достигла своего минимума и почти полностью прекратилась.

Максимальные концентрации кислорода в поверхностном слое моря наблюдались в ноябре–декабре и достигали 20–22 мл O_2 /л (около 300% насыщения). Минимальные были отмечены в середине – конце антарктической зимы (июль–сентябрь) и составляли 6,7 мл O_2 /л (около 80% насыщения). Ниже глубин 20 м содержание кислорода не менялось практически в течение всего года (6,7–7,0 мл O_2 /л).

6. Мониторинговое

Важным элементом обеспечения охраны окружающей среды в Антарктике является оценка воздействия на окружающую среду осуществляемой или планируемой деятельности.

В соответствии с существующими международными нормами, каждая Сторона Договора об Антарктике при планировании разрешенной в Антарктиде деятельности и разработке оценки воздействия (в том числе ВООС) должна определить ряд мер. Они включают программы мониторинга, которые могут быть приняты для уменьшения или ослабления воздействия предлагаемой деятельности на окружающую среду, выявления непредвиденного воздействия, а также могут обеспечить заблаговременное оповещение о любых отрицательных воздействиях этой деятельности, незамедлительное и эффективное реагирование на аварии.

Для оценки состояния окружающей среды в районе проведения работ БАЭ производился отбор проб воды из пресноводных водоемов и сезонных водотоков или таялок, снежного покрова, донных

тер during the Antarctic winter reached its minimum and almost completely stopped.

The maximum concentration of oxygen in the surface layer of the sea occurred in November–December and reached 20–22 ml O_2 /l (300% saturation). Minimum level was marked in the middle-end of Antarctic winter (July–September), and accounted for 6.7 ml O_2 /l (saturation 80%). Below a depth of 20 m the oxygen content did not change substantially during the year (6.7–7.0 ml O_2 /l).

6. Monitoring

An important element in ensuring the protection of the environment in the Antarctic is the environmental impact assessment of carried out or planned activities.

In accordance with existing international standards, each Party of the Antarctic Treaty, when planning the permission for the implementation of the Antarctic activities and the development of impact assessment (including CEE), should identify a number of measures to be taken. They include a monitoring program that can be carried out to minimize or mitigate impacts of the proposed activity on the environment. As they relate to detect unforeseen impacts and that could provide early warning of any adverse effects of the activity, as well as a prompt and effective response to an accident.

To assess the state of the environment in the area of work of BAE the sampling of water from freshwater ponds and seasonal streams or melt puddles, snow, sediments from coastal and freshwater loose substrate

отложений из прибрежных пресноводных водоемов и рыхлого субстрата. Впервые для данного региона получены пробы снега с крайними точками отбора, отстоящими друг от друга на расстоянии 3470 км. Самая дальняя точка отбора снега находилась на полюсе холода, российская станции «Восток».

В целом по результатам предварительного анализа накопленного материала можно констатировать, что наименее изученным в настоящее время является комплекс прибрежных экосистем, в первую очередь морских. В перспективе для ликвидации данного пробела предполагается задействовать различные методы дистанционного исследования, такие как подводный телеметрический управляемый аппарат «Гном», беспилотные летательные аппараты, а также спутниковые данные.

При подготовке данной главы были использованы данные приведенные в работах Ю. Г. Гигиняка, О. И. Бородин, В. Е. Мямина, А. А. Гайдашова, В. В. Вежновца, З. И. Горелышевой, Л. В. Никитиной, В. П. Курченко, М. А. Титок, М. И. Чернявской, Д. А. Лукашанца, О. Л. Канделинской, И. А. Гончаровой, Т. В. Шендрик, А. П. Яцыны, И. И. Бручковского, Е. Н. Грузова.

was carried out. For the first time in this region snow samples with extreme sampling points, spaced at a distance of 3470 km were obtained. The farthest point is the selection of the snow was on the Pole of Cold, Russian station «Vostok».

In general, it should be noted that the results of the preliminary analysis of the collected material give grounds to state that a complex of coastal ecosystems, especially marine, is the least studied nowadays. In the long term to eliminate this gap is expected to use a variety of methods of remote studies, such as the remote-controlled underwater apparatus «Gnome», unmanned aerial vehicles and satellite data.

In preparing of this chapter the data provided in the works by the following scientists was used: Y. G. Giginyak, O. I. Borodin, V. E. Myamin, A. A. Gaydashov, V. V. Vezhnovets, Z. I. Gorelysheva, L. V. Nikitina, V. P. Kurchenko, M. A. Titok, M. I. Cherniavski, D. A. Lukashanets, O. L. Kandelinskaya, I. A. Goncharova, T. V. Shendrik, A. P. Yatsyna, I. I. Bruchkovski, E. N. Gruzov.





**ВЫБОР МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ
И ПОДГОТОВКА ВСЕСТОРОННЕЙ ОЦЕНКИ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ СТРОИТЕЛЬСТВА
И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕЛОРУССКОЙ
АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ НА ГОРЕ
ВЕЧЕРНЯЯ, ЗЕМЛЯ ЭНДЕРБИ**

**SITE SELECTION AND PREPARATION
OF COMPREHENSIVE ENVIRONMENTAL
EVALUATION OF CONSTRUCTION AND
OPERATION OF BELARUSIAN ANTARCTIC
STATION AT MOUNT VECHERNYAYA, ENDERBY
LAND**

Одна из основных целей Республики Беларусь в Антарктике – создание Белорусской антарктической станции (БАС), оснащенной современным оборудованием, для проведения научных исследований и мониторинга окружающей среды Антарктики.

При выборе площадки для возможного размещения будущей БАС учитывались географические, топографические, геологические, метеорологические, гидрологические факторы, транспортная доступность и другие важные для безопасного жизнеобеспечения критерии.

При этом принималось во внимание, что с 2006 г. белорусскими антарктическими экспедициями используется инфраструктура полевой базы РАЭ «Гора Вечерняя», расположенной в 20 км восточнее российской станции «Молодежная». Основная инфраструктура полевой базы «Гора Вечерняя» создана в 1979 г. Она предназначалась для круглогодичного размещения технического персонала, обслуживающего взлетно-посадочную полосу для самолетов ИЛ-76; в настоящее время сохранившиеся объекты инфраструктуры полевой базы изношены, частично разрушены и не могут обеспечить функционирование станции.

Рассмотрен ряд альтернативных площадок размещения БАС. В качестве непосредственного места строительства станции выбрана площадка, расположенная на восточном склоне горы Вечерняя (рис. 5.1). Также проанализированы варианты размещения БАС в других регионах Антарктиды с учетом научных, экологических, логистических и других аспектов.

Выбранная площадка для строительства представляет собой относительно плоскую горную террасу длиной около 350 м и шириной 50–80 м, имеющую надежные транспортные подходы для автотракторной и легкой снегоходной техники. Терраса находится в удобной, ориентированной по направлению господствующего ветра, продуваемой горной ложбине. От стокового ветра и существенных снежных заносов

One of the main goals of Belarusian Antarctic Program – construction of the Belarusian Antarctic Station (BAS), equipped with up-to-date equipment for comprehensive scientific investigations and monitoring of the Antarctic environment.

When selecting possible sites for the location of the future BAS, geographical, topographical, geological, meteorological and hydrological factors, as well as accessibility and other important criteria for secure living, were taken into consideration for the project development.

It was also taken into account that since 2006 BAE have used the field base «Mount Vechernyaya» infrastructure of the RAE, located 20 km east of the station «Molodyozhnaya». The infrastructure of the field base «Mount Vechernyaya» was built in 1979. It was designed to accommodate year-round technical staff for an IL-76 aircraft landing strip. At the present time the remaining field base infrastructure is worn out, partially destroyed, and unable to support the proper operation of the station.

A several alternative sites were considered for the location of the BAS. The selected site for the station was located on the eastern slope of Mount Vechernyaya (Fig. 5.1). Variants for locating the BAS in other regions of Antarctica were also analysed, taking into account scientific, environmental, logistics and other aspects.

The selected site is a relatively flat, mountain terrace, about 350 m long and 50–80 m wide, with reliable transport access for automotive and light snowmobile vehicles. Terrace is located in a convenient, oriented in the direction of the prevailing wind, blown hollow mountain. It is well protected from crosswinds and severe snowdrifts by the eastern spur of Mount Vechernyaya on one side and by a rocky

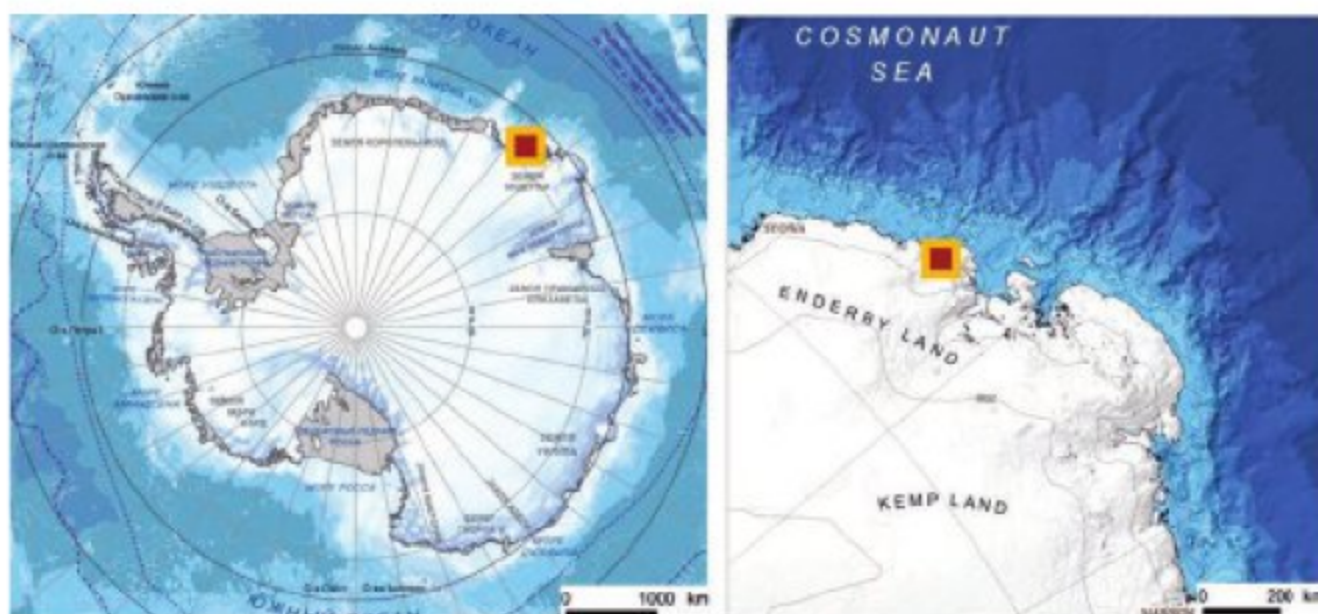


Рис. 5.1. Район планируемого размещения Белорусской антарктической станции (картографическая основа: а – http://aadcm-aad.gov.au/aadc/mapcat/display_map.cfm?map_id=13438; б – <http://www.ibcso.org/data.html>)

Fig. 5.1. Planned location of the Belarusian Antarctic station (base maps: а – http://aadcm-aad.gov.au/aadc/mapcat/display_map.cfm?map_id=13438; б – <http://www.ibcso.org/data.html>)

защищена с одной стороны восточным отрогом горы Вечерняя, с другой – скальной грядой, прикрывающей эту ложбину со стороны морского побережья.

Площадка размещения БАС удовлетворяет также другим предъявляемым требованиям: досягаемость для вертолетной авиации, базирующейся на судне обеспечения; наличие поблизости непромерзающих водоемов (озер) с пресной (питьевой) водой; безопасность пешего перемещения персонала станции по территории возможной застройки, а также по участкам местности, примыкающим к данной территории.

В соответствии с Протоколом по охране окружающей среды к Договору об Антарктике любой вид деятельности в Антарктике (научные исследования, строительные и монтажные работы, утилизация отходов и т. д.) должен сопровождаться оценкой воздействия на стадии планирования. Оценке воздействия на окружающую среду подлежат также планируемые изменения в деятельности (включая изменения в программах научных исследований).

Кроме того, необходимо учесть, что создание БАС планируется осуществить в районе размещения полевой базы «Гора Вечерняя» РАЭ, которая функционировала в 1980-е гг. Функционирование базы, связанное в первую очередь с приемом и заправкой самолетов, неизбежно сопровождалось выбросами, утечками топлива, смазочных масел, жидких стоков, накоплением твердых отходов, что оказывало

ridge which protects the hollow from the seaward side.

The site selected for the BAS also satisfies the other requirements: it is accessible to helicopters based on the supply vessel; the proximity of non-frozen water reservoirs (lakes) with fresh (potable) water; safe walking access for station staff around the territory of the possible construction, as well as the adjacent areas.

In accordance with the Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty, any activity in the Antarctic (research, tourism, construction and installation work, waste disposal, etc.) must be accompanied by an impact assessment at the planning stage. Planned changes in operations (including changes in research programs) are also the subject of environmental impact assessment.

In addition, as it was noted the planned creation of the Belarusian Antarctic Station to be implemented in the placement of the field base «Mount Vechernyaya» of RAE, which functioned in the 1980s. Functioning of the field base, primarily connected to the reception and refueling of airplanes, was inevitably accompanied by emissions, fuel leaks, lubricating oil, liquid waste and solid wastes accumulation that

воздействие на окружающую среду. В связи с этим необходимость проведения работ по оценке воздействия на окружающую среду приобретает особую актуальность.

В рамках задания «Оценка перспектив использования возобновляемых живых ресурсов прибрежных экосистем Антарктики и воздействия на окружающую среду деятельности, связанной с организацией и функционированием белорусской антарктической базы» Государственной программы «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций на 2011–2015 годы» выполнены необходимые исследования и подготовлена Всесторонняя оценка воздействия на окружающую среду (ВООС) деятельности, связанной с организацией и функционированием Белорусской антарктической станции. ВООС подготовлена в соответствии с требованиями Протокола по охране окружающей среды к Договору об Антарктике и представлена в Комитет по охране окружающей среды, Секретариат и Сторонам Договора об Антарктике.

Описание планируемой деятельности. Первая очередь научной станции предназначена для работы и проживания 5–6 полярников в течение летнего сезона; строительство запланировано на 2015–2018 гг. Вторая очередь станции, строительство которой начнется в более поздние сроки, рассчитана на 10–12 полярников и круглогодичную работу. Жизненный цикл модулей станции составит не менее 15–20 лет. Основными направлениями научной деятельности Республики Беларусь в Антарктике являются: комплексный наземный и спутниковый мониторинг тропосферного аэрозоля, облаков и подстилающей поверхности, комплексные исследования состояния озоносферы и ультрафиолетовой радиации, гидрометеорологическое обеспечение деятельности БАЭ и климатические исследования, разработка радиотехнических средств для мониторинга снежно-ледяного покрова и атмосферы в полярных районах, геофизические и геохимические исследования земной коры, биологические исследования, включающие изучение наземных и аквальных природных экосистем, видового разнообразия флоры и фауны и изменений под воздействием естественных и антропогенных факторов; геоэкологические исследования, включающие наблюдения за гидрохимическим составом вод озер и атмосферных выпадений, оценку накопления загрязняющих веществ и их поведения в условиях холодного климата, а также воздействия на окружающую среду деятельности, связанной с организацией и функционированием БАС.

Конструкция станции и источники воздействия. При разработке концепции строительства Белорусской антарктической станции учитывался современный зарубежный опыт строительства

has an impact on the environment. In this regard, the need for work on environmental impact assessment is of particular relevance.

The necessary on-site investigations has been carried out, Draft and Final Comprehensive Environmental Evaluation (CEE) were prepared in the framework of the National Program on Monitoring of the Earth's polar areas and promotion of the Arctic and Antarctic expeditions for the period 2011–2015 and in accordance with requirements of Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty with further submission of CEE to the Committee on Environmental Protection (CEP), Parties to the Antarctic Treaty and Antarctic Treaty Consultative Meeting (ATCM).

Description of the planned activity. The first phase of the research station is designed for the work and accommodation of 5–6 polar explorers during the Antarctic summer season. Construction will take place in 2015–2018. The second phase, to be undertaken at a later stage, will be designed for 10–12 polar explorers and for year-round operation. The life cycle of the station's modules shall be a minimum of 15–20 years. The major elements of Belarusian scientific investigations in Antarctica are: the comprehensive terrestrial and satellite monitoring of the tropospheric aerosol, clouds and underlying surface; comprehensive ozonosphere and ultraviolet radiation investigations; hydro-meteorological support of the BAE and climate research; development of radio devices for monitoring snow and ice cover and atmosphere in the polar regions; geophysical and geochemical surveys of the earth's crust; biological research, including the study of terrestrial and aquatic natural ecosystems, flora and fauna diversity and changes under the influence of natural and anthropogenic factors; geo-ecological studies, including observations of hydro-chemical composition of lakes water and atmospheric deposition, assessment of pollutants accumulation and behaviour in cold climate as well as the environmental impact of activities related to the organisation and operation of the BAS.

Station design and sources of impacts. Modern international experience in creating similar facilities of polar infrastructure, the practical experience of Belarusian explorers accumulated during their work in



аналогичных объектов полярной инфраструктуры, практический опыт, накопленный белорусскими полярниками в период их работы в антарктических экспедициях, а также необходимость соответствия всех объектов инфраструктуры БАС требованиям экологической безопасности для ограничения отрицательных воздействий на окружающую среду Антарктики и экосистемы.

В основе концепции строительства БАС лежит изготовление в Республике Беларусь малогабаритных сооружений модульного типа с последующей их доставкой наземным, морским и воздушным транспортом в Антарктиду и монтажом на месте с помощью вертолета.

Требования, предъявляемые к созданию объектов БАС: всепогодное исполнение, пригодность и безопасность эксплуатации в суровых условиях Антарктики, универсальность и компактность большинства служебно-жилых и специальных модулей.

Конструктивно Белорусская антарктическая станция будет состоять из сблокированных модулей различного назначения. Каждый модуль собирается на единой стационарной площадке-основании, которая будет поднята над поверхностью с помощью управляемых вручную аутригеров, установленных под каждым углом модуля.

На первом этапе строительства БАС в течение 2015–2018 гг. планируется доставить в Антарктиду и установить девять лабораторно-жилых, служебно-жилых, хозяйственных и производственных модулей.

Энергоснабжение станции будет базироваться на использовании дизель-генераторов. Подача электроэнергии от генераторов к модулям станции будет осуществляться по воздушным линиям электропередач.

Для водоснабжения будет использоваться вода близлежащих озер. Сточные воды будут собираться в специальные емкости (объемом 300–500 л), смонтированные в каждом модуле. После первичной очистки сброс сточных вод будет осуществляться в море в тех местах, где есть условия для первоначального разбавления и быстрого рассеивания.

Природные особенности. Природный комплекс, получивший наименование «Гора Вечерняя», расположен в западной части Земли Эндерби на Холмах Тала (восточная часть), в прибрежной зоне залива Алашеева моря Космонавтов. Он включает ряд скалистых гряд с доминирующей высотой – собственно г. Вечерней (272,0 м) и несколько более низких гряд, вытянутых практически параллельно берегу с ориентацией на северо-запад (рис. 5.2). Северо-восточные склоны гряд крутые и короткие, местами обрывистые, юго-западные – пологие. Гряды разделены террасированными долинами, днища которых заняты

past Antarctic expeditions, and the need for the entire BAS infrastructure to comply with environmental safety requirements in order to limit adverse impacts on the Antarctic environment and ecosystems, were taken into consideration in the development of the BAS concept.

The BAS design is conceptually based on small modular structures assembled in Belarus and subsequently delivered by land, sea and air transport to Antarctica and installed on site by helicopter.

The requirements for the elements of the BAS are: all-weather performance; suitability and safety of operation in the harsh Antarctic conditions; and versatility and space-saving design for most residential and service-specific modules.

Structurally, the BAS will consist of blocked modules of different functions. Each module will be built on a single stationary foundation base-plate, which will be raised above the surface with manually-operated outriggers mounted under each corner of the module.

The first phase of BAS construction in 2015–2018 envisages the fabrication of nine laboratory and residential, laboratory and service modules, kitchen and utility and technical blocks, boxes and pavilions to be delivered to Antarctica and installed on site.

The energy supply to the station will be based on the use of diesel generators. The supply of energy from the generators to the modules will be by aerial transmission lines.

Water from nearby lakes will be used for the water supply. Effluent will be collected in specially heated containers (300–500 litre capacity) located in each module. After the primary wastewater treatment it will be discharged into the sea where there are conditions for initial dilution and rapid dispersal.

Natural features. The natural complex, known as «Mount Vechernyaya», is located in the western part of Enderby Land, Thala Hills (eastern part), in the coastal area of the Alasheeva Gulf, Cosmonauts' Sea. It incorporates a series of rocky ridges with a dominant mountain, namely Mount Vechernyya (272.0 m), and several lower ridges, extending substantially parallel to the seashore oriented to the north-west (Fig. 5.2). The north-eastern slopes of the ridges are steep and short, sometimes precipitous, and gently sloping to the south-west. The ridges are separated by terraced valleys, with glaciers and river beds of temporary wa-



Рис. 5.2. Район г. Вечерняя и площадка планируемого размещения БАС на Google Maps
 Fig. 5.2. Google map of Mount Vechernyaya area (site of planned BAS location is shown)

ледниками и руслами временных водотоков. Залив Алашеева в данном месте вдается в сушу бухтами Вечерняя, Лазурная, Терпения и Заря, которые разделяются мысами Рог, Гнездовой и Доступный. В качестве восточной границы района можно принять выводной ледник Хейса. Практически вся территория района г. Вечерняя сложена гнейсами и плагиогнейсами чарнокитовой серии.

Территория, выбранная для строительства БАС, представляет собой один из оазисов Антарктиды, вытянутый примерно на 8 км вдоль берега с максимальной шириной около 2 км. Ледники здесь занимают 65–70% площади, скалы, не покрытые льдом территории – 30–35%, озера – 0,3–0,5%.

Средняя годовая температура воздуха в данном районе, по результатам наблюдений на станции «Молодежная», составляет $-11,0^{\circ}\text{C}$. Вторая половина зимы (июль–сентябрь) наиболее холодная, почти все абсолютные минимумы температуры зарегистрированы в эти месяцы и достигают в отдельные годы отметки -42°C .

В данном районе преобладают ветры от восточно-северо-восточного до юго-юго-восточного направлений, их повторяемость за год равна 85,7%. Штилевая погода не характерна, наибольшая повторяемость штилей приходится на июль–декабрь, а в феврале–апреле она составляет лишь 0,2–1,0%. Самые высокие скорости ветра отмечаются в марте и апреле, относительно менее ветреными являются январь и декабрь.

ter courses at their bottom. There, the Alasheeva Gulf cuts inland with the Vechernyaya, Lazurnaya, Terpeniya and Zarya Bays, which are separated by Capes Rog, Gnezdovoy and Dostupny. The Hayes outlet glacier can be considered the eastern boundary of the area. Virtually the entire territory of the Mount Vechernyaya region is composed of gneisses and plagiogneisses of the Charnockite Series.

The area stretched about 8 km along the seacoast; its utmost width is about 2 km. Glaciers here occupy 65–70% of the area, free-ice rocks – 30–35%, lakes – 0.3–0.5%.

According to the monitoring results from the station «Molodyozhnaya», the average annual ambient temperature in the area is -11.0°C . The second part of winter (July–September) is the coldest season, and almost all the absolute minimum temperatures have been recorded in these months, getting to -42°C in some years.

The given region is dominated by winds from the east-north-east to south-south-easterly direction, with an annual frequency of occurrence of 85.7%. Still weather is not typical. The maximum frequency of still weather is reported in July–December, while in February–April still weather is only 0.2–1.0% of the time. The highest wind speed have been recorded in March and April, and January and December are relatively less windy.

Среднее годовое количество осадков составляет 270 мм. Основное количество осадков выпадает с марта по сентябрь, их среднее количество в эти месяцы колеблется между 48 и 71 мм. Наименьшее количество осадков регистрируется в январе и декабре.

Методика исследований и исходные данные.

ВООС разработана в соответствии с требованиями Протокола по охране окружающей среды к Договору об Антарктике. Согласно статье 8 «Оценка воздействия на окружающую среду» Протокола, каждая Сторона обеспечивает применение установленных в Приложении 5.1 процедур оценки воздействия в процессе планирования, предшествующего принятию решений относительно любой деятельности в районе действия Договора об Антарктике в соответствии с научно-исследовательскими программами, туризмом и всеми другими видами правительственной и неправительственной деятельности в районе действия Договора об Антарктике, в отношении которых требуется заблаговременное уведомление в соответствии со статьей VII (5) Договора об Антарктике, включая связанную с ними вспомогательную логистическую деятельность.

До начала систематических наблюдений на станции необходима оценка исходного состояния как для обеспечения отправной точки мониторинговых наблюдений, так и для выявления вклада уже имеющихся изменений природной среды района размещения станции и прогнозируемых изменений состояния среды после осуществления той или иной деятельности.

Для подготовки ВООС были проанализированы международные руководства, подготовленные в рамках Договора об Антарктике, ВООС разных стран.

Для характеристики исходного состояния района будущего базирования БАС проанализированы опубликованные научные статьи, справочные материалы, материалы конференций; собраны данные по истории исследований в районе Земли Эндерби, в том числе отчеты РАЭ, касающиеся проведенных работ на станции «Молодежная» и полевой базе «Гора Вечерняя».

Для оценки воздействия планируемой деятельности в районе горы Вечерняя использовались методы сравнительно-географического анализа, моделирования, картографирования и другие. Раздельно рассматривалось воздействие при строительстве станции и ее функционировании. Рассматривалось прямое, опосредованное и кумулятивное воздействие. Для прогнозирования воздействия БАС на этапе функционирования принимались во внимание два сценария: сезонный (5–6 человек) и круглогодичный (10–12 человек).

Average annual precipitation is 270 mm. The main quantity of precipitation falls from March to September, with the average figure in these months fluctuating between 48 and 71 mm. The least amount of precipitation is recorded in January and December.

Methods of investigations and initial data. The CEE was developed in accordance with the requirements of the Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty. Pursuant to the 1991 Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty (Art. 8), 'Each Party shall ensure that the assessment procedures set out in Annex I are applied in the planning processes leading to decisions about any activities undertaken in the Antarctic Treaty area pursuant to scientific research programs, tourism and all other governmental and non-governmental activities in the Antarctic Treaty area for which advance notice is required under Article VII (5) of the Antarctic Treaty, including associated logistic support activities'.

Before the start of systematic observations at the station an evaluation of the initial state as the starting point for monitoring observations, identification of the contribution of existing environmental changes within the area and projection of changes in the state of the environment after the implementation of an activity are necessary.

International guidelines prepared under the Antarctic Treaty, requirements of the Protocol on Environmental Protection and CEE for other Antarctic stations were analysed.

To define the reference state of the region, scientific publications devoted history of investigations within the Enderby Land, reference data, reports of the Russian Antarctic Expedition related to the station «Molodezhnaya» and field base «Mount Vechernyaya» operation were collected and analysed.

For impact assessment of the planned activity at Mount Vechernyaya area, different methods of comparative geographical analysis, modeling, mapping and other were used. Impacts resulting from the station construction and operation were subject to separate assessment. Direct, indirect and cumulative impacts were analysed. Two scenarios were taken into consideration to predict the BAS environmental impacts during the operation phase: seasonal (5–6 persons) and all-year-round (10–12 persons).

Основное внимание в ВООС уделялось прямому воздействию, как наиболее важному с точки зрения последствий для окружающей среды, а также из-за недостаточной методической базы прогноза опосредованного и кумулятивного воздействия.

В качестве исходных данных использованы результаты эколого-геохимических исследований в районе планируемого размещения БАС в 2011–2012 гг. во время 4-й БАЭ и в 2012–2013 гг. во время 5-й БАЭ. Эколого-геохимические исследования включали отбор проб снега, поверхностных вод, донных отложений, почв/грунта.

Выбор точек опробования осуществлялся с учетом природных особенностей района исследований, а также местоположения возможных источников загрязнения.

Всего в 2011–2012 г. во время 4-й БАЭ в районе полевой базы «Гора Вечерняя» отобрано 17 проб, из них 14 – водные. Во время 5-й БАЭ отобрано 45 проб, в том числе 29 проб снеговых вод, из которых 18 отобрано в районе размещения полевой базы «Гора Вечерняя» и 4 – на склоне ледникового купола по профилю на удаление до 5 км от полевой базы, 2 пробы ледовой воды на леднике Хейса. Отобрано 5 проб поверхностных вод из озер, 3 пробы донных отложений. Во время 4-й БАЭ пробы отбирались А. А. Гайдашовым, 5-й – В. Е. Мяминым. Схема эколого-геохимического опробования района горы Вечерняя во время 4-й и 5-й БАЭ представлена на рис. 5.3.

The CEE is focused on direct impacts as the most important issue in terms of environmental consequences, as well as due to inadequate methodological background for indirect and cumulative impact projection.

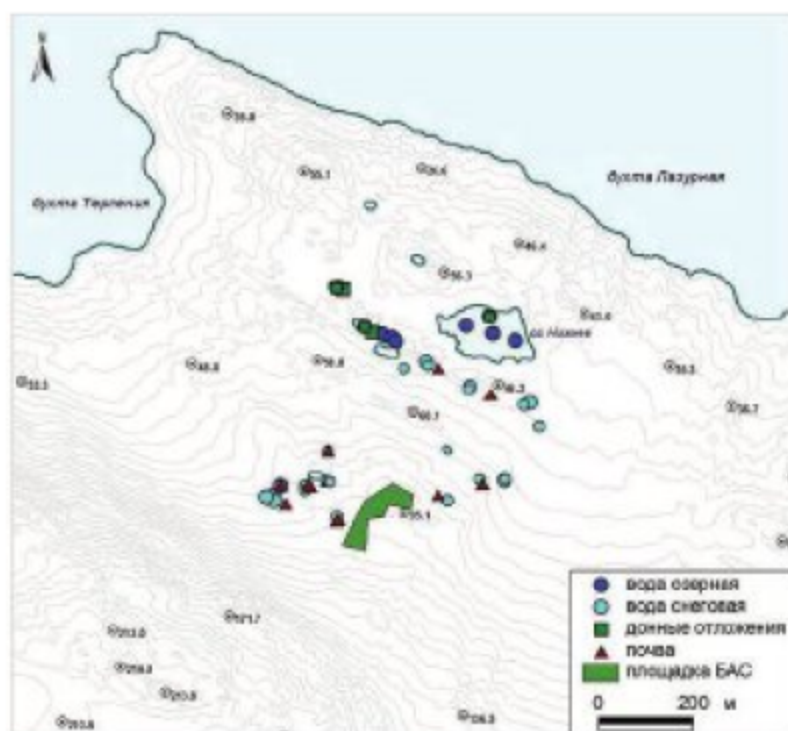
To assess the environmental conditions in the vicinity of the proposed BAS construction, the 4th BAE (2011–2012) and 5th BAE (2012–2013) performed environmental and geochemical studies in the area of the planned BAS deployment. The environmental and geochemical studies included sampling of snow, surface water, bottom sediments and soils.

The sampling points were selected taking into account the features of nature as well as locations of possible pollution sources.

In total at the 4th BAE in 2011–2012 17 samples at 8 points in the vicinity of the «Mount Vechernyaya» field base location, including 14 water samples (surface and snow waters), 2 bottom sediment samples, one soil sample were taken. During the 5th BAE 23 samples of snow waters were taken, including 18 samples at the «Mount Vechernyaya» field base location and 5 samples at the ice cap slope at max. 5 km distance from the field base, 1 sample of water ice on the Hayes glacier. 5 samples of surface water from lakes, 3 sediment samples and 13 samples of solid substrates (soil, colluvial & dealluvial deposits, etc.) were also taken. During the 4th BAE samples were taken by A. Gaydashou, 5th – by V. Myamin. Sampling plan is shown on the Fig. 5.3.

Рис. 5.3. Схема эколого-геохимического опробования в районе размещения полевой базы «Гора Вечерняя»

Fig. 5.3. Sampling plan of snow, surface water, bottom sediments and soils at the «Mount Vechernyaya» field base location



Расчет выбросов загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников выполнен на основе удельных показателей согласно (Методика расчета..., 2001; IPCC 2006; ЕМЕП/ЕЕА Atmospheric..., 2009).

Для оценки шумового воздействия вертолета использована модель NMSim v.3.0. NMSim (Noise Model SIMulation – имитационная модель шума), которая генерирует временные диаграммы шума от движущихся или стационарных источников с учетом влияния реальной местности на распространение звука. Расчет уровней шума при строительстве выполнен по алгоритмам, согласно утвержденным методикам (ТКП 45-2.04-154-2009).

Для оценки воздействий на атмосферный воздух при функционировании БАС выполнены модельные расчеты рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе от основных стационарных источников с использованием модели AERMOD (версия 12345). Рассчитывались максимальные и средние часовые, 8-часовые и суточные концентрации загрязняющих веществ, а также суточные и месячные концентрации за расчетный период. Расчет выполнен для двух сценариев выбросов загрязняющих веществ.

Скорость разбавления сточных вод после сброса в море оценивалась с использованием модели Visual Plumes AOOC (США).

Для предотвращения негативного воздействия на окружающую среду при строительстве и функционировании БАС разработаны мероприятия для идентифицированных видов воздействия, программы управления отходами и программа мониторинга окружающей среды.

Исходное состояние окружающей среды. Почвенный покров в районе планируемого размещения БАС сформировался лишь фрагментарно, в местах, не перекрытых ледниками, там, где есть условия для накопления рыхлого материала коллювиального и флювиогляциального происхождения, т. е. преимущественно в понижениях склонов и ложбинах стока.

Минеральная часть почв, отобранных на разных участках в районе г. Вечерняя, характеризуется доминированием соединений кремния (среднее содержание составляет 63,4%); на долю соединений алюминия и железа приходится соответственно 14,1 и 8,0%, оксидов кальция, натрия, магния и калия – соответственно 4,5; 3,5; 2,3 и 2%. Почвы местами подверглись трансформации под воздействием предшествующей деятельности, о чем свидетельствуют наличие в них нефтепродуктов.

В районе горы Вечерняя было обнаружено более 20 временных и постоянных озер. Площадь их поверхности варьируется от нескольких десятков до нескольких тысяч квадратных метров, при глубинах от нескольких десятков сантиметров до 20 м и более.

The estimation of emissions caused by stationary and mobile sources was carried out on the basis of emission factors according to (Calculation methodology..., 2001; IPCC 2006; EMEP/EEA Atmospheric..., 2009).

To assess the helicopter-caused noise impact, NMSim v.3.0 model was applied. NMSim (Noise Model SIMulation) was developed to generate time-based diagrams of noise exposure from moving or fixed sources, taking into account the influence of terrain environments on sound propagation. The noise level assessment during the BAS construction was effected under the approved algorithms (TKP 45-2.04-154-2009).

For ambient air impact assessment during the BAS operation, simulations of pollutant dispersion in atmosphere as generated by stationary sources were performed by use of AERMOD model (Version 12345). Maximum and average hourly, 8-hour and daily concentrations of pollutants, as well as mean daily and monthly concentrations for the reporting periods were calculated. Calculations were made for 2 scenarios of pollutant emissions.

The dilution rate of wastewater discharge into the sea was assessed by use of Visual Plumes model of the U.S. Environmental Protection Agency.

To prevent negative environmental impacts during BAS construction and operation some measures for identified impacts were designed; Waste Management Program and Environmental Monitoring Program were developed.

Initial Environmental Reference State. The soil cover in the area of planned BAS construction has been formed partially, only in places that are not covered by glaciers, where there are conditions for the accumulation of friable material of colluvial and fluvio-glacial origin – mainly in the hollows of slopes and water flow valley.

The mineral part of the soils sampled at different sites in the vicinity of Mount Vechernyaya are characterised by the dominance of silicon compounds (average content of 63.4%); iron and aluminum compounds, have 14.1 and 8.0% content respectively; and calcium oxide, sodium, potassium and magnesium have 4.5, 3.5, 2.3 and 2%, respectively. The soils have been transformed in some places under the influence of preceding activities, as evidenced by the presence of oil products.

In the Mount Vechernyaya region more than twenty permanent and temporary lakes were identified. Their surface area ranges from several tens to several thousands of square meters, with depths ranging from several tens of centimeters to 20 meters or deeper.

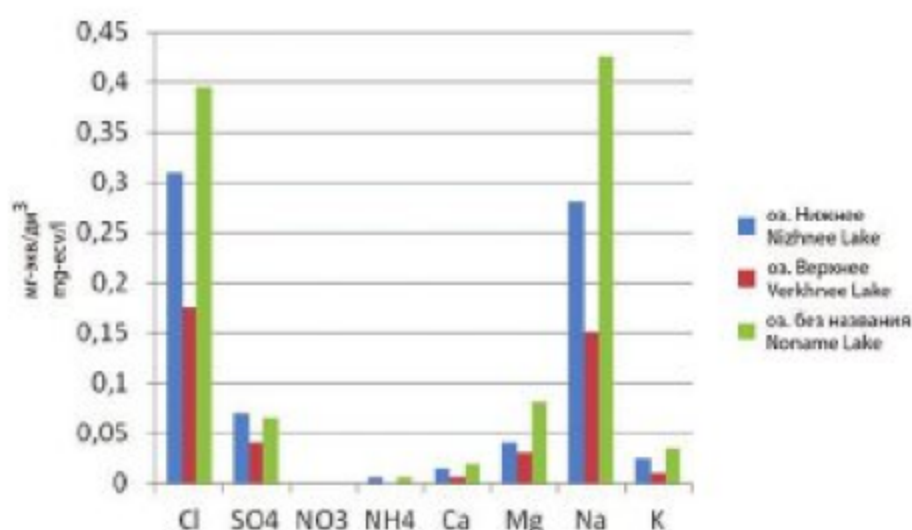


Рис. 5.4. Содержание основных ионов в водах озер района г. Вечерняя (данные опробования 2012 г.)

Fig. 5.4. The content of main ions in the lake waters of Vechernyaya oases (by the data 2012)

Самые большие озера, расположенные у г. Вечерняя, – Нижнее (площадь около 1,5 га) – и Верхнее (площадь 0,15 га). Данные озера соединены временным водотоком. Уровневый режим озер непостоянный и зависит от интенсивности таяния снега.

Для определения химического состава озерных вод во время двух экспедиций БАЭ (2011–2012 и 2012–2013 гг.) были отобраны пробы. Вода в озерах низкоминерализованная; сумма ионов варьируется от 7,6 до 39,0 мг/л. В составе анионов во всех пробах преобладают хлориды, в составе катионов – ионы натрия (рис. 5.4). Ионный баланс свидетельствует о значительном влиянии океана на ионный состав озерных вод, что объяснимо расположением их у побережья.

Исследования показали, что содержание большинства микроэлементов в воде озер варьируется в диапазоне от значений ниже предела обнаружения до 10 мкг/л, в том числе свинца – до 1,88, кадмия – до 0,53, никеля – до 0,69, кобальта – до 0,29, мышьяка – до 0,39, меди – до 2,17, хрома – до 1,40 мкг/л. Идентифицировано также присутствие нефтепродуктов.

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях озер существенно выше, чем в почвах района г. Вечерняя, прежде всего меди и цинка (рис. 5.5). Наиболее высокие концентрации тяжелых металлов выявлены в донных отложениях озера Верхнее, например, цинка – 162,8 мг/кг, свинца – 36,3 мг/кг.

В донных отложениях оз. Верхнее также зафиксированы повышенные концентрации нефтепродуктов.

The biggest lakes are Nizhnyeye Lake (Lower Lake), about 1.5 ha and Verkhnyeye Lake (Upper Lake), 0.15 ha. These lakes are connected by a temporary watercourse. The water level of the lakes is unstable and depends on the intensity of snow-melt.

To determine the chemical composition of lake waters, water samples were taken from the Nizhnyeye, Verkhnyeye and No Name Lakes by two Belarusian Antarctic Expeditions (2011–2012 and 2012–2013). The lake waters were reported to be low in mineralization, with ion contents ranging from 7.6 to 39.0 mg/l. Anions in all samples are dominated by chlorides (59–84%) and cations are mainly represented by sodium ions (68–81%) (Fig. 5.4). The ion balance demonstrates a significant influence of ocean water on the chemical composition of lake waters, which is explicable by their littoral location.

Research showed that the majority of trace elements in the waters varies on a scale from below the detection limit to 10 mg/l. Results included: lead – up to 1.88 mg/l; cadmium – up to 0.53, nickel – up to 0.69, cobalt – up to 0.29, arsenic – up to 0.39, copper – up to 2.17 and chromium – up to 1.40 mg/l. The presence of oil products was detected.

The content of heavy metals in the lake sediments was significantly higher than in the soils of the Mount Vechernyaya region, first of all copper and zinc (Fig. 5.5). The mostly high concentration of heavy metal were recorded in the Lake Verkhnyeye sediment samples, for example, zinc – 162.8 mg/kg, lead – 36.3 mg/kg.

Higher concentrations of total petroleum hydrocarbons were also recorded in the Lake Verkhnyeye sediment samples.

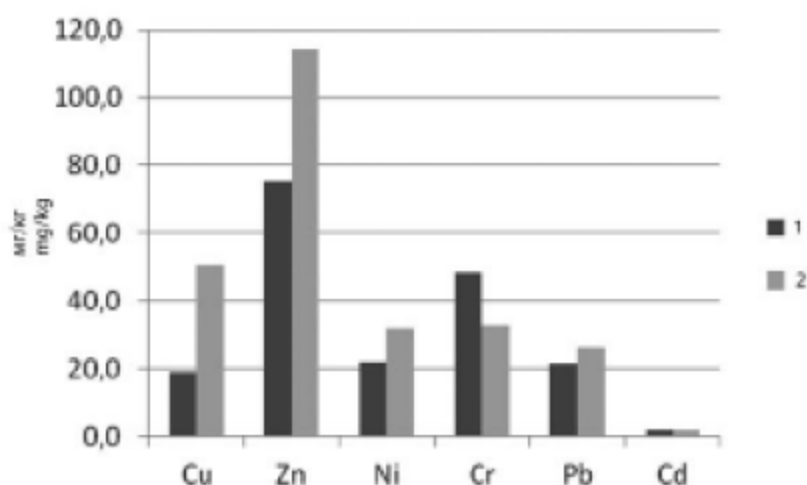


Рис. 5.5. Среднее содержание тяжелых металлов в почве (1) и донных отложениях (2) района г. Вечерняя
 Fig. 5.5. Average content of heavy metals in soil (1) and bottom sediments (2) in Vechernyaya oasis

Повышенные концентрации нефтепродуктов в воде озер, а также повышенные концентрации тяжелых металлов и нефтепродуктов в донных отложениях озерных экосистемах, являются результатом предыдущей хозяйственной деятельности.

Изучение химического состава снега показало, что общая минерализация снеговых вод составляет от 1,5 до 8,4 мг/л при среднем значении 3,1 мг/л. Снеговые воды по составу анионов относятся к хлоридным. Содержание сульфатов в снеговых водах варьировалось в диапазоне от значений ниже предела определения до 0,20 мг S/l (при среднем значении 0,1 мг S/l), хлоридов – от 1,1 до 2,4 мг/л (среднее – 1,5 мг/л), ионов натрия – от 0,3 до 1,1 мг/л (среднее – 0,57 мг/л).

Выявлено, что минерализация проб снеговых вод, отобранных на ледниковом куполе на удалении до 5 км от БАС, в среднем на 20% ниже, чем минерализация вод на территории станции; также меньше содержание всех основных компонентов ионного состава. Не выявлено существенного изменения ионного состава снеговых вод под воздействием антропогенной деятельности на г. Вечерняя. В то же время по содержанию микроэлементов в снеге влияние полевой базы проявляется достаточно отчетливо (рис. 5.6).

Биологические исследования, выполненные белорусскими полярниками в районе г. Вечерняя, показали, что Царства Растения и Грибы представлены только низшими группами: Лишайники (Lichenophyta) – 29 видов, Мохообразные (Bryophyta) – 3 вида, Водоросли (Algae) – 150 видов, Грибы (Fungi) – отмечен 1 лишенофильный (обитающий на лишайниках) вид *Arthonia molendoi* (Гигиняк и др., 2012; Бородин и др., 2014).

The elevated concentrations of total petroleum hydrocarbons in the lake water, as well as the elevated concentrations of heavy metals and TPH in the lake ecosystem sediments are the result of past anthropogenic activities.

According to research carried out in January 2013 the mineralisation of snow water ranges from 1.5 to 8.4 mg/l, with an average of 3.1 mg/l. Chlorides account for the anionic composition of snow water. The content of sulfates in snow waters ranges from values below the detection limit to about 0.20 mg S/l (mean 0.1 mg S/l), chlorides – 1.1 to 2.4 mg/l (mean 1.5 mg/l), sodium ions – 0.3 to 1.1 mg/l (mean 0.57 mg/l).

Snow water mineralisation, as sampled on the ice cap 5 km away from the BAS, was found to be on average 20% lower than the mineralisation at the station site. The content of the main ionic elements was less as well. No significant changes in the ionic composition of snow waters as a result of anthropogenic activities at Mount Vechernyaya were identified. At that time the impact of the previous human activity appears quite clear by the results of heavy metals content in the snow (Fig. 5.6).

Biological investigation performed by Belarusian explorers at the region of Mount Vechernyaya have shown that the Plants and Fungi kingdoms are represented by lower groups only, i. e.: lichens (Lichenophyta) – 29 species from 3 groups, including seven species being endemic to Antarctica; bryophytes (Bryophyta) – 3 species; seaweed (Algae) – 150 species of 8 groups. Fungi – 1 lichenophytic specie (living on lichens), *Arthonia molendoi* (Giginyak et al., 2012; Borodin et al., 2014).

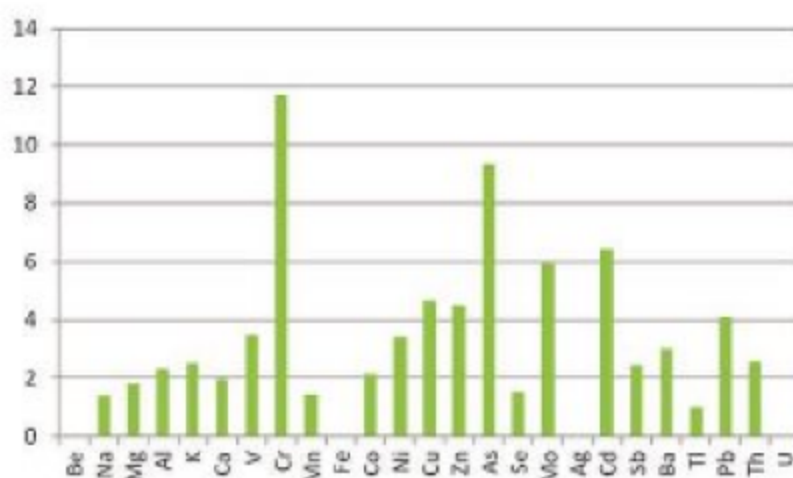


Рис. 5.6. Кратность превышения содержания микроэлементов в пробах снеговых вод, отобранных в районе размещения полевой базы «Гора Вечерняя» по сравнению с пробами, отобранными на удалении более 2 км от полевой базы

Fig. 5.6. Multiple of excess of trace elements in snow water samples taken at the «Mount Vechernyaya» field base location, as compared to samples taken at 2 km or more distance from the field base

Наиболее распространены в данной местности, темно-серые или почти черные накипные лишайники, которые встречаются на поверхности скал в виде отдельных пятен, достигающих иногда нескольких квадратных метров. После лишайников наиболее распространенным компонентом растительного покрова в данной местности являются мхи. Они селятся в местах с постоянным достаточным увлажнением и наблюдаются на дне озера Нижнее, не промерзающего в зимнее время. Среди водорослей доминируют представители двух классов – Bacillariophyta (диатомовые) и Cyanophyta (синезеленые).

На расстоянии 20–30 м от границы застройки БАС находится одна целостная экосистема (биоценоз), представленная сообществом лишайников, мхов и наземных водорослей. Общая площадь биоценоза составляет около 150 м².

Представители животного мира, трофически связанные с сушей и наблюдавшиеся здесь в период проведения экспедиционных работ, весьма невелики (около 1 мм). Обитают они под камнями, в трещинах и растительных дернинах. К ним относятся несколько видов клещей, обнаруженных при отборе биологических образцов.

На северных и северо-восточных склонах горы Вечерняя выявлены две колонии пингвинов Адели численностью 500–600 особей. Единично или небольшими группами встречается императорский пингвин. В незначительном количестве гнездятся снежные буревестники и южные полярные поморники.

Оценка воздействия. Выполнена оценка воздействий на окружающую среду Антарктики на стадиях строительства и функционирования станции, учитывающая все основные факторы воздейст-

Crustaceous lichens, coloured dark gray or almost black, turn to be most common in the area. They are found on the surface of rocks in the form of individual spots, sometimes reaching several square meters. Following the lichens, the most common component of the vegetation in the area are mosses. They settle in areas with constant and adequate moisture and are found at the bottom of the Nizhneye Lake (which does not freeze through in winter). Two classes of algae – Bacillariophyta (diatoms) and Cyanophyta (blue-green) – dominate at the area among other algae.

At a distance of 20–30 m from the BAS deployment boundary, there is an integrated ecosystem (biocenose), represented by the colonies of lichens, mosses and terrestrial algae. The total biocenose area is approximately 150 m².

Wildlife species, which are trophically associated with the land and observed there during the BAE field work, are rather small (sized about 1 mm). They live under rocks, in cracks and plant sod. These are several species of mites found during biological sampling.

At the northern and north-eastern slopes of the Mount Vechernyaya two colonies of Adelie penguins were found, counting 500–600 animals. A minor colony of nesting snow petrels and south polar skua gulls was also found there.

Impact assessment. An assessment of impacts on the Antarctic environment was carried out at the stages of station construction and operation, taking into account all the main impact factors (pollutant

вия (выбросы загрязняющих веществ, шум, сбросы сточных вод, отходы, электромагнитное излучение) и источники воздействия (механизмы и оборудование систем энергообеспечения, моторные транспортные средства, системы хранения и распределения топлива, системы водоснабжения и водоотведения, системы обращения с твердыми отходами, вспомогательное и научное оборудование) и все основные компоненты природной среды.

Оценка включала количественную характеристику источника воздействия (выбросов, шума, сбросов, накопления отходов и т. д.) и идентификацию воздействия (рецептора) – расчетные уровни содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе различного осреднения, уровни шума, концентрации загрязняющих веществ в точке сброса сточных вод и т. д. Оценены прогнозные выбросы основных и специфических загрязняющих веществ от стационарных (дизель-генераторы, инсинератор) и передвижных (вертолет, снегоходы и др.) источников на стадии строительства для сезонного и зимовочного вариантов функционирования станции.

Результаты расчета загрязняющих веществ использованы при моделировании их рассеяния. Установлено, что максимальные среднечасовые концентрации диоксида азота в районе лабораторно-жилых модулей станции составят 67,0–77,2 мкг/м³, среднесуточные – 15,9–27,8 мкг/м³, что в 2,5–3 раза ниже норматива ПДК максимальной разовой и в 1,4–2,5 раза меньше ПДК среднесуточной (Какарека, Саливончик, 2015). По другим загрязняющим веществам загрязнение атмосферного воздуха будет существенно меньше. Максимальная среднечасовая концентрация диоксида серы, к которому растительность наиболее чувствительна, составит на участке мохово-лишайниковой ассоциации 14,8 мкг/м³, среднесуточная – 3,5 мкг/м³, среднемесячная – 0,67 мкг/м³, что существенно ниже критического уровня для лишайников (10 мкг/м³), согласно рекомендациям ВОЗ.

Оценки шумового воздействия вертолета показали, что на мысе Гнездовой, где находится колония пингвинов, потенциально подверженная шумовому воздействию, линейно-взвешенные уровни шума не превысят 65 дБ, А-взвешенные – 55 дБ. Максимальные уровни шума на БАС могут достигать 95 дБА, однако время с такими уровнями будет весьма непродолжительным, в связи с чем эквивалентные уровни шума Leq и уровни LDN не превысят 50–60 дБА, что укладывается в существующие нормативы для жилых территорий. Выполненный расчет уровней шума от дизель-генераторов показал, что уровни звукового давления на территории, прилегающей к лабораторно-жилым модулям, не превысят установленных нормативов.

Оценка скорости разбавления сточных вод после сброса в море с использованием модели Visual

emissions, noise, wastewater discharges, wastes, electromagnetic radiation) and sources of impact (power supply systems and mechanisms, motor vehicles, fuel storage and distribution systems, water supply and sewerage systems, solid waste management, auxiliary and scientific equipment), and all the main components of the natural milieu.

The assessment includes a quantitative analysis of each impact source (emissions, noise, discharges, waste generation, etc.) and the identification of impact (receptor) – levels of pollutants in ambient air were calculated, as well as noise levels, the concentration of pollutants in sewage outfalls, etc. Projected emissions of the main and specific pollutants from fixed (diesel generators, incinerator) and mobile (helicopter, snowmobiles, etc.) sources during the construction phase, as well as for seasonal and wintering options of the station operation were also evaluated.

The results of emission estimate were used for modelling of the dispersion of pollutants. It was found that the maximal average hourly concentration of nitrogen dioxide in the region of the laboratory-residential station modules would be 67.0–77.2 mg/m³, the daily average – 15.9–27.8 mg/m³, which is 2.5 to 3 times lower than the single MPC value, and 1.4 to 2.5 times less than the average national daily MPC value (Kakareka, Salivonchik, 2015). Atmospheric pollution will be substantially lower for other pollutants. The maximum hourly average concentration of sulfur dioxide, to which vegetation is the most sensitive, will amount to 14.8 mg/m³ at the moss and lichens community, average daily – 3.5 mg/m³, average monthly – 0.67 mg/m³, well below the critical level for lichens (10 mg/m³), as recommended by the WHO.

Calculations of helicopter noise impact showed that at Cape Gnezdovoy where there is a penguin colony potentially susceptible, the linear-weighted noise levels will not exceed 65 dB, and A-weighted will not exceed 55 dB. Maximum noise levels at the BAS could reach 95 dBA, but the time of such levels will be very short, and therefore the equivalent noise level Leq and LDN levels will not exceed 50–60 dBA, which meets existing norms for residential areas. The calculations of noise levels from diesel generators showed that the level of sound intensity in the area adjacent to the laboratory-residential modules will not exceed established norms.

The assessment of the dilution rate of sewage discharges into the sea using USEPA's Visual Plumes

Plumes АООС (США) показала, что концентрация загрязняющих веществ уменьшится в 91 раз уже на расстоянии 1,5–5,5 м от точки сброса.

Установлено, что на фоне преобразованности природной среды в районе г.Вечерняя вклад воздействия в связи со строительством и функционированием БАС в общую трансформацию природных компонентов района размещения БАС будет незначительным.

По итогам проведенных исследований в 2013 г. был подготовлен Проект Всесторонней оценки окружающей среды в районе предполагаемого базирования Белорусской антарктической станции.

Проведенный анализ планируемой научной деятельности позволил заключить, что полученные знания и связанные с ними социально-экономические выгоды в результате проведения научных исследований на БАС (Земля Эндерби, Восточная Антарктида) в рамках национальной научной антарктической программы существенно перекроют те минимальные потери, которые могут быть нанесены природной среде Антарктиды в процессе строительства и функционирования станции. Сделан также вывод, что научные результаты, которые будут получены после строительства и начала функционирования станции на горе Вечерняя (Земля Эндерби), превысят «более чем незначительное или ограниченное во времени воздействие», которое станция окажет на окружающую среду Антарктики в этой значительно трансформированной предшествующей деятельностью местности. Строительство белорусской станции определенно позволит существенно повысить потенциал научных исследований и уровень международного сотрудничества в Антарктике.

В январе 2014 г., в соответствии с установленными сроками и процедурами, Проект Всесторонней оценки окружающей среды был направлен Сторонам Договора об Антарктике, Комитету по окружающей среде (КООС) и Секретариату Договора об Антарктике. Английская и русская версии Проекта ВООС были сделаны общедоступными путем их публикации на сайте Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и на сайте Договора. Рассмотрение проекта ВООС состоялось на XXXVII Консультативном совещании по Договору об Антарктике, проходившем в г. Бразилиа (Бразилия) с 28 апреля по 7 мая. Согласно Заключительному отчету XXXVII КСДА (2014), Проект ВООС в основном соответствует требованиям Статьи 3 Приложения I к Протоколу по охране окружающей среды к Договору об Антарктике; если Республика Беларусь примет решение начать предложенную деятельность, она должна предоставить дополнительную информацию

model showed that the concentration of pollutants will drop 91 times at a distance of 1.5–5.5 m from the discharge point.

It was established that, in the context of the maturation of the natural environment in the Mount Vechernyaya region, the contribution of the impact of the construction and operation of the BAS in the overall transformation of the natural components of the region where the BAS is located will be minor.

As a result of investigations in 2013 Draft Comprehensive Evaluation of Belarusian Antarctic Station at Mount Vechernyaya, Enderby Land, has been prepared taking into consideration the current state of knowledge on the Mount Vechernyaya environmental situation and projected impacts.

Analysis of the planned research activities makes it possible to conclude that the knowledge gained and the associated socio-economic and other benefits resulting from research to be carried out at the Belarusian Antarctic Station under the National Scientific Program will outweigh the minimal losses that may be caused to the natural Antarctic environment during the construction and operation of the station. It was also concluded that the scientific results to be gained by the construction and operation of new research station at Mount Vechernyaya, Enderby Land will outweigh likely more than a minor or transitory impact the station will likely have on the Antarctic environment at this highly impacted by earlier activities area; scope for co-operation of scientific efforts will be enhanced. Construction of the Belarusian station will significantly increase the capacity of research and the level of international cooperation in this region of Antarctica.

In January 2014, in accordance with the requirements of the Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty, a Draft Comprehensive Environmental Evaluation was submitted to the Parties to the Antarctic Treaty, Committee on Environmental Protection (CEP) and to the Secretariat of Antarctic Treaty in accordance with the established terms and procedures. The Draft CEE was presented by the Republic of Belarus at the 37th Consultative Meeting of the Antarctic Treaty in Brasilia, Brazil, held on April 28 to May 7, 2014 (see XXXVII ATCM / WP022). Having analyzed the Draft CEE, CEP informed ATCM that the draft CEE substantially met the requirements of Article 3 of Annex I to the Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty (CEP Report XVII). It was noted that, in general, the Draft CEE represented a clear, well-structured and duly formalised report, although it was recommended to enhance maps and drawings and provide additional information and

или разъяснения по ряду аспектов в требуемой окончательной ВООС.

В 2014 г. была подготовлена Окончательная Всесторонняя оценка, учитывающая замечания и предложения Сторон. Значительные изменения были внесены в конструкцию станции, что делает ее более безопасной и экологичной. Существенно дополнены программы мониторинга, планы по обращению с отходами, мероприятия по предотвращению интродукции чужеродных видов и другие разделы ВООС. Детальные ответы на замечания приведены в Приложении 4 к Окончательной Всесторонней оценке. На заседании КОС XVIII в рамках XXXVIII КСДА было отмечено, что, распространив Окончательную ВООС и представив данный документ, в котором подробно изложено, каким образом были учтены полученные замечания, Беларусь выполнила свое обязательство в соответствии с Приложением I к Протоколу по охране окружающей среды. Комитет пожелал Беларуси успехов в строительстве и эксплуатации ее станции на горе Вечерняя, Земля Эндерби (Заключительный отчет XXXVIII КСДА, 2015).

explanations to ensure a comprehensive assessment of the proposed activities.

In 2014 the Final CEE was prepared taking into account the comments and suggestions made by the Parties. Significant changes were made to the station design, making it safer and more environmentally friendly. Proposals were made on monitoring program focused on confirming the accuracy of predictions about the environmental impacts and identification of unforeseen impacts or those resulting in extra exposure. The Waste Management Plan and measures to prevent the introduction of non-native species have been considerably expanded. Detailed responses to the comments are given in Annex 4 to the Final CEE. At the CEP XVIII of the XXXVIII ATCM the Committee welcomed the paper from Belarus. It noted that, in circulating the final CEE and presenting this paper, which detailed how it took into account the comments received, Belarus had met its obligation under Annex I of the Environmental Protocol. The Committee wished Belarus success in implementing the construction and operation of its station at Mount Vechernyaya, Enderby Land (Final Report of the XXXVIII ATCM, 2015).



Литература References

1. Гигиняк, Ю. Г. Новые данные о лишайниках Земли Эндерби (Восточная Антарктида) / Ю. Г. Гигиняк, А. П. Яцына, О. И. Бородин // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2012. – Т. 56, № 3. – С. 249–252.
2. Современное состояние изученности биологического разнообразия окрестностей полевой базы «Гора Вечерняя» (Восточная Антарктида) / О. И. Бородин [и др.] // Мониторинг состояния природной среды Антарктики и обеспечение деятельности национальных экспедиций: материалы I Междунар. науч.-практ. конф. (к. п. Нарочь, 26–29 мая 2014 г.). – Минск: Экоперспектива, 2014. – С. 19–23.
3. Заключительный отчет XXXVIII КСДА, 2015.
4. Какарека, С. В. Применение модели AERMOD для расчета рассеяния выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников / С. В. Какарека, С. В. Саливончик // География и природные ресурсы. – 2015. – № 1. – С. 175–184.
5. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных дизельных установок / утв. Министром природных ресурсов Российской Федерации 14.02.2011. – СПб., 2001.
6. Строительство и функционирование Белорусской антарктической станции на горе Вечерняя, Земля Эндерби. Проект Всесторонней оценки окружающей среды [Электронный ресурс]. – Минск, 2013. – 171 с. – Режим доступа: http://www.ats.aq/documents/EIA/01560ruDraft_CEE_BAS_ru.pdf.
7. Строительство и функционирование Белорусской антарктической станции на горе Вечерняя, Земля Эндерби. Окончательная Всесторонняя оценка окружающей среды [Электронный ресурс]. – Минск, 2014. – Режим доступа: http://www.ats.aq/devAS/ep_eia_listitem.aspx?lang=r.
8. ТКП 45-2.04-154-2009 (02250) Защита от шума. Строительные нормы проектирования.
9. EMEP/EEA Atmospheric Air Pollutant Emission Inventory Guidebook. 2009. Technical guidance to prepare national emission inventories No 9/2009.
10. IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by National IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. – IGES (Japan), 2006.
11. Users Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET). EPA-454/B-03-002. – U. S. Environmental Protection Agency; Research Triangle Park; North Carolina, 2004. – 99 p.
12. Users Guide for the AMS/EPA Regulatory Model – AERMOD. EPA-454/B-03-001. – U. S. Environmental Protection Agency; Research Triangle Park; North Carolina, 2004. – 149 p.





ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЭКСПЕДИЦИОННЫХ РАБОТ

PROSPECTS OF RESEARCH AND EXPEDITION WORK

Планирование и выполнение работ в 2016–2020 гг. будут осуществляться в рамках подпрограммы «Мониторинг полярных районов Земли, создание белорусской антарктической станции и обеспечение деятельности полярных экспедиций на 2016–2020 годы» Государственной программы «Новые и высокие технологии и техника».

The planning and execution of work in the coming years will be carried out in 2016–2020 will be carried out within the framework of sub-program «Monitoring of the Earth's polar regions, the creation of the Belarusian Antarctic station and maintenance of the polar expeditions 2016–2020» of the State program «New and High Technology and Engineering».



6.1. Приоритетные направления деятельности

В рамках реализации мероприятий подпрограммы «Мониторинг полярных районов Земли, создание белорусской антарктической станции и обеспечение деятельности полярных экспедиций на 2016–2020 годы» Государственной программы «Новые и высокие технологии и техника» (далее – Подпрограмма) и выполнения международных обязательств по Договору об Антарктике приоритетными направлениями деятельности Республики Беларусь в Антарктике на 2016–2020 гг. будут являться:

- работы по созданию инфраструктуры белорусской научной станции в Антарктиде (проектирование, изготовление, доставка, монтаж и ввод в эксплуатацию жилых, лабораторных, природоохранных и технологических объектов) включая обновление парка транспортных средств, оснащение современными средствами связи и телекоммуникаций, создание надежных и эффективных систем энергообеспечения и экологической безопасности, аварийных запасов продуктов, медикаментов и горюче-смазочных материалов, а также приемлемых условий для круглогодичной научной и производственной деятельности, медицинского обслуживания, организации быта и досуга научно-технического персонала БАЭ в количестве до 12 человек;

6.1. Priority directions of activity

In the framework of the subprogram «Monitoring the Earth's polar regions, the creation of the Belarusian Antarctic station and maintenance of the polar expeditions 2016–2020» of the State program «New and high technologies and equipment» (hereinafter – Sub-program) and the implementation of international obligations under the Antarctic Treaty, the priorities of the Republic of Belarus activity in Antarctic 2016–2020 will be the following:

- infrastructure works of the Belarusian scientific station in Antarctica (design, manufacture, delivery, installation and commissioning of residential, laboratory, environmental and technological objects) including the updating of the car park, equipment with modern means of communication and telecommunication, the establishment of reliable and efficient energy systems and environmental safety, emergency stocks of food, medicine, fuel and lubricants, as well as suitable conditions for year-round scientific and production activity, medical care, welfare and recreation of scientific and technical personnel of BAE in the number of up to 12 people;

– фундаментально ориентированные исследования процессов в окружающей среде Антарктики, их связи с глобальными изменениями геофизических параметров, крупномасштабным переносом загрязнения и климатическими изменениями, исследования живых морских и наземных биологических объектов, а также недр Антарктики в районе базирования БАЭ;

– научно-прикладные исследования и разработки, обеспечивающие практическую деятельность человека в полярных областях Земли, включая разработку специальных научных приборов и оборудования, оценку и использование биоресурсов;

– нормативно-правовое обеспечение деятельности физических и юридических лиц Республики Беларусь в Антарктике;

– укрепление взаимодействия со странами – участницами Договора об Антарктике путем расширения международной кооперации в сфере научной, природоохранной и логистической деятельности в Антарктике, участие в реализации международных программ и проектов по проблемам Антарктики, обмен научным персоналом.

Одновременно, с учетом полученных результатов научных исследований, опыта проведения антарктических экспедиций, развития международных программ исследований полярных районов Земли, новых экономических и внешнеполитических вызовов, основными приоритетными показателями итогов деятельности Республики Беларусь в Антарктике станут:

– получение новых данных о состоянии природной среды Антарктики на основе результатов дистанционного зондирования атмосферы и подстилающей поверхности стационарными и космическими системами наблюдения;

– разработка новых методов, алгоритмов обработки данных и программного обеспечения для измерения параметров природной среды Антарктики;

– мониторинг ключевых параметров окружающей среды Антарктики в месте действия БАЭ;

– получение новых данных для определения прошлых, текущих и прогнозирования будущих изменений антарктической природной среды и климата, исследования морских, пресноводных и наземных экосистем в районах базирования (деятельности) белорусской экспедиции;

– осуществление мероприятий по использованию результатов работ для решения международных и национальных задач в области развития новых технологий, ресурсообеспечения и ресурсосбережения, экономики, охраны окружающей среды в краткосрочной и долгосрочной перспективе;

– внедрение современных природоохранных технологий для повышения уровня экологической безопасности и минимизации воздействия деятель-

– fundamentally oriented research processes in the Antarctic environment, their relationship with the global changes of geophysical parameters, large-scale transport of pollution and climate change, the study of living marine and terrestrial biological objects, as well as the Antarctic subsoil in the area of BAS basing;

– scientific and applied research and development, providing practical human activity in the polar regions of the Earth, including the development of special scientific instruments and equipment, assessment and use of biological resources;

– normative legal maintenance of activity of natural and legal persons of the Republic of Belarus in the Antarctic;

– strengthening of the cooperation with the member countries of the Antarctic Treaty by the expansion of international cooperation in the field of scientific, environmental and logistic activities in the Antarctic, participation in international programs and projects on Antarctic issues, exchange of scientific personnel.

At the same time, taking into account the results of scientific research, the experience of the Antarctic expeditions, the development of international research programs on the Earth's polar regions, considering new economic and foreign policy challenges, the main indicators of the results of the priority activities of the Republic of Belarus in the Antarctic will be following:

– the obtaining of new data on the state of the Antarctic environment on the basis of remote sensing of the atmosphere and the underlying surface by stationary and space surveillance systems;

– the development of new methods, algorithms, processing and software to measure the parameters of the Antarctic environment;

– the monitoring of key environmental parameters in Antarctic at the place of BAE's activity;

– the acquisition of new data to identify past, current and prediction of future changes in the Antarctic environment and climate, studies of marine, freshwater and terrestrial ecosystems in the areas of basing (activity) of Belarusian expedition;

– the implementation of measures for the use of the results of work for the achievement of international and national goals in the field of development of new technologies, resource supplies and resource economics, environmental protection in the short and long period of time;

– the introduction of modern environmental technologies to enhance the level of ecological safety and minimizing the impact of BAE on the Antarctic envi-

ности БАЭ на окружающую среду Антарктики в месте постоянного базирования на Земле Эндерби, Холмы Тала, у горы Вечерняя;

- интеграция исследований в международные научные программы изучения Антарктиды и сети мониторинга атмосферы (AERONET, CIS-LiNet, EARLINET, GALION, GAW, IGACO-O3/UV, GIANT и др.);

- участие в работе ключевых общественных организаций системы Договора об Антарктике, развитие международного научного и логистического сотрудничества при выполнении заданий (мероприятий), как важнейшего фактора укрепления системы Договора об Антарктике;

- выполнение международных обязательств Республики Беларусь по Договору об Антарктике и Протоколу по охране окружающей среды к указанному Договору, развитие международного сотрудничества в сфере изучения полярных районов Земли, выполнение международных и национальных процедур, ориентированных на признание Консультативными Сторонами Договора об Антарктике Консультативного статуса Республики Беларусь, как полноправной Стороны Договора об Антарктике.

ronment in the place of permanent basing in Enderby Land, Thala Hills, at the Mount Vechernyaya;

- the integration of research into international research programs studying Antarctic and atmospheric monitoring network (AERONET, CIS-LiNet, EARLINET, GALION, GAW, IGACO-O3 / UV, GIANT and others);

- the participation in the work of key public organizations of the Antarctic Treaty System, the development of the international scientific and logistical cooperation in the performance of tasks (activities) as the most important factor of strengthening of the Antarctic Treaty system;

- the fulfillment of international obligations of the Republic of Belarus to the Antarctic Treaty and on the Environmental Protocol to the said Agreement, the development of international cooperation in the study of the Earth's polar regions, the implementation of international and national procedures, focused on the recognition of the Consultative Parties to the Antarctic Treaty Consultative status of the Republic of Belarus as a fully competent party in the Antarctic Treaty.



6.2. Стратегия организации и развития белорусской национальной антарктической инфраструктуры

Создание Белорусской антарктической станции (далее – БАС) предусмотрено Планом строительства БАС (утвержденным 06.03.2013 г. НАН Беларуси и Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь по согласованию с Министерством финансов Республики Беларусь), а также мероприятиями Государственной программы на 2016–2020 гг.

Реализация мероприятий Государственной программы в части создания БАС осуществляется с учетом перспектив двустороннего взаимодействия на основе межправительственного Соглашения о сотрудничестве в Антарктике между Республикой Беларусь и Российской Федерацией, а также развития международной логистической кооперации с другими странами – участниками Договора об Антарктике.

При разработке концептуального проекта БАС учитывался современный мировой опыт строительства аналогичных объектов полярной инфраструктуры, а также использован практический опыт,

6.2. The strategy of the organization and development of the Belarusian National Antarctic infrastructure

The creation of the Belarusian Antarctic Station (hereinafter – BAS) provides building the BAS building plan (approved 3.6.2013 by the National Academy of Sciences of Belarus and the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus in coordination with the Ministry of Finance of the Republic of Belarus), as well as the activities of the State program for 2016–2020.

The implementation of the State Program in terms of the creation of BAS shall be based on the prospects of bilateral cooperation on the basis of an intergovernmental agreement on cooperation in the Antarctic between the Republic of Belarus and the Russian Federation, as well as the development of international logistics cooperation with other member states of the Antarctic Treaty.

In developing the conceptual BAS project the current world experience in building similar facilities polar infrastructure was taken into account, as well as the lessons learned from the Belarusian polar explo-

накопленный белорусскими полярниками в период их работы в составе советских и белорусских антарктических экспедиций.

К большинству объектов белорусской антарктической инфраструктуры предъявляются требования универсальности, компактности, энергоэффективности, технологической и экологической безопасности, что позволит значительно снизить последствия проводимой деятельности на окружающую среду Антарктики и существенно уменьшить затраты белорусской стороны на создание собственной антарктической инфраструктуры.

Концептуальный проект БАС предусматривает создание в период 2016–2025 гг. в Восточной Антарктиде на Земле Эндерби в районе горы Вечерняя, в непосредственной близости от полевой базы РАЭ «Гора Вечерняя» (150–200 м) круглогодичной исследовательской станции, включающей комплекс всех необходимых производственно-технологических, служебно-жилых и специализированных малогабаритных сооружений модульного (контейнерного) типа. Размещение объектов инфраструктуры БАС будет осуществляться на регулируемых по высоте опорных платформах, установленных на участках открытых выходов коренных горных пород, мало заносимых снегом.

В период 2015–2020 гг. в состав первой очереди БАС поэтапно планируется включить до 16 единиц инфраструктуры модульного типа.

Указанный вариант организации белорусской исследовательской антарктической инфраструктуры позволит уже к 2019–2020 гг. создать необходимые условия для научно-производственной деятельности и круглогодичного размещения персонала БАЭ в количестве до 11–12 человек.

В период 2021–2025 гг. в состав второй очереди БАС поэтапно планируется включить до 10 единиц инфраструктуры модульного типа жилого, производственного, природоохранного и специального назначения, чем будет завершено создание основной инфраструктуры БАС. Помимо этого, мероприятия по созданию второй очереди БАС в 2021–2025 гг. будут предусматривать доставку, установку и ввод в действие оборудования для переработки и утилизации отходов экспедиционной деятельности, проведение природоохранных мероприятий, включая совместные с Российской Федерацией работы по демонтажу и вывозу за пределы Антарктики утильных объектов инфраструктуры и различных видов отходов советского периода времени с полевых баз «Гора Вечерняя» и «Молодежная», а также реализацию комплекса мер по снижению выбросов загрязняющих веществ, сбросов сточных вод, образования и утилизации отходов, предотвращения утечек топлива, планирования маршрутов исследований.

Во время их деятельности с Советской и Белорусской Антарктическими экспедициями.

Для большинства объектов белорусской Антарктической инфраструктуры требуются универсальность, компактность, эффективность, технологическая и экологическая безопасность, что позволит значительно снизить воздействие на окружающую среду Антарктики и существенно уменьшить затраты белорусской стороны на создание собственной инфраструктуры в Антарктике.

Концептуальный дизайн БАС предусматривает создание полевой базы РАЭ в районе горы Вечерняя на Земле Эндерби в непосредственной близости от полевой базы РАЭ «Гора Вечерняя» (150–200 м), круглогодичной исследовательской станции, включающей комплекс всех необходимых производственно-технологических, служебно-жилых и специализированных малогабаритных сооружений модульного (контейнерного) типа. Размещение объектов инфраструктуры БАС будет осуществляться на регулируемых по высоте опорных платформах, установленных на участках открытых выходов коренных горных пород, мало заносимых снегом.

В период 2015–2020 гг. в состав первой очереди БАС поэтапно планируется включить до 16 единиц инфраструктуры модульного типа.

Указанный вариант организации белорусской исследовательской антарктической инфраструктуры позволит уже к 2019–2020 гг. создать необходимые условия для научно-производственной деятельности и круглогодичного размещения персонала БАЭ в количестве до 11–12 человек.

В период 2021–2025 гг. в состав второй очереди БАС поэтапно планируется включить до 10 единиц инфраструктуры модульного типа жилого, производственного, природоохранного и специального назначения, чем будет завершено создание основной инфраструктуры БАС. Помимо этого, мероприятия по созданию второй очереди БАС в 2021–2025 гг. будут предусматривать доставку, установку и ввод в действие оборудования для переработки и утилизации отходов экспедиционной деятельности, проведение природоохранных мероприятий, включая совместные с Российской Федерацией работы по демонтажу и вывозу за пределы Антарктики утильных объектов инфраструктуры и различных видов отходов советского периода времени с полевых баз «Гора Вечерняя» и «Молодежная», а также реализацию комплекса мер по снижению выбросов загрязняющих веществ, сбросов сточных вод, образования и утилизации отходов, предотвращения утечек топлива, планирования маршрутов исследований.



6.3. Проведение комплексных научных исследований и технических разработок для изучения состояния и мониторинга окружающей среды и климата Антарктики

В рамках реализации научных заданий Подпрограммы планируется проводить комплексное исследование Антарктики с учетом ее роли и места в глобальных процессах, определяющих будущее развитие человечества, а также продолжить изучение природных механизмов и закономерностей, управляющих изменчивостью процессов в природных средах южной полярной области по следующим научным направлениям:

1. Комплексный наземный и спутниковый мониторинг атмосферы и подстилающей поверхности в Антарктиде, радиометрическая калибровка спектральной аппаратуры белорусских и российских спутников БКА и «Канопус-В» по снежному полигону в Антарктиде, разработка оптической модели атмосферного аэрозоля и подстилающей поверхности в районе горы Вечерней.
2. Экспериментальные и модельные исследования влияния малых газовых составляющих атмосферы на сезонные вариации УФ-облученности в приземном слое и водных экосистемах в районе БАЭ.
3. Геофизические и геологические исследования земной коры Вечернегорской площади.
4. Комплексный мониторинг биотических компонентов окружающей среды Антарктики и оценка перспектив использования биологических ресурсов.
5. Исследование изменений природной среды и климата Земли Эндерби (Восточная Антарктида) и прилегающих территорий под влиянием природных и антропогенных факторов и научное обеспечение выполнения обязательств по Протоколу по ООС к Договору об Антарктике.

Таким образом, с учетом специфичности объекта исследования и международных обязательств Республики Беларусь в рамках Договора об Антарктике основными принципами деятельности Республики Беларусь в Антарктике на 2016–2020 гг. и в последующий период являются комплексность, системный подход к созданию национальной антарктической инфраструктуры и организации исследований, ориентация работ на интегрирование в международные программы исследований полярных районов Земли и международные наблюдательные сети, привлечение их потенциала для решения международных и национальных задач.

6.3. The comprehensive scientific research and technological development for the study of the status and monitoring of the environment and climate in Antarctic

As a part of the scientific research tasks it is planned to carry out a comprehensive study of Antarctic, considering its role and place in the global processes, which determine the future of mankind, and to further explore the natural mechanisms and laws governing the variability of processes in the natural environment of the South Polar Region in the following fields:

1. An integrated terrestrial and satellite monitoring of the atmosphere and land surface in Antarctica, radiometric calibration of the spectral equipment of Belarusian and Russian satellites BKA and «Canopus» in the snow polygon in Antarctica, the development of the optical model of the atmospheric aerosol and the underlying surface of the Mount Vechernyaya region.
2. Experimental and modeling studies of the effect of trace gas components of the atmosphere on seasonal variations of UV radiation in the surface layer and aquatic ecosystems in the area of BAE.
3. Geophysical and geological study of the earth crust of the Mount Vechernyaya.
4. Integrated monitoring of the biotic components of the environment in the Antarctic and evaluation of the prospects of the use of biological resources.
5. Research of changes of the environment and the Earth's climate Enderby, East Antarctic and the surrounding area under the influence of natural and anthropogenic factors and scientific support for the implementation of commitments under the Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty.

Thus, taking into account the specificity of the object of research and the international obligations of the Republic of Belarus in the framework of the Antarctic Treaty, the basic principles of the Republic of Belarus in the Antarctic for 2016–2020 and for next period are a comprehensive, systematic approach to the creation of a national infrastructure and Antarctic research organization, orientation of the work by integration into the international research program and the polar regions of the Earth international monitoring network, to ensure their capacity to meet international and national targets.

Создание национальной инфраструктуры в Антарктике и дальнейшее проведение научных исследований станет важным элементом общегосударственной политики, ориентированным на укрепление позиций Республики Беларусь в системе Договора об Антарктике, получение новых данных о состоянии природной среды Антарктики, развитие международного сотрудничества и укрепления системы Договора об Антарктике.

Creating a national infrastructure in the Antarctic, and further research will be an important element of the national policy aimed at strengthening the position of the Republic of Belarus in the Antarctic Treaty System, to obtain new data on the state of the Antarctic environment, the development of international cooperation and the strengthening of the Antarctic Treaty System.





Таблица 1. Список белорусов – участников советских и российских антарктических экспедиций

№ п/п	Фамилия, Имя, Отчество	Год рождения	№ КАЭ-САЭ-РАЭ	Должность	Станция, база, судно
1	Авринский Геннадий Сергеевич	1941	23, 27	Фотодешифратор	Молодежная
2	Адамович Владимир Степанович	1942	21	Слесарь	Молодежная
3	Акшевский Мечислав Игоревич	1963	39, 51, 56, 60	Аэролог	Молодежная, Новозазаревская, Мирный
4	Алешкевич Геннадий Павлович	1961	34	Астроном	Восток
5	Андросик Михаил Иванович	1942	28	Океанолог	Молодежная
6	Асядовский Александр Александрович	1945	20, 29	Механик, техник	Молодежная
7	Бобров Александр Михайлович	1936	21	Слесарь	Молодежная
8	Буйницкий Анатолий Денисович	1932	2	Водитель	Мирный
9	Бурак Николай Михайлович	1933	1, 3	Строитель	Мирный
10	Бутко Владимир Федорович	1953	32	Механик-водитель	Молодежная
11	Бычков Сергей Александрович	1945	22	Инженер ЭВМ	Молодежная
12	Василевский Евгений Павлович	1941	21, 25	Инженер ЭВМ	Молодежная
13	Величковский Владимир Витальевич	1948	26	Инженер ЭВМ	Молодежная
14	Вертинский Игорь Иванович	1956	30	Инженер ЭВМ	Молодежная
15	Викарук Иван Александрович	1941	18	Врач	Русская
16	Войтенко Валентин Николаевич	1948	18	Радиоэлектроник	Мирный
17	Гайдашов Алексей Александрович	1959	33	Метеоролог	Ленинградская
18	Гигиняк Юрий Григорьевич	1945	16	Биолог	Мирный
19	Гинтуфт Александр Трофимович	1958	32	Астроном	Мирный
20	Голубев Валерий Анатольевич	1964	34	Радиоэлектроник	Восток
21	Голубенко Федор Федорович	1941	23	Инженер СРЗА	Молодежная
22	Гуполович Иван Иванович	1944	17	Астроном	Беллинсгаузен
23	Давидович Петр Павлович	1940	35		Молодежная
24	Долгий Георгий Евгеньевич	1950	35	Метеоролог	Молодежная
25	Доренко Александр Николаевич	1949	33	Радиоинженер	Молодежная
26	Дорощенко Анатолий Кириллович	1949	26, 30	Метеоролог	Молодежная, Беллинсгаузен
27	Драчев Василий Трофимович	1934	1	Строитель	Мирный
28	Дупленков Александр Иванович	1954	28	Астроном	Восток
29	Дурягин Валерий Диодорович	1950	28	Радиоэлектроник	Молодежная
30	Емельянов Юрий Николаевич	1937	25	Старший научный сотрудник	Мирный
31	Журавский Анатолий Викторович	1962	34	Водитель	Мирный

Продолжение табл. 1

№ п/п	Фамилия, Имя, Отчество	Год рождения	№ КАЭ-САЭ-РАЭ	Должность	Станция, база, судно
32	Задорожный Николай Васильевич	1951	22	Инженер ЭВМ	Молодежная
33	Залесский Александр Владимирович	1953	29, 34	Инженер ИСЗ	Молодежная, Беллинсгаузен
34	Залетов Владимир Рональдович	1951	30, 35	Радиотехник	Мирный
35	Заруба Василий Николаевич	1931	1, 2	Строитель	Мирный
36	Зарьян Петрос Рафаелович	1961	31	Радиоинженер	Беллинсгаузен
37	Захаренков Леонид Иванович	1937	26	Начальник СРЗА	Молодежная
38	Захарин Владимир Васильевич	1945	27, 32	Метеоролог	Русская
39	Знак Николай Никитович	1933	1	Строитель	Мирный
40	Илькевич Иван Иванович	1945	32, 36	Радиоинженер, инженер по ИСЗ	Беллинсгаузен
41	Кабот Федор Федорович	1921	6, 12	Радиолокатор	Лазарева, Мирный
42	Канашкин Владимир Кириллович	1942	25, 27	Инженер	Молодежная, Дружная
43	Карпюк Владимир Леонидович	1949	24, 28	Метеоролог	Восток
44	Коверович Евгений Павлович	1933	1, 2	Строитель	Мирный
45	Кожемякин Николай Ефимович	1933	1	Строитель	Мирный
46	Колосов Владимир Николаевич	1949	31	Астроном	Русская
47	Комышенец Валерий Иванович	1951	31	Океанолог	Беллинсгаузен
48	Королев Анатолий Иванович	1940	8, 9	Тракторист	Молодежная
49	Котляр Анатолий Анатольевич	1954	33	Начальник передающей радиостанции	Молодежная
50	Кравцов Юрий Владимирович	1957	38, 46, 47, 52, 55, 57, 60	Радиолокатор	Мирный
51	Кривец Василий Васильевич	1946	22	Радиолокатор	Молодежная
52	Кривицкий Вячеслав Евгеньевич	1960	33	Водитель	Молодежная
53	Кулаков Владимир Александрович	1947	28, 32	Инженер ЭВМ	Молодежная
54	Лавушкин Николай Владимирович	1932	1	Строитель	Мирный
55	Лебедев Александр Петрович	1940	19, 25	Инженер ЭВМ	Молодежная
56	Леванов Игорь Константинович	1930	20	Радиоинженер	Молодежная
57	Ленченко Евгений Александрович	1942	30, 33	Электрик ДЭС	Мирный
58	Лобачев Виктор Матвеевич	1931	2	Монтажник	Мирный
59	Ломашко Владимир Исакович	1937	18	Метеоролог	Восток
60	Маевский Генрих Эдуардович	1932	3	Аэролог	Советская
61	Малолетков Илья Гаврилович	1926	13	Бортрадист	ДЭ «Обь»
62	Матюш Игорь Николаевич	1935	21	Слесарь	Молодежная
63	Маханьков Валерий Филиппович	1940	23, 29	Инженер ЭВМ	Молодежная
64	Микулич Владимир Ильич	1928	16	Инженер СРЗА	Молодежная
65	Михайлов Александр Афанасьевич	1947	17	Астроном	Мирный
66	Мытько Виктор Геннадьевич	1957	36	Инженер	Молодежная
67	Набатчиков Юрий Алексеевич	1963	33	Радиоэлектроник	Ленинградская
68	Наумчик Николай Григорьевич	1932	1	Строитель	Мирный
69	Нездоров Юрий Иванович	1954	23, 57, 59, 61	Аэролог	Мирный
70	Носочков Александр Павлович	1952	27	Инженер ЭВМ	Молодежная
71	Осипенко Виктор Иванович	1935	2	Тракторист	Мирный
72	Павлов Владимир Павлович	1934	2	Разнорабочий	Мирный
73	Пилипович Иван Сергеевич	1925	8	Аэролог	Мирный
74	Полторжский Валерий Кубович	1954	29	Метеоролог	Молодежная
75	Разанецкий Эдуард Эммануилович	1947	24	Радиоэлектроник	Мирный

Окончание табл. 1

№ п/п	Фамилия, Имя, Отчество	Год рождения	№ КАЗ-САЭ-РАЭ	Должность	Станция, база, судно
76	Рехметчиков Евгений Игоревич	1959	30	Радиоэлектроник	Беллинсгаузен
77	Русак Леонид Николаевич	1939	30, 33	Инженер-механик, механик-водитель	Молодежная
78	Сечко Василий Николаевич	1954	34	Радиотехник	Молодежная
79	Сидоров Николай Петрович	1950	28, 33	Океанолог, фотодешифратор	Беллинсгаузен, Молодежная
80	Симанович Фома Ефремович	1926	3	Бортрадист	Мирный
81	Соболь Александр Дмитриевич	1937	27, 31, 33, 36	Радиотехник	Беллинсгаузен
82	Срыбный Анатолий Васильевич	1955	31	Метеоролог	Новолазаревская
83	Суслов Николай Мифодьевич	1947	19, 25	Инженер ЭВМ	Молодежная
84	Сущеня Анатолий Васильевич	1950	30	Инженер по ИСЗ	Ленинградская
85	Троцюк Николай Петрович	1956	30, 33	Радиотехник	Молодежная
86	Федоров Роман Федорович	1932	11	Аэролог	Молодежная
87	Филимонов Владимир Иванович	1957	32	Метеоролог	Мирный
88	Фуре Владимир Павлович	1939	25	Метеоролог	Молодежная
89	Харамецкий Иван Леонтьевич	1935	20, 24	Радиоэлектроник, инженер ЭВМ	Молодежная
90	Хвостов Виталий Владимирович	1946	16	Астроном	Мирный
91	Хотулев Геннадий Ефимович	1939	21, 25, 35	Инженер, слесарь	Молодежная
92	Хох Михаил Ярославович	1941	28	Механик-водитель	Молодежная
93	Цед Иван Павлович	1932	2	Газосварщик	Мирный
94	Черныш Валерий Владимирович	1963	34	Астроном	Беллинсгаузен
95	Чернышевич Александр Иосифович	1952	27, 31	Инженер по ИСЗ	Молодежная, Ленинградская
96	Чесноков Аркадий Михайлович	1948	23	Инженер ЭВМ	Молодежная
97	Шаренда Иван Антонович	1937	7, 9	Механик ДЭС, механик-водитель	Мирный
98	Шиян Павел Лаврентьевич	1933	1, 2	Строитель	Мирный
99	Шумак Семен Александрович	1935	1	Строитель	Мирный
100	Шумейко Владимир Афанасьевич	1954	29	Инженер по ИСЗ	Ленинградская
101	Яцкевич Евгений Иосифович	1939	7	Механик-водитель	Новолазаревская
102	Яцын Владимир Иванович	1948	28	Техник	Молодежная

Таблица 2. Список белорусских специалистов, командированных в Антарктику в 2006 г. белорусскими государственными органами и организациями в составе РАЭ

№ п/п	Фамилия, Имя, Отчество	Год рождения	№ РАЭ	Должность	Станция, база, судно
1	Дубовик Николай Николаевич	1955	51	Руководитель группы	Борт НЭС «Академик Федоров»
2	Тышкевич Владимир Евгеньевич	1972	51	Научный сотрудник	Борт НЭС «Академик Федоров»
3	Гайдашов Алексей Александрович	1959	52	Руководитель группы	Полевые базы «Молодежная» и «Гора Вечерняя»
4	Турышев Леонид Николаевич	1955	52	Заместитель директора НИИЦ МО БГУ	Полевые базы «Молодежная» и «Гора Вечерняя»

Таблица 3. Список участников белорусских антарктических экспедиций, организованных в рамках реализации мероприятий Государственной программы в 2007–2016 гг.

№ п/п	Фамилия, Имя, Отчество	Год рождения	№ БАЭ	Должность	Станция, база
1	Алфимов Владимир Тихонович	1954	7	Инженер-механик	Полевая база «Гора Вечерняя»
2	Бабичев Александр Владимирович	1959	2	Механик	Полевая база «Гора Вечерняя»
3	Бородин Олег Игоревич	1977	2	Инженер-эколог	Полевая база «Гора Вечерняя»
4	Бручковский Илья Игоревич	1987	6	Инженер-радиометрист	Станция «Прогресс»
5	Бык Игорь Петрович	1959	1, 2		Полевая база «Гора Вечерняя»
6	Гайдашов Алексей Александрович	1959	с 1 по 8	Начальник БАЭ	Полевые базы «Гора Вечерняя», «Молодежная», борт НЭС «Академик Федоров», станции «Прогресс», «Новолазаревская»
7	Гигиняк Юрий Григорьевич	1946	3, 6	Инженер-эколог	Борт НЭС «Академик Федоров», станция «Прогресс»
8	Горбачевич Максим Андреевич	1993	8	Инженер-радиометрист	Полевая база «Гора Вечерняя»
9	Демин Виктор Сергеевич	1984	1, 4	Инженер-радиометрист	Полевая база «Гора Вечерняя»
10	Захватов Алексей Анатольевич	1988	8	Механик	Полевая база «Гора Вечерняя»
11	Король Михаил Михайлович	1960	2, 5, 7	Инженер-радиометрист	Полевая база «Гора Вечерняя»
12	Мямин Владислав Евгеньевич	1975	5, 7	Инженер-эколог	Полевая база «Гора Вечерняя»
13	Мясников Олег Васильевич	1954	2	Инженер-геофизик	Полевая база «Гора Вечерняя»
14	Никитюк Леонид Алексеевич	1971	8	Врач-хирург	Полевая база «Гора Вечерняя»
15	Торбик Сергей Александрович	1987	8	Гидрометнаблюдатель	Полевая база «Гора Вечерняя»
16	Шаблыко Павел Викентьевич	1990	7	Инженер-геофизик	Полевая база «Гора Вечерняя»
17	Шпилевский Вячеслав Леонидович	1973	1	Техник-метеоролог	Полевая база «Гора Вечерняя»

Таблица 4. Список белорусских участников международной спортивной антарктической экспедиции «Навстречу XXI веку», декабрь 1999 – январь 2000 г.

№ п/п	Фамилия, Имя, Отчество	Маршрут, место дислокации в Антарктиде
1	Борисевич Александр Александрович	Плато Пэтриот-Хиллс – Южный полюс – Плато Пэтриот-Хиллс
2	Бык Игорь Петрович	Базовый лагерь на плато Пэтриот-Хиллс
3	Драбо Владимир Никандрович	Плато Пэтриот-Хиллс – Южный полюс – Плато Пэтриот-Хиллс
4	Мазуркевич Виталий Валентинович	Плато Пэтриот-Хиллс – Южный полюс – Плато Пэтриот-Хиллс
5	Михалкович Алексей Аркадьевич	Базовый лагерь на плато Пэтриот-Хиллс
6	Мурашкевич Владислав Анатольевич	Базовый лагерь на плато Пэтриот-Хиллс
7	Мурашкевич Денис Анатольевич	Базовый лагерь на плато Пэтриот-Хиллс
8	Радкевич Виктор Викторович	Базовый лагерь на плато Пэтриот-Хиллс
9	Рёмин Андрей Владимирович	Плато Пэтриот-Хиллс – Южный полюс – Плато Пэтриот-Хиллс
10	Судак Юрий Иванович	Плато Пэтриот-Хиллс – Южный полюс – Плато Пэтриот-Хиллс
11	Тукан Николай Петрович	Базовый лагерь на плато Пэтриот-Хиллс
12	Хачирашвили Владимир Иосифович	Базовый лагерь на плато Пэтриот-Хиллс
13	Шейн Андрей Эдуардович	Базовый лагерь на плато Пэтриот-Хиллс

Таблица 5. Список белорусских авиационных специалистов, участвовавших в трансконтинентальных антарктических перелетах самолета ИЛ-76 белорусской авиакомпании «ТрансАвиаЭкспорт» по маршруту Кейптаун (ЮАР) – Антарктида

№ п/п	Фамилия, Имя, Отчество	Год рождения	Должность, специальность в составе экипажа ИЛ-76	Год (сезон) полетов
1	Адамович Игорь Вячеславович	1966	Бортоператор	2014–2015 гг.
2	Решетников Евгений Игоревич		Топограф	
3	Росолько Дмитрий Васильевич	1970	Бортоператор	2012–2013 гг.
4	Рыжков Вадим Владимирович	1971	Авиатехник	2014 г.

Table 1. The list of Belarusian participants of USSR and Russian antarctic expeditions

№	Last name, First name, Patronymic	Year of birth	№ CAE, SAE, RAE	Position	Station, Base, Shipboard
1	Arvinskiy Gennadiy Sergeevich	1941	23,27	Photo interpreter	Molodezhnaya
2	Adamovich Vladimir Stepanovich	1942	21	Locksmith	Molodezhnaya
3	Akshevskiy Mechislav Igorevich	1963	39, 51, 56, 60	Aerologist	Molodezhnaya, Novolazarevskaya, Mirniy
4	Aleshkevich Gennadiy Pavlovich	1961	34	Astronomer	Vostok
5	Androsic Michael Ivanovich	1942	28	Oceanologist	Molodezhnaya
6	Asyadovskiy Alexander Alexandrovich	1945	20, 29	Mechanic, engineer	Molodezhnaya
7	Bobrov Alexander Michaelovich	1936	21	Locksmith	Molodezhnaya
8	Buynickiy Anatoliy Denisovich	1932	2	Driver	Mirniy
9	Burak Nikolay Michaelovich	1933	1, 3	Builder	Mirniy
10	Butko Vladimir Fedorovich	1953	32	Mechanic-driver	Molodezhnaya
11	Bichkov Sergey Alexandrovich	1945	22	Computer engineer	Molodezhnaya
12	Vasilevskiy Evgeniy Pavlovich	1941	21, 25	Computer engineer	Molodezhnaya
13	Velichkovskiy Vladimir Vital'evich	1948	26	Computer engineer	Molodezhnaya
14	Vertinskiy Igor Ivanovich	1956	30	Computer engineer	Molodezhnaya
15	Vikaruk Ivan Alexandrovich	1941	18	Doctor	Russian
16	Voitenko Valentin Nikolaevich	1948	18	Radio-electronic engineer	Mirniy
17	Gaidashov Aleksey Alexandrovich	1959	33	Meteorologist	Leningradskaya
18	Giginyak Yuriy Grigorievich	1945	16	Biologist	Mirniy
19	Gintuft Alexander Trofimovich	1958	32	Astronomer	Mirniy
20	Golubev Valeriy Anatolievich	1964	34	Radio-electronic engineer	Vostok
21	Golubenko Fedor Fedorovich	1941	23	Engineer of relay protection and automatic equipment	Molodezhnaya
22	Gupolovich Ivan Ivanovich	1944	17	Astronomer	Bellingsgauzen
23	Davidovich Petr Pavlovich	1940	35		Molodezhnaya
24	Dolgiy Georgiy Evgenievich	1950	35	Meteorologist	Molodezhnaya
25	Dorenko Alexander Nikolaevich	1949	33	Radio engineer	Molodezhnaya
26	Doroshenko Anatoliy Kirillovich	1949	26, 30	Meteorologist	Molodezhnaya, Bellingsgauzen
27	Drachev Vasiliy Trofimovich	1934	1	Builder	Mirniy
28	Duplenkov Alexander Ivanovich	1954	28	Astronomer	Vostok
29	Duryagin Valeriy Diodorovich	1950	28	Radio electronic specialist	Molodezhnaya
30	Emeliyanov Yuriy Nikolaevich	1937	25	Senior staff scientist	Mirniy
31	Zhuravskiy Anatoliy Viktorovich	1962	34	Driver	Mirniy
32	Zadorozhnyi Nikolay Vasilievich	1951	22	Computer engineer	Molodezhnaya
33	Zalesskiy Alexander Vladimirovich	1953	29, 34	Engineer of orbital vehicle	Molodezhnaya, Bellingsgauzen
34	Zaletov Vladimir Ronaldovich	1951	30, 35	Radio technician	Mirniy
35	Zaruba Vasiliy Nikolaevich	1931	1,2	Builder	Mirniy
36	Zarian Petros Rafaelovich	1961	31	Radio engineer	Bellingsgauzen
37	Zaharenkov Leonid Ivanovich	1937	26	Director of relay protection and automatic equipment	Molodezhnaya
38	Zaharin Vladimir Vasilievich	1945	27, 32	Meteorologist	Russian
39	Znak Nikolay Nikitovich	1933	1	Builder	Mirniy
40	Ilkevich Ivan Ivanovich	1945	32, 36	Radio engineer, engineer of orbital vehicle	Bellingsgauzen
41	Kabot Fedor Fedorovich	1921	6, 12	Radio detecting and ranging	Lazareva, Mirniy
42	Kanashkin Vladimir Kirillovich	1942	25-27	Engineer	Molodezhnaya, Druzhnaya

Table 1 continued

№	Last name, First name, Patronymic	Year of birth	№ CAE, SAE, RAE	Position	Station, Base, Shipboard
43	Karpuk Vladimir Leonidovich	1949	24, 28	Meteorologist	Vostok
44	Koverovich Evgeniy Pavlovich	1933	1, 2	Builder	Mirniy
45	Kozhemiakin Nikolay Efimovich	1933	1	Builder	Mirniy
46	Kolosov Vladimir Nikolaevich	1949	31	Astronomer	Russian
47	Komishinec Valeriy Ivanovich	1951	31	Oceanologist	Bellingsgauzen
48	Korolev Anatoliy Ivanovich	1940	8, 9	Tractor operator	Molodezhnaya
49	Kotliar Anatoliy Anatolievich	1954	33	Sending radio stationer	Molodezhnaya
50	Kravcov Yuriy Vladimirovich	1957	38, 46, 47, 52, 55, 57, 60	Radio detector and ranginer	Mirniy
51	Krivec Vasiliy Vasilievich	1946	22	Radio detector and ranginer	Molodezhnaya
52	Krivickiy Vecheslav Evgenievich	1960	33	Driver	Molodezhnaya
53	Kulakov Vladimir Alexandrovich	1947	28, 32	Computer engineer	Molodezhnaya
54	Lavushkin Nikolay Vladimirovich	1932	1	Builder	Mirniy
55	Lebedev Alexander Petrovich	1940	19, 25	Computer engineer	Molodezhnaya
56	Levanov Igor Konstantinovich	1930	20	Radio engineer	Molodezhnaya
57	Lenchenko Evgeniy Alexandrovich	1942	30, 33	Electrician on DPS	Mirniy
58	Lobachev Viktor Matveevich	1931	2	Assembler	Mirniy
59	Lomashko Vladimir Isaakovich	1937	18	Meteorologist	Vostok
60	Maevskiy Genrih Aduardovich	1932	3	Aerologist	Sovetskaya
61	Maloletkov Ilya Gavrilovich	1926	13	Flight radio operator	«The Ob» DE
62	Matyush Igor Nikolaevich	1935	21	Locksmith	Molodezhnaya
63	Mahan'kov Valeriy Filippovich	1940	23,29	Computer engineer	Molodezhnaya
64	Mikulich Vladimir Il'ich	1928	16	Engineer of relay protection and automatic equipment	Molodezhnaya
65	Mihailov Alexander Afanasievich	1947	17	Astronomer	Mirniy
66	Mit'ko Viktor Gennadievich	1957	36	Engineer	Molodezhnaya
67	Nabatchikov Yuriy Alekseevich	1963	33	Radio-electronic engineer	Leningradskaya
68	Naumchik Nikolay Grigorievich	1932	1	Builder	Mirniy
69	Nezderov Yuriy Ivanovich	1954	23, 57, 59, 61	Aerologist	Mirniy
70	Nosochkov Alexander Pavlovich	1952	27	Computer engineer	Molodezhnaya
71	Osipenko Viktor Ivanovich	1935	2	Tractor operator	Mirniy
72	Pavlov Vladimir Pavlovich	1934	2	General labourer	Mirniy
73	Pilipovich Ivan Sergeevich	1925	8	Aerologist	Mirniy
74	Poltorzhickiy Valeriy Kubovich	1954	29	Meteorologist	Molodezhnaya
75	Razaneckiy Aduard Ammanuilovich	1947	24	Radio electronist	Mirniy
76	Rehmetchikov Evgeniy Igorevich	1959	30	Radio electronist	Bellingsgauzen
77	Rusak Leonid Nikolaevich	1939	30,33	Mechanic-engineer, machine operator	Molodezhnaya
78	Sechko Vasiliy Nikolaevich	1954	34	Radio technician	Molodezhnaya
79	Sidorov Nikolay Petrovich	1950	28, 33	Oceanologist, Photo interpreter	Bellingsgauzen, Molodezhnaya
80	Simanovich Foma Efremovich	1926	3	Flight radio operator	Mirniy
81	Sobol' Alexander Dmitrievich	1937	27, 31, 33, 36	Radio technician	Bellingsgauzen
82	Sribniy Anatoliy Vasilievich	1955	31	Meteorologist	Novolazarevskaya
83	Suslov Nikolay Mifodievich	1947	19, 25	Computer engineer	Molodezhnaya
84	Sushenya Anatoliy Vasilievich	1950	30	Engineer Of Orbital Vehicle	Leningradskaya
85	Trocyuk Nikolay Petrovich	1956	30, 33	Radio technician	Molodezhnaya
86	Fedorov Roman Fedorovich	1932	11	Aerologist	Molodezhnaya
87	Filimonov Vladimir Ivanovich	1957	32	Meteorologist	Mirniy

End of table 1

№	Last name, First name, Patronymic	Year of birth	№ CAE, SAE, RAE	Position	Station, Base, Shipboard
88	Fure Vladimir Pavlovich	1939	25	Meteorologist	Molodezhnaya
89	Haramckiy Ivan Leontievich	1935	20, 24	Radio electronist, computer engineer	Molodezhnaya
90	Hvostov Vitaliy Vladimirovich	1946	16	Astronomer	Mirniy
91	Hotulev Gennadiy Efimovich	1939	21, 25, 35	Engineer, locksmith	Molodezhnaya
92	Hoh Michael Yaroslavovich	1941	28	Machine operator	Molodezhnaya
93	Ched Ivan Pavlovich	1932	2	Gas welder	Mirniy
94	Chernysh Valerij Vladimirovich	1963	34	Astronomer	Bellinsgauzen
95	Chernyshevich Aleksandr Iosifovich	1952	27, 31	Engineer of orbital vehicle	Molodezhnaya, Leningradskaya
96	Chesnokov Arkadij Mihajlovich	1948	23	Engineer of orbital vehicle	Molodezhnaya
97	Sharenda Ivan Antonovich	1937	7, 9	Mechanic on DPS, mechanic-driver	Mirniy
98	Shijan Pavel Lavrentjevich	1933	1, 2	Builder	Mirniy
99	Shumak Semyon Aleksandrovich	1935	1	Builder	Mirniy
100	Shumejko Vladimir Afanasjevich	1954	29	Engineer of orbital vehicle	Leningradskaya
101	Jatskevich Jevgenij Iosifovich	1939	7	Mechanic-driver	Novolazarevskaya
102	Jatsyn Vladimir Ivanovich	1948	28	Engineer	Molodezhnaya

Table 2. The list of Belarusian specialists sent on a mission trip to Antarctic in 2006 by Belarusian public authorities and organizations within RAE

№	Last name, First name, Patronymic	Year of birth	№ RAE	Position	Station, Base, Shipboard
1	Dubovik Nikolaj Nikolajevich	1955	51	Head of the group	Board of research and expedition vessel (REV) «Akademik Fedorov»
2	Tyshkevich Vladimir Yevgenjevich	1972	51	Research staff member	Board of REV «Akademik Fedorov»
3	Gajdashov Aleksej Aleksandrovich	1959	52	Head of the group	Field bases «Molodezhnaya» and «Mount Vechernyaya»
4	Turyshch Leonid Nikolajevich	1955	52	Deputy Director of Belarusian State University ozonesphere monitoring national research centre (BSU OM NRC)	Field bases «Molodezhnaya» and «Mount Vechernyaya»

Table 3. The list of participants of Belarusian antarctic expeditions organized amid realization of National programm events in 2007–2016

№	Last name, First name Patronymic	Year of birth	№ BAE	Position	Station, Base
1	Alfimov Vladimir Tihonovich	1954	7	Mechanic engineer	Field base «Mount Vechernyaya»
2	Babichev Aleksandr Vladimirovich	1959	2	Mechanic	Field base «Mount Vechernyaya»
3	Borodin Oleg Igorevich	1977	2	Environmental engineer	Field base «Mount Vechernyaya»
4	Bruchkovskij Ilja Igorevich	1987	6	Radio operator engineer	Station «Progress»
5	Byk Igor Petrovich	1959	1, 2		Field base «Mount Vechernyaya»
6	Gajdashov Aleksej Aleksandrovich	1959	1–8	Head of BAE	Field bases «Molodezhnaya» and «Mount Vechernyaya», board of REV «Akademik Fedorov», stations «Progress» and «Novolazarevskaja»
7	Giginyak Jurij Grigorjevich	1946	3, 6	Environmental engineer	Board of REV «Akademik Fedorov», station «Progress»

End of table 3

№	Last name, First name Patronymic	Year of birth	№ BAE	Position	Station, Base
8	Gorbatsevich Maksim Andrejevich	1993	8	Radio operator engineer	Field base «Mount Vechernyaya»
9	Demin Viktor Sergejevich	1984	1, 4	Radio operator engineer	Field base «Mount Vechernyaya»
10	Zahvatov Aleksej Anatoljevich	1988	8	Mechanic	Field base «Mount Vechernyaya»
11	Korol Mihail Mihajlovich	1960	2, 5, 7	Radio operator engineer	Field base «Mount Vechernyaya»
12	Myamin Vladislav Yevgenjevich	1975	5, 7	Environmental engineer	Field base «Mount Vechernyaya»
13	Myasnikov Oleg Vasiljevich	1954	2	Geophysical engineer	Field base «Mount Vechernyaya»
14	Nikityuk Leonid Aleksejevich	1971	8	Operating surgeon	Field base «Mount Vechernyaya»
15	Torbik Sergej Aleksandrovich	1987	8	Hydro meteorological observer	Field base «Mount Vechernyaya»
16	Shablyko Pavel Vikentjevich	1990	7	Geophysical engineer	Field base «Mount Vechernyaya»
17	Shpilevskij Vyacheslav Leonidovich	1973	1	Meteorologist engineer	Field base «Mount Vechernyaya»

Table 4. The list of Belarusian participants of International Sport Antarctic Expedition «Towards XXI Century», December 1999 – January 2000

№	Last name, First name, Patronymic	Route, station in B Antarctic
1	Borisevich Aleksandr Aleksandrovich	Patriot Hills Plateau – South Pole – Patriot Hills Plateau
2	Byk Igor Petrovich	Base camp on Patriot Hills Plateau
3	Drabo Vladimir Nikandrovich	Patriot Hills Plateau – South Pole – Patriot Hills Plateau
4	Mazurkevich Vitalij Valentinovich	Patriot Hills Plateau – South Pole – Patriot Hills Plateau
5	Mihalkovich Aleksej Arkadjevich	Base camp on Patriot Hills Plateau
6	Murashkevich Vladislav Anatoljevich	Base camp on Patriot Hills Plateau
7	Murashkevich Denis Anatoljevich	Base camp on Patriot Hills Plateau
8	Radkevich Viktor Viktorovich	Base camp on Patriot Hills Plateau
9	Ryomin Andrej Vladimirovich	Patriot Hills Plateau – South Pole – Patriot Hills Plateau
10	Sudak Yuriy Ivanovich	Patriot Hills Plateau – South Pole – Patriot Hills Plateau
11	Tukan Nikolaj Petrovich	Base camp on Patriot Hills Plateau
12	Hachirashvili Vladimir Iosifovich	Base camp on Patriot Hills Plateau
13	Shein Andrej Eduardovich	Base camp on Patriot Hills Plateau

Table 5. The list of Belarusian aircraft community, who took part in transcontinental flights of IL-76 Aircraft of Belarusian airline company «TRANSAVIAEXPORT»/«TRANSAVIA» en-route Capetown – Antarctic

№	Last name, First name, Patronymic	Year of birth	Position, specialty in crew complement of IL-76	Year (season) of flights
1	Adamovich Igor Vyacheslavovich	1966	Operator	Season 2014–2015
2	Reshetnikov Yevgenij Igorevich		Topographical surveyor	
3	Rosolko Dmitriy Vasiljevich	1970	Operator	Season 2012–2013
4	Ryzhkov Vadim Vladimirovich	1971	Aircraft maintenance technician	Season 2014





Научное издание

**Логинов Владимир Федорович,
Гайдашов Алексей Александрович,
Чайковский Анатолий Павлович и др.**

БЕЛАРУСЬ В АНТАРКТИКЕ
К 10-летию начала регулярных научных и экспедиционных исследований =
BELARUS IN ANTARCTIC
On the 10th anniversary of the beginning of scientific and expeditional research

На русском и английском языках

Редактор *О. Н. Пручковская*
Художественный редактор *И. Т. Мохнач*
Технический редактор *М. В. Савицкая*
Компьютерная верстка *М. Э. Маляревич*

Подписано в печать 05.05.2016. Формат 60×84^{1/8}. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 20,46. Уч.-изд. л. 17,5. Тираж 250 экз. Заказ 94.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/18 от 02.08.2013.
Ул. Ф. Скорины, 40, 220141, г. Минск.