

ENVIRONMENTAL DYNAMICS AND GLOBAL CLIMATE CHANGE

Volume 13
Issue 1**2022**<https://edgcccjournal.org>

EDITORIAL BOARD

EDITORS-IN-CHIEF

Elena D. Lapshina, Dr. habil. of Biol. Sci., Professor (Khanty-Mansiysk, Russia)
Mikhail V. Glagolev, PhD of Biol. Sci. (Moscow, Russia)

EDITORIAL BOARD

Executive Secretary

Olga M. Shaduyko (Tomsk, Russia)

Elena V. Agbalyan, Dr. habil. of Biol. Sci. (Salekhard, Russia)

Sergey A. Blagodatskiy, Dr. habil. of Biol. Sci. (Stuttgart, Germany)

Vasily A. Vavilin, Dr. habil. of Phys. and Math. Sci. (Moscow, Russia)

Egor A. Dyukarev, PhD in Phys. and Math. Sci. (Tomsk, Russia)

Mikhail V. Kabanov, Dr. habil. of Phys. and Math. Sci., Professor, Corresponding Member of the RAS (Tomsk, Russia)

Dmitriy V. Karelin, Dr. habil. of Biol. (Moscow, Russia)

Roman A. Kolesnikov, PhD in Geogr. Sci. (Salekhard, Russia)

Oleg P. Kotsyurbenko, Dr. habil. of Biol. Sci. (Khanty-Mansiysk, Russia)

Alexei V. Kouraev, PhD in Geogr. Sci., Assistant professor (Toulouse, France)

Shamil S. Maksyutov, PhD in Phys. and Math. Sci. (Tsukuba, Japan)

Vasily B. Martynenko, Dr. habil. of Biol. Sci., Professor (Ufa, Russia)

Nsdezhda V. Matveeva, Dr. habil. of Biol. Sci.

(Sankt-Petersburg, Russia)

Alexander V. Puzanov, Dr. habil. of Biol. Sci., Professor (Barnaul, Russia)

Andrey B. Rozanov, PhD in Geogr. Sci. (Stellenbosch, South Africa)

Andrey A. Sirin, Dr. habil. of Biol., Professor (Uspenskoe, Moscow region, Russia)

Viktor M. Stepanenko, PhD in Phys. and Math. Sci. (Moscow, Russia)

Alexey L. Stepanov, Dr. habil. of Biol. Sci. (Moscow, Russia)

Evgeniy V. Shein, Dr. habil. of Biol. Sci. (Moscow, Russia)

Sergey A. Shoba, Dr. habil. of Biol. Sci., Professor, Corresponding Member of the RAS (Moscow, Russia)

Kirsi Latola, PhD, Research coordinator (Oulu, Finland)

Mariusz Lamentowicz, Dr. habil., Full-Professor (Poznan, Poland)

Kári Fannar Lárusson, PhD, CAFF program manager (Akureyri, Iceland)

Ivan Mammarella, PhD, Assistant Professor (Helsinki, Finland)

Timo Vesala, Dr., Academy Professor (Helsinki, Finland)

Vincent F. Warwick, Dr., Full-Professor (Quebec Canada)

Editorial Office

Oleg A. Frolov, managing editor (Moscow, Russia)

Inna O. Rozhkova-Timina, WEB editor, computer layout (Tomsk, Russia)

Ruslan A. Runkov, technical editor (Moscow, Russia)

Founder:

Yugra State University. 628012, Russia, Khanty-Mansi autonomous Area, Khanty-Mansiysk, Chekhova str., 16. Phone/fax: +7(3467)377-000, ext. 101, WEB: www.ugrasu.ru

National Research Tomsk State University. 634050, Russia, Tomsk, Lenin Ave, 36. Phone: +7(3822)58-98-52, fax: +7(3822)52-95-85, WEB: www.tsu.ru

Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science. 656038, Russia, Barnaul, Molodezhnaya str., 1. Phone: +7(3852)66-64-60, fax: +7(3852)24-03-96, WEB: www.iwep.ru

Arctic Research Center of the Yamal-Nenets autonomous Area. 629001, Russia, Yamal-Nenets autonomous District, Salekhard, Respublic str., 73. Phone/fax: +7(34922)441-32, WEB: www.arctic.yanao.ru

ДИНАМИКА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Том 13
Выпуск 1
2022

Журнал издается с 2008 года

<https://edgcccjournal.org>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЕ РЕДАКТОРЫ

Елена Дмитриевна Лапина, д-р биол. наук, профессор (Ханты-Мансийск, Россия)
Михаил Владимирович Глаголев, канд. биол. наук (Москва, Россия)

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

Ответственный секретарь

О.М. Шадуйко (Томск, Россия)

Е.В. Азбалин, д-р биол. наук (Салехард, Россия)
С.А. Благодатский, д-р биол. наук (Штутгарт, Германия)
В.А. Вавилин, д-р физ.-мат. наук (Москва, Россия)
Е.А. Дюкарев, канд. физ.-мат. наук (Томск, Россия)
М.В. Кабанов, д-р физ.-мат. наук, профессор, член-корреспондент РАН (Томск, Россия)
Д.В. Карелин, д-р биол. наук (Москва, Россия)
Р.А. Колесников, канд. геогр. наук (Салехард, Россия)
О.Р. Коцюрбенко, д-р биол. наук (Ханты-Мансийск, Россия)
А.В. Кураев, канд. геогр. наук, доцент (Тулуза, Франция)
Ш.Ш. Максюттов, канд. физ.-мат. наук (Цукуба, Япония)
В.Б. Мартыненко, д-р биол. наук, профессор (Уфа, Россия)
Н.В. Матвеева, д-р биол. наук (Санкт-Петербург, Россия)

А.В. Пузанов, д-р биол. наук, профессор (Барнаул, Россия)
А.Б. Розанов, канд. геогр. наук (Стелленбос, ЮАР)
А.А. Сирин, д-р биол. наук, профессор (п/о Успенское, Московская обл., Россия)
В.М. Степаненко, канд. физ.-мат. наук (Москва, Россия)
А.Л. Степанов, д-р биол. наук, профессор (Москва, Россия)
Е.В. Шеин, д-р биол. наук, профессор (Москва, Россия)
С.А. Шоба, д-р биол. наук, профессор, чл.-корр. РАН (Москва, Россия)
Т. Весала, д-р, профессор (Хельсинки, Финляндия)
К. Латола, д-р (Оулу, Финляндия)
М. Ламентович, д-р, профессор (Познань, Польша)
К.Ф. Ларуссон, д-р (Акурейри, Исландия)
И. Маммарелла, д-р, доцент (Хельсинки, Финляндия)
В.Ф. Варвик, д-р, профессор (Квебек, Канада)

Редакция

О.А. Фролов, заведующий редакцией (Москва, Россия)
И.О. Рожкова-Тимина, WEB-редактор, компьютерная верстка (Томск, Россия)
Р.А. Руньков, технический редактор (Москва, Россия)

Учредители:

ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
628012, Россия, Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, г. Ханты-Мансийск ул. Чехова, 16.
Тел./факс: +7(3467)37-70-00 (доб. 101), WEB: www.ugrasu.ru

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет».
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36. Тел.: +7(3822)58-98-52, факс: +7(3822)52-95-85, WEB: www.tsu.ru

ФГБУН Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской Академии наук.
656038, Россия, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1. Тел.: +7(3852)66-64-60, факс: +7(3852)24-03-96, WEB: www.iwep.ru

ГКУ Ямало-Ненецкого автономного округа «Научный центр изучения Арктики».
629008, Россия, Ямало-Ненецкий автономный округ, г. Салехард, ул. Республики, 73. Тел./факс: +7(34922)441-32,
WEB: www.arctic.yanao.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций, связи и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-73235 от 06.07.2018

Индексируется: Science Index (РИНЦ), Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, EBSCO

Техподдержка: Рожкова-Тимина Инна Олеговна. Тел. +7 9539215004.
E-mail: inna.timina@mail.ru

Архив журнала «Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата» размещен в сети Интернет www.elibrary.ru, <https://edgcccjournal.org/EDGCC/issue/archive>

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Kholoptsev A.V., Podporin S.A., Kononova N.K.

ON CORRELATION OF THE ICE COVER OF THE EUROPEAN SECTOR OF THE ARCTIC WITH SURFACE HEIGHTS OF THE ATLANTIC INNER SEAS (AS SHOWN FOR THE BLACK SEA) 4-14

Kaverin A.V., Masserov D.A., Dyukov N.V., Rezakov G.R.

METHODOLOGICAL AND METHODOLOGICAL PROBLEMS OF ECOLOGIZATION OF FOREST EDUCATION IN RUSSIA 15-24

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Lapshina E.D.

NEW ASSOCIATION OF WOODED SWAMP WITH ALNUS INCANA WITHIN THE IRTYSH FLOOD PLAIN (WESTERN SIBERIA) 25-34

Lavrinenko O.V., Tyusov G.A., Petrovsky V.V.

IMPACT OF CLIMATE WARMING ON FLORISTIC DIVERSITY OF THE EAST EUROPEAN TUNDRA 35-48

ХРОНИКА

Jheeta S., Chatzitheodoridis E., Dominik M., Kotsyurbenko O.R., Laine P., Pйrez M.P., Torres de Farias S., McGrath K., Rezaei A., Nyambuya G., Gupta V., Changela H., Bhatt M.C., Simpemba P., Gustafson L., Kadiri M.O., Godoy-Faъndez A., Nelson N., Nielsen J.N., Smith D.

THE BLUE EARTH PROJECT: "IS HUMANITY SETTLING ITS OWN FATE ON ECOLOGICAL SURVIVAL?" 49-58



ON CORRELATION OF THE ICE COVER OF THE EUROPEAN SECTOR OF THE ARCTIC WITH SURFACE HEIGHTS OF THE ATLANTIC INNER SEAS (AS SHOWN FOR THE BLACK SEA)

A.V. Kholoptsev^{1, 2*}, S.A. Podporin², N.K. Kononova³

¹⁾ Sevastopol Branch of State Oceanographic Institute named after N.N. Zubov, 61, Sovetskaya str., 299011, Sevastopol, Russia; *kholoptsev@mail.ru

²⁾ Sevastopol State University, 33, Universitetskaya str., 299053, Sevastopol, Russia

³⁾ Institute of Geography RAS, 29, Staromonetnyi, 109017, Moscow, Russia

kholoptsev@mail.ru

Citation: Kholoptsev A.V., 2020. On correlation of the ice cover of the European sector of the Arctic with surface heights of the Atlantic inner seas (as shown for the Black Sea) // Environmental dynamics and global climate change. V. 13. N.1. P. 4-14.

DOI: doi.org/10.18822/edgcc34237

Цель работы – проверка адекватности выдвинутой авторами гипотезы, согласно которой связь между переменными климата Арктики и многолетним ходом среднего уровня водной поверхности некоторых внутренних морей Атлантики является статистически значимой. Для достижения поставленной цели изучены связи многолетних вариаций суммарного объема ледяного покрова Европейского сектора Арктики с динамикой среднего уровня водной поверхности внутренних морей Атлантического океана, которые происходили в 1979–2018 гг. Как фактический материал использованы результаты глобальных реанализов изменений толщины и сплоченности ледяного покрова, а также уровня различных участков акватории Мирового океана. Среди внутренних морей Атлантики выявлены те, для которых рассматриваемая гипотеза является адекватной. Для таких морей предложен прогноз многолетних изменений их уровня в XXI веке для сценария, при котором дальнейшее усиление факторов потепления климата, а также снижение до 2060–2070 гг. среднего за 11 лет уровня солнечной активности будут приводить к увеличению суммарного объема ледяного покрова Европейского сектора Арктики.

Ключевые слова: Черное море, Европейский сектор, Арктика, уровень, атмосферная циркуляция, ледовитость, реанализ.

Keywords: Black Sea, European sector, Arctic, sea level, atmospheric circulation, ice cover

SUMMARY

An urgent problem of physical geography, oceanography and climatology is the improvement of methods for modeling long-term changes in the average water surface level (hereinafter referred to as AWSL) of the World Ocean regions. Its solution involves the development of existing concepts about the relationship of these changes with other natural processes. The solution of this problem is of greatest importance for the regions of the World Ocean, on the coasts of which there are large cities and ports. The inland seas of the Atlantic Ocean: Baltic, Mediterranean, Azov and Black seas take an important place among them.

It is known that among the most important factors of the year to year variability of the AWSL for such seas are the processes affecting the dynamics of their water balance, which are studied in the works of many domestic and foreign authors. They found that the dynamics of the water balance of the seas under consideration depends on the average intensity of precipitation and evaporation in their basins, which are caused by the corresponding changes in the total duration of atmospheric blockings (hereinafter referred to as TAB).

The Arctic air entering the Europe area in the course of its incursions, as well as the air in the rear of the cyclones moving above Europe to the Arctic contributes to the occurrence of blockings. The characteristics of this air are largely determined by the peculiarities of its interaction with the atmosphere of the ice cover of the corresponding Arctic water areas, which depend on its total volume (hereinafter referred to as TVI). Consequently, the long-term sequence of the average annual values of the AWSL for each of the

seas under consideration can be, to some extent, associated with variations in the average annual values of the TVI in the waters of the European sector of the Arctic. AWSL may also be affected by warming of the regional climate, which causes the thermal expansion of the active layer of the sea and its average surface temperature (hereinafter AST).

Considering this, the authors put forward a hypothesis that the relationship between the TVI variations, characterizing the climate changes in the Arctic, and the long-term course of AWSL is statistically significant for some of the studied seas. Confirmation of its adequacy would allow taking into account such relationships when modeling the dynamics of the AWSL of these seas, as well as planning economic activities on their coasts. However, this hypothesis has not been verified before.

The subject of study in this paper is the statistical relationships of the long-term course of the average annual values of the AWSL for the Black Sea, the TVI of the Arctic waters located in the European area, as well as TAB, which occur in this area.

The **purpose** of the work is to verify the adequacy of the proposed hypothesis.

The factual material used in the study of the long-term course of the average annual values of the AWSL for the Black Sea is the results of its mathematical modeling obtained by the ICDC (Integrated Climate Data Center) of the University of Hamburg, Germany. The information about the changes in AST is obtained from the GLORYS12.v1 (Global Ocean Physics Reanalysis) reanalysis maintained by Copernicus.

To confirm the adequacy of the specified factual material, it is compared with the archival information obtained during contact measurements at some points of Odessa, Ochakov, Sevastopol, Evpatoria, Feodosia, Kerch, Anapa, Novorossiysk, Gelendzhik and Sochi.

The information on the long-term course of the average annual TVI values in the waters of the European sector of the Arctic was obtained using information on variations in the average monthly values of the ice cover thickness and its concentration, which is also presented in the ICDC modeling results and the mentioned reanalysis.

When assessing the average annual values of TAB in the European sector of the Northern Hemisphere, we applied the typification of macrocirculatory processes in the Northern hemisphere according to B.L. Dzerdzeevsky.

The **research methodology** involved the implementation of spectral analysis for the time series of the average annual values of the AWSL, which allowed us to determine the periods of the high-frequency modes of this process. When determining the average rate of each such process, it was smoothed over a time equal twice to the period of the longest period of the identified modes, after which the identified trend was equalized. The study of statistical relationships between the time series of the average annual values AWSL for the Black Sea, as well as TVI and TAB for the European sector of the Arctic, was carried out using the method of correlation analysis and Student's t-test. The significance of the statistical relationships between the time series of the AWSL, TAB and TVI was estimated with shifts between them in time from 0 to 3 years and for the periods from 1979 to 2018, as well as from 1993 to 2018. The decision on the adequacy of the proposed hypothesis was to be made if the reliability of the statistical conclusion about the significance of the correlation of the considered time series was at least 0.95.

As a result of the research we tested the factual material and confirmed its adequacy. Considering the results of the spectral analysis, the smoothing of the considered time series when identifying their trends was carried out in a sliding window 11 years long. It has been established that, in the mean, the average annual values of the Black Sea AWSL increased at the rate of 0.048 m/year, and the average annual values of its AST increased at the average rate of 0.037°C/year over the period from 1979 to 2018, which confirms the warming of the regional climate.

During the period 2010-2018 the rate of AST growth increased, which could have led to a relevant increase in the AWSL, but actually it didn't. The latter is confirmed by the presented distributions of the average rate of rise in the level of various sections of the Black Sea surface. Consequently, the factor that counteracts the increase in AWSL has increased.

Such factors could include a decrease in the annual amounts of atmospheric precipitation, as well as an increase in the intensity of evaporation in the Black Sea basin, which was associated with ongoing changes in the TAB.

The analysis of the trends in the TVI change in the European sector of the Arctic showed that in the period from 1993 to 2018 the value of this indicator decreased significantly, but in 2010-2018, it changed at a fixed level. The statistical relationships of interannual changes in the average annual values of the Black Sea AWSL, as well as the TVI in the waters of the European sector of the Arctic in the period under review, were statistically significant if the changes in the AWSL were lagging relative to the TVI variations by 1

year. In this case, these changes occur in phase. The significance of the relationship between the changes in AWSL and the variations in TVI is also maximum at the specified time shift. Therefore, the adequacy of the proposed hypothesis is confirmed.

When discussing the obtained results, we noted their compliance with the existing concepts about the causes of changes in the AWSL of the seas. The revealed relationships show that TVI variations in the European sector of the Arctic really affect the formation of blockings over the basins of the Black, Azov and Baltic Seas, and are also able to determine the dynamics of their water balances, and hence their AWSL.

The obtained results allow us to generalize the concept proposed by L.S. Berg for the Caspian Sea on the dependence of long-term changes in its level on climate variations in the Arctic and on the mentioned seas of the Atlantic Ocean. During the periods of time when the climate is warming in the Arctic and the TVI decreases, evaporation increases in the basins of these seas, and the average intensity of precipitation decreases.

It should be noted that this dependence is weaker for the seas under consideration than for the Caspian Sea, since they are not isolated from the Atlantic Ocean and the water exchange factor is significant.

The revealed relationships suggest that further changes in the levels of the Atlantic inland seas in the 21st century will depend to some extent on variations in the TVI of the European Arctic water areas and their climate. Modern changes in its TVI are the result of a confrontation between the factors that contribute to warming and cooling of the climate in this region.

As can be seen from the obtained results, a decrease in TVI in the European sector is no longer observed in the period after 2006, although before 2006 warming factors clearly prevailed there. Consequently, now the values of the resultant factors of warming and cooling of the Arctic climate change at a fixed level.

Since it is impossible to predict further changes in climate warming and cooling factors, future variations in the levels of the inland seas of the Atlantic are not predetermined, although the justification of forecasts of some of their components can probably be satisfactory if factors invariant to the uncertainties of the scenario of further climate changes are considered when developing them.

ВВЕДЕНИЕ

Средний уровень водной поверхности (далее – СУВП) любого региона Мирового океана во многом определяет условия жизнедеятельности населения и особенности развития ландшафтов его побережий. Поэтому совершенствование методик моделирования его многолетних изменений, а также изучение их связей с другими природными процессами является актуальной проблемой физической географии, океанографии и климатологии. Наибольший интерес решение данной проблемы представляет для регионов Мирового океана, на побережьях которых ведется активная хозяйственная деятельность, а также размещены крупные города и порты. Важное место среди них занимают внутренние моря Атлантического океана: Балтийское, Средиземное, Азовское и Черное.

Согласно современным представлениям о процессах, формирующих многолетнюю изменчивость СУВП того или иного океанического региона, [Каплин с соавт., 1991, Добровольский, 2003, Mörner, 2012, Nerem с соавт., 2018], к числу важнейших относятся факторы, которые влияют на динамику водного баланса, а также вариации средней температуры его поверхностных вод [Добровольский, 2003]. В полной мере это относится и к рассматриваемым морям, репрезентативным примером которых является Черное море.

Впервые на наличие многолетних изменений СУВП подобных водоемов обратил внимание академик П.С. Паллас, который предположил, что уровень Каспийского моря изменяется с периодом, близким к 30–35 годам. Справедливость этой гипотезы в 1890 г. подтвердил Э.А. Брюкнер. А.И. Воейков и М.А. Боголепов в начале XX века выявили 33-летние циклы Брюкнера в изменениях климата многих регионов мира.

Изучая многолетний ход характеристик климата некоторых регионов Северного полушария, Л.С. Берг впервые установил, что на вариации уровня Каспия влияют перемены климата Арктики [Берг, 1934].

А.В. Шнитников показал, что циклы с подобными периодами проявляются в изменениях общей увлажненности материков Северного полушария, в том числе и в изменениях водных балансов его водных объектов [Шнитников, 1957].

Динамика водного баланса каждого водоема зависит от вариаций распределений в его бассейне годовых сумм атмосферных осадков, а также средней интенсивности испарения, которые вызваны

соответствующими переменными характеристик атмосферной циркуляции, доставляющей и уносящей из него влагу [Черенкова с соавт., 2015]. Поэтому значимую роль в многолетних изменениях водных балансов рассматриваемых морей могут играть вариации суммарной продолжительности вторжений в соответствующие регионы Северного полушария арктического воздуха [Дзердзеевский, 1968], которые участвуют в образовании блокингов [Мохов с соавт., 2013]. В формировании блокингов может участвовать также арктический воздух, который проникает в умеренные широты в тылу циклонов, которые перемещаются в Арктику. В формировании обоих процессов участвует Арктический антициклон, состояние которого во многом определяется особенностями взаимодействия с атмосферой ледяного покрова соответствующих акваторий Арктики [Думанская и Федоренко, 2008], которые зависят от его суммарного объема (далее – СОЛ).

Вследствие расположения бассейнов изучаемых морей, в блокирующих процессах, которые могут возникать над ними, может принимать участие арктический воздух, сформировавшийся в Европейском секторе Арктики (0–60° в.д.) [Дзердзеевский, 1968]. Поэтому многолетний ход среднегодовых значений СУВП каждого из них может быть в той или иной мере связан с вариациями среднегодовых значений СОЛ акваторий Европейского сектора Арктики. Не противоречит ранее установленным фактам гипотеза, согласно которой связь между переменными климата Арктики и многолетним ходом СУВП является статистически значимой не только для Каспия, но и для некоторых внутренних морей Атлантики. Подтверждение ее адекватности позволило бы учесть подобные связи при моделировании динамики СУВП таких морей, а также планировании хозяйственной деятельности на их побережьях. Тем не менее, ранее проверка данной гипотезы не осуществлялась, поскольку оценки СУВП того или иного моря по данным о значениях его уровня в отдельных пунктах его побережья весьма неточны. Следовательно, ее проверка на примере Черного моря представляет не только теоретический, но и практический интерес.

Цель данной работы – проверка адекватности выдвинутой гипотезы. Для ее достижения проанализирован многолетний ход среднегодовых значений СУВП Черного моря, СОЛ акваторий Арктики, расположенных в Европейском секторе, а также суммарная продолжительность блокингов, которые соответствуют Европейскому сектору, и изучены статистические связи между этими процессами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При изучении многолетнего хода среднегодовых значений СУВП Черного моря в качестве фактического материала использована информация об изменениях уровня различных участков его акватории, которая получена при его контактных и дистанционных измерениях, а также результаты математического моделирования.

Впервые систематические наблюдения над изменениями уровня Черного моря начались в 1858 г. на урвненных постах Констанца и Сулина (Румыния). С 1974 г. такие наблюдения начали осуществляться также в Очакове, с 1875 г. – в Одессе и Севастополе (Российская империя), с 1881 г. в Варне (Болгария). Наибольшее количество урвненных постов на побережье Черного моря функционировало в 60–70-х годах XX века, но и в XXI веке здесь продолжают вести наблюдения 34 урвненных поста. Из них 16 принадлежат России, 6 – Украине, 4 – Болгарии, по 3 – Румынии и Турции, 2 – Грузии. На большей части этих постов измерения ныне выполняются с применением мареографов, вследствие чего абсолютные погрешности полученных ими данных составляют приблизительно 1 см. Так как урвненных постов мало и расположены они весьма неравномерно, оценки СУВП Черного моря, основанные на такой информации, высокой точностью не обладают [Иванов и Кондратьев, 1970].

Дистанционные измерения уровня различных участков акватории Черного моря с 1993 г. выполняются с использованием радиолокационной альтиметрии [Гансвинд, 2017]. В подобных исследованиях в разные годы были задействованы искусственные спутники Земли Seasat, Geosat, ERS-1, 2, TOPEX/Poseidon, Jason-1, Jason-2, Jason-3 и Envisat, абсолютные координаты которых в моменты измерений контролировались с помощью спутниковой системы глобального позиционирования GPS [Сведения об ИСЗ].

Применяемые на спутниках радиолокационные высотомеры обладали различной точностью (от 2 до 6 см). Измерения уровня моря проводятся лишь в пунктах его акватории, через которые проходят треки спутников, и лишь в моменты времени, когда спутники располагаются над ними.

Абсолютные погрешности подобной спутниковой информации от времени практически не зависят, но для разных участков акватории они заметно различаются [Кубряков и Станичный, 2009].

Наиболее достоверную оценку СУВП Черного моря (как и любого другого региона Мирового океана) для некоторого момента времени можно получить, усредняя по его поверхности соответствующие результаты реанализа динамики конфигурации его водной поверхности. Подобные результаты получают с применением гидродинамических моделей этого процесса, которые верифицированы по результатам фактических измерений, полученных с применением наземных или спутниковых методов.

К числу наиболее точных глобальных реанализов изменений конфигурации поверхности Мирового океана, полученных с применением информации от различных уровенных постов на его побережьях, относится ICDC (Integrated Climate Data Center), который поддерживается Объединенным центром климатических данных Гамбургского университета [Zuo с соавт., 2017]. Указанный реанализ содержит сведения о среднемесячных значениях уровня Мирового океана, поверхностных температур, сплоченности и толщины льда в узлах координатной сетки с шагом 13 км за период с января 1979 по декабрь 2018 гг.

При верификации моделей, применяемых для осуществления реанализа ICDC, использованы данные от 1700 уровенных постов, которые входят в состав Глобальной Системы Наблюдений за Уровнем Моря GLOSS (Global Sea Level Observing System). Такие данные содержатся в банке данных постоянной службы по среднему уровню моря (PSMSL) [банк данных PSMSL].

Из всех уровенных постов на северном побережье Черного моря в данную систему входят только два (Ялта и Туапсе). Поэтому для подтверждения адекватности результатов реанализа ICDC для этого моря выполнено их сравнение с информацией, полученной в пунктах Одесса, Очаков, Севастополь, Евпатория, Феодосия, Керчь, Анапа, Новороссийск, Геленджик и Сочи.

Информация о среднемесячных значениях уровня и поверхностной температуры Черного моря за весь период наблюдений, соответствующая уровенным постам России, получена с портала ЕСИМО [Материалы ЕСИМО]. Аналогичная информация для уровенных постов Украины за период до 2014 г., получена из архива Севастопольского отделения ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова» (далее – СОГОИН).

Результаты математического моделирования изменений среднемесячных температур водной поверхности Черного моря, которые соответствуют всем узлам координатной сетки реанализа ICDC, расположенным в пределах его акватории, использованы при определении среднегодовых значений средних температур его поверхностных вод (далее – СПТ). Для подтверждения адекватности оценок СУВП и СПТ Черного моря, полученных таким образом, многолетний ход этих показателей сопоставлен с аналогичными зависимостями, основанными на результатах дистанционных измерений. Подобные зависимости получены с применением реанализа GLORYS12V1 (Global Ocean Physics Reanalysis) [База данных GLORYS12V1].

Указанный реанализ получен с использованием спутниковой информации и океанической модели NEMO. Данные реанализа характеризуются разрешением по времени 1 сутки, а по координатам – 5 угловых минут. Для уменьшения дисперсии ошибок моделирования в GLORYS12V1 применен фильтр Калмана, что делает его одним из наиболее совершенных глобальных реанализов вариаций конфигурации уровня Мирового океана и его поверхностных температур.

Значения СУВП и СПТ для того или иного года вычислялись путем усреднения по акватории моря и по времени значений соответствующих характеристик, которые представлены в каждом из упомянутых реанализов для всех узлов их координатной сетки. Многолетний ход среднегодовых значений уровня моря в каждом узле подвергнут спектральному анализу (Фурье), что позволило определить периоды высокочастотных мод этого процесса. При определении средней скорости каждого такого процесса произведено его сглаживание за время, равное удвоенному периоду наиболее длиннопериодной из выявленных мод, после чего вычислен угловой коэффициент линейного тренда полученного результата. Распределение по акватории Черного моря средних скоростей повышения среднегодового уровня того или иного ее участка отображено с использованием метода триангуляции Делоне [Скворцов и Мирза, 2006].

При изучении многолетнего хода среднегодовых значений СОЛ акваторий Европейского сектора Арктики использована информация о среднемесячных значениях толщины ледяного покрова H и его сплоченности (ледовитости) L , которая также представлена в реанализе ICDC.

Значения СОЛ, которые соответствуют некоторому году, вычислялись с учетом всех узлов координатной сетки данного реанализа, которые расположены в Европейском секторе Арктики, как:

$$\text{СОЛ} = \sum_{i=1}^N S_i l_i h_i,$$

где l_i и h_i – значения среднегодовых L и H в узлах координатной сетки реанализа ICDC, которые расположены в вершинах i -й ячейки этой сетки; S_i – площадь ячейки, составляющая 169 км^2 .

При оценке среднегодовых значений СПБ применена типизация макроциркуляционных процессов в Северном полушарии по Б.Л. Дзердзеевскому [Дзердзеевский, 1968]. Значения годовых СПБ для Европейского сектора вычислялись как сумма годовой продолжительности действия элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ), при которых происходят вторжения в бассейны изучаемых морей арктического воздуха и его вхождения в тылу южных циклонов.

К ЭЦМ, при которых в Европейском секторе возникают блокинги, относятся 4а, 4б, 4в, 10а, 10б. Вхождения арктического воздуха в тылу южных циклонов образуются при действии ЭЦМ 8а, 8бз, 8бл, 12а, 12бз, 12вз. Информация о значениях годовой продолжительности действия перечисленных ЭЦМ получена из [Колебания циркуляции].

Изучение статистических связей между временными рядами среднегодовых значений СУВП Черного моря, а также СОЛ и СПБ для Европейского сектора Арктики, осуществлено с применением метода корреляционного анализа.

Учитывалось, что изменения СОЛ и СПБ способны влиять на вариации годовых сумм осадков в бассейне моря непосредственно, в то время как последние всегда опережают многолетний ход его СУВП на характерное время стока выпадающих в него рек. Вследствие происходящих перемен климата, характеристики связей между упомянутыми процессами на разных отрезках времени могут различаться. Поэтому характеристики связей между временными рядами СУВП, СПБ и СОЛ оценивались при сдвигах между ними по времени от 0 до 3 лет и за периоды 1979–2018 гг., а также за 1993–2018 гг. Значимость корреляции данных временных рядов оценена по критерию Стьюдента с учетом их степеней свободы. Перед осуществлением корреляционного анализа во всех сопоставляемых рядах скомпенсированы линейные тренды, коэффициенты которых оценены по методу наименьших квадратов [Айвазян и Мхитарян, 1998]. Предполагалось, что выдвинутая гипотеза адекватна, если достоверность статистического вывода о значимости корреляции рассматриваемых временных рядов составляет не менее 0.95.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сопоставление результатов реанализа ICDC, описывающих изменения уровня и поверхностных температур Черного моря в 1979–2018 гг., с данными фактических измерений, полученных с портала ЕСИМО и из архива СОГОИН, показало, что статистический вывод о значимости связи между ними характеризуется достоверностью (по критерию Стьюдента) не ниже 0.95. Поэтому информация из упомянутого реанализа использована как фактический материал. Основываясь на ней, с использованием изложенной методики, для каждого года периода 1979–2018 гг. вычислены среднегодовые значения СУВП и СПТ Черного моря. Аналогичные вычисления для каждого года из периода 1993–2018 гг. повторены с использованием соответствующей информации из реанализа GLORYS12V1. Полученные при этом зависимости от времени оценок аномалий среднегодового значения СУВП Черного моря (Δh) и его СПТ (ΔT), вычисленных относительно 1994 г., представлены на рисунке 1.

Из рисунка 1а видно, что многолетний ход аномалии среднегодового значения СУВП Черного моря, который оценен по данным реанализов ICDC и GLORYS12V1, представляет собой сложное колебание. В его спектре присутствует мода с периодом 2.85 года. Её период практически совпадает с периодом квазидвухлетнего колебания [Хайрулина и Астафьева, 2011]. Характер рисунка позволяет предположить, что в спектре изменчивости СУВП присутствует также низкочастотная мода с периодом, близким к 33 годам. Из него очевидно подобие зависимостей от времени оценок среднегодовых значений СУВП Черного моря, которые получены по результатам реанализов ICDC и GLORYS12V1. Значение коэффициента корреляции соответствующих временных рядов за период 1993–2018 гг. составляет +0.694 (что при числе степеней свободы 26 значительно превосходит выбранный уровень значимости). Последнее свидетельствует об адекватности результатов обоих реанализов и подтверждает справедливость основанных на них выводов об особенностях изучаемого процесса. Учитывая результаты спектрального анализа, сглаживание рассматриваемых временных

рядов производилось в скользящем окне длиной 11 лет. В среднем за период 1979–2018 гг. среднегодовые значения СУВП Черного моря повышались со скоростью 0.048 м/год, а в 2004–2018 гг. скорость этого процесса уменьшилась. По данным ICDC и GLORYS12V1, она составила 0.040 и 0.032 м/год соответственно. В период 2010–2018 гг. среднегодовые значения СУВП уменьшаются.

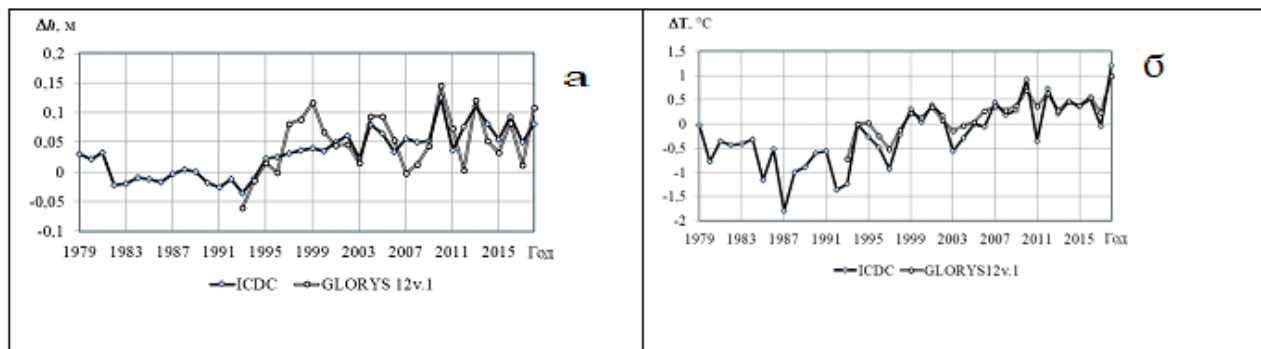


Рисунок 1. Многолетние изменения для Черного моря аномалии (относительно 1994 г.) среднегодового значения а) СУВП – Δh ; б) СПТ – ΔT

Из рисунка 1б следует, что среднегодовые значения СПТ Черного моря, которые оценены по данным обоих реанализов, возрастали как в целом за период 1979–2018 гг. (со средней скоростью 0.037°C/год), так и в 2010–2018 гг. Это подтверждает справедливость выводов [IPCC, 2013] о происходящем в регионе потеплении климата. Повышение СПТ моря должно было вызвать термическое расширение вод его верхнего квазиоднородного слоя и соответствующее повышение его СУВП. Как видно из рисунка 1а, в действительности такого в 2010–2018 гг. не происходило. Из этого следует, что в период 2010–2018 гг. усилился фактор, противодействующий повышению СУВП данного моря. Учитывая выводы [Манабе и Вазеролд, 2004], можно предположить, что таким фактором может являться уменьшение годовых сумм атмосферных осадков, а также повышение интенсивности испарения в бассейне Черного моря, которое связано с влиянием блокингов.

На рисунке 2 приведены распределения по акватории Черного моря скоростей повышения среднегодового уровня различных ее участков, которые оценены за периоды 1979–2018 гг. и 1993–2018 гг.

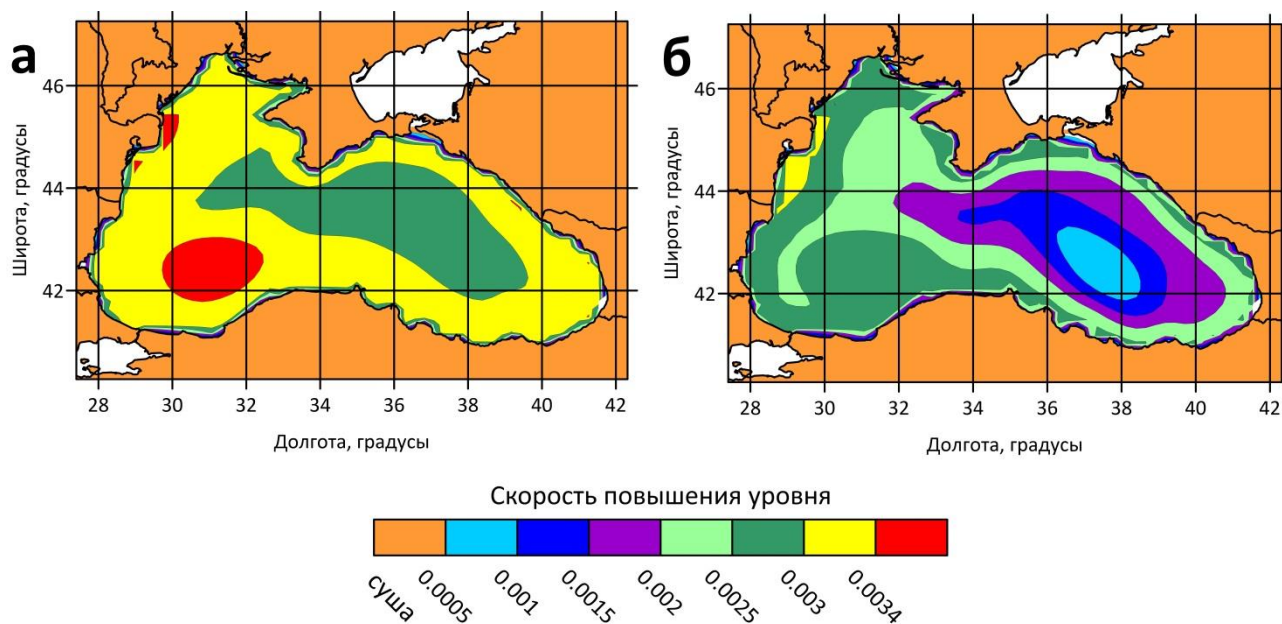


Рисунок 2. Распределения по акватории Черного моря средних скоростей повышения среднегодового уровня ее участков (м/год), которые оценены за периоды: а) 1979–2018 гг.; б) 1993–2018 гг.

Из рисунка 2а видно, что районы Черного моря, где значения средних за 1979–2018 гг. скоростей повышения их среднегодового уровня лежали в пределах 0.002–0.0025 м/год, преобладали

в областях его шельфа и материкового склона. Максимальные их значения (превышающие 0.003 м/год) соответствовали районам западной части моря, расположенным вблизи гирл Дуная и в центре циклонического круговорота. Ниже уровня 0.002 м/год значения этих показателей были лишь в районах глубоководной котловины Черного моря, расположенных в его восточной части.

Рисунок 2б свидетельствует о том, что распределение по поверхности моря значений средней скорости повышения его уровня, которые оценены за 1993–2018 гг., во многом подобно рассмотренному выше. Максимальные значения (превышающие 0.003 м/год) средней скорости повышения среднегодового уровня соответствовали районам западной части моря, расположенным вблизи гирл Дуная и в центре циклонического круговорота. Размеры части акватории моря, где значения рассматриваемых показателей меньше 0.003 м/год, значительно увеличились. В восточной части моря появились обширные районы, где средняя скорость повышения среднегодового уровня в 1993–2018 гг. не достигает 0.002 м/год и даже 0.001 м/год. Аналогичные выводы сделаны и при анализе распределения тех же показателей, которое построено по результатам реанализа GLORYS12V1, что подтверждает адекватность полученных результатов.

На рисунке 3 показан многолетний ход среднегодовых значений СОЛ и СПБ для Европейского сектора Арктики.

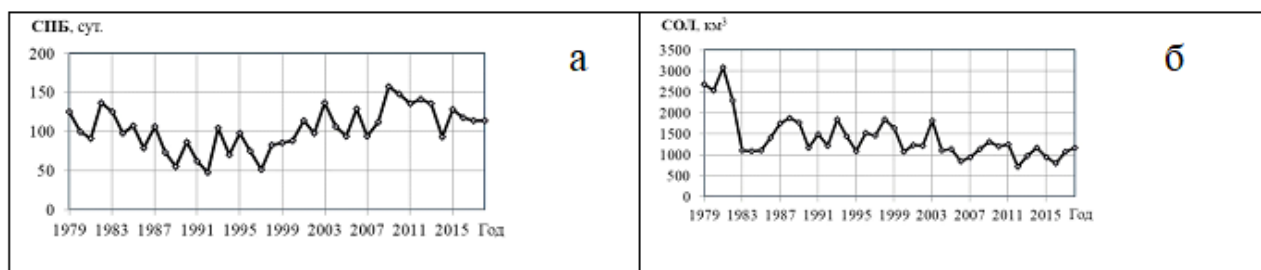


Рисунок 3. Многолетний ход для Европейского сектора: а) СПБ; б) СОЛ

Из рисунка 3а видно, что многолетний ход СПБ для Европейского сектора представляет собой сложное колебание. Как показал анализ его спектра, в нем присутствует максимум с периодом 2,85 года, что позволяет допустить наличие связи этого процесса с квазидвухлетним колебанием. Можно предположить наличие в нем максимума с периодом, близким к периоду цикла Брюкнера.

Как следует из рисунка 3б, многолетний ход СОЛ также носит колебательный характер. В нем присутствует убывающий тренд, что соответствует представлениям об особенностях потепления климата Арктики [Алексеев, 2015, IPCC, 2013]. Присутствие в спектре данного процесса максимума, соответствующего периоду 3.1 года, также указывает на его связь с квазидвухлетним колебанием.

Следует отметить, что в период после 2006 г. изменения среднегодовых значений СОЛ для Европейского сектора происходят практически на фиксированном уровне. Последнее свидетельствует о том, что потепление климата здесь, как минимум, приостановилось.

Результаты корреляционного анализа связей между изменениями СУВП Черного моря, СПБ и СОЛ представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты корреляционного анализа связей между изменениями СУВП Черного моря, а также вариациями СПБ и СОЛ

Период	Кол-во степеней свободы	95% порог значимости	Корреляция СПБ (макс.)	Сдвиг СПБ (лет)	Корреляция СОЛ (макс.)	Сдвиг СОЛ (лет)
1979–2018	39	0.32	0.296	1	0.481	1
1993–2018	25	0.37	0.195	1	0.378	1

Из таблицы 1 следует, что статистические связи межгодовых изменений среднегодовых значений СУВП Черного моря и СОЛ акваторий Европейского сектора Арктики, оцененные на обоих отрезках времени, действительно являются статистически значимыми. Последнее имеет место, если сопоставляются изменения СУВП Черного моря, которые запаздывают по отношению к вариациям СОЛ этих акваторий на 1 год. Значимость связи многолетнего хода СУВП с вариациями СПБ также

максимальна при указанном временном сдвиге. Несмотря на то, что корреляция этих процессов выбранного порога значимости не достигает, она является положительной. Корреляция рассматриваемых процессов в целом за 1979–2018 гг. сильнее, чем за 1993–2018 гг. Последнее свидетельствует о том, что в целом за рассматриваемый период доминировали факторы динамики СУВП, способствующие увеличению этого показателя, однако за вторую его половину факторы, обуславливающие его снижение, усилились до уровня, когда они способны ощутимо нарушать сложившиеся связи. Как видим, изменения среднегодовых значений СУВП Черного моря, а также опережающих их по времени на 1 год СОЛ происходят синфазно, а связь между ними статистически значима, что подтверждает адекватность выдвинутой гипотезы.

Аналогичные исследования для прочих внутренних морей Атлантического океана показали, что выдвинутая гипотеза адекватна также для Азовского моря. Для Балтийского и Средиземного моря корреляция многолетних изменений СУВП с вариациями СОЛ выбранного уровня значимости не достигает. Указанные особенности могут быть следствием различия расположений бассейнов этих морей и их климата.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты соответствуют существующим представлениям о влиянии перемен климата на изменения уровня Мирового океана и отдельных его регионов [Каплин с соавт., 1991, Добровольский, 2003, IPCC, 2013]. Из них видно, что происходящие перемены климата в Европейском секторе Арктики, а также вариации СОЛ его акваторий, влияют на меридиональные составляющие атмосферной циркуляции, которые обуславливают режим выпадения атмосферных осадков и испарения в бассейнах рассматриваемых внутренних морей. В результате этого перемены климата Арктики вызывают значимые изменения СУВП Черного и Азовского морей.

Выявленные связи наиболее сильны в случае, если рассматриваемые изменения СУВП данных морей запаздывают по отношению к вариациям СОЛ на 1 год. Они существуют благодаря присутствию в спектрах обоих процессов мод с периодом, близким к периоду квазидвухлетнего колебания. Возможно, сказывается и наличие в их спектрах долгопериодных мод, оценить параметры которых не позволяет ограниченность длины временных рядов результатов реанализа. Таким образом, полученные результаты позволяют обобщить предложенную Л.С. Бергом для Каспийского моря концепцию о зависимости многолетних изменений его уровня от вариаций климата Арктики.

В рассматриваемых внутренних морях та же зависимость проявляется менее ощутимо, чем в Каспии, поскольку эти водоемы не изолированы от Мирового океана. В периоды времени, когда в Арктике происходит потепление климата, в бассейнах этих морей испарение усиливается, а средняя интенсивность выпадающих атмосферных осадков уменьшается. Тем не менее, их СУВП в такие периоды снижается менее ощутимо, чем в Каспийском море, так как уменьшение приходной части их водного баланса частично компенсируется уменьшением и его расходной части (расхода поверхностного течения в соответствующем проливе). Выявленные связи позволяют предположить, что дальнейшие изменения в XXI веке уровней внутренних морей Атлантики будут в той или иной мере зависеть от вариаций СОЛ акваторий Европейского сектора Арктики.

Современные изменения этого показателя являются результатом противоборства факторов, которые способствуют потеплению и похолоданию климата данного региона. К первым относится водообмен Европейского сектора Арктики с Атлантикой, его воздухообмен с регионами низких широт и другие процессы, способствующие увеличению приходной части его теплового баланса [Алексеев, 2015]. Одним из наиболее существенных факторов похолодания климата Арктики (в том числе и ее Европейского сектора) является снижение среднего за 11 лет уровня солнечной активности [Абдусаматов, 2012], которое приводит не только к уменьшению значений солнечной постоянной. Следствием этого процесса является также увеличение средней за тот же период оптической плотности облачности [Веретенко и Распопов, 2009]. Последнее приводит к снижению коэффициента прозрачности земной атмосферы и средней интенсивности инсоляции любых участков земной поверхности, которое тем существенней, чем в более высоких широтах они расположены.

Как видно из рисунка 3б, в период после 2006 г. снижение СОЛ в Европейском секторе уже не наблюдается. Следовательно, значения равнодействующей факторов потепления и похолодания климата Арктики изменяются на фиксированном уровне, хотя до 2006 года факторы потепления явно преобладали. Тенденция последующих изменений равнодействующей этих процессов зависит не только от внутренних факторов динамики климатической системы нашей планеты (порождающих

циклы Брюкнера), но и от скорости, с которой будет снижаться средний уровень солнечной активности. Поскольку предвычислить дальнейшие изменения характеристик факторов потепления и похолодания невозможно, будущее уровней внутренних морей Атлантики не предопределено, хотя некоторые его черты могут быть спрогнозированы.

Снижение среднего за 11 лет уровня солнечной активности будет продолжаться до 2060–2070 гг., на которые прогнозируется очередной минимум цикла Зюсса [Trenberth, 2009, Абдусаматов, 2012]. По этой причине до указанного времени данный процесс будет в среднем способствовать снижению СОЛ акваторий Европейского сектора Арктики. В максимумах циклов Швабе их СОЛ будет уменьшаться, а в минимумах увеличиваться. В это же время в изменениях факторов потепления, вероятно, сохранятся те же циклы (с периодами 2.85 г. и предположительно 33 года). В дальнейшем средний уровень солнечной активности начнет повышаться, что станет дополнительным фактором потепления. Следовательно, СОЛ Европейского сектора Арктики до 2060–2070 г. будет, как и ранее, изменяться по колебательному закону, а далее, вполне возможно, начнет стремительно сокращаться. В той же фазе будут происходить и изменения уровней Черного, Азовского, а, возможно, и других внутренних морей Атлантики.

ВЫВОДЫ

Таким образом, установлено:

1. Изменения суммарного объема ледяного покрова акваторий Европейского сектора Арктики является значимым фактором многолетних вариаций среднего уровня водной поверхности таких внутренних морей Атлантического океана, как Черное и Азовское с запаздыванием на 1 год.
2. Подобная связь существует благодаря влиянию изменений состояния ледяного покрова рассматриваемого сектора Арктики на суммарную продолжительность действия циркуляционных механизмов, которые приводят к образованию над бассейнами рассматриваемых морей блокингов.
3. Предложенная Л.С. Бергом концепция о связи изменений уровня Каспийского моря с переменаами климата Арктики может быть распространена и на внутренние моря, относящиеся к бассейну Атлантического океана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдусаматов Х.И. 2012. Двухвековое уменьшение солнечной постоянной приводит к несбалансированному тепловому бюджету Земли и глубокому похолоданию климата // Кинематика и физика небесных тел. Т. 28, № 2. С. 22-33. [Abdusamaton Kh.I. 2012. Dvukhvekovoie umen'shenie solnechnoi postoyannoi privodit k nesbalansirovannomu teplovomu byudzhetu Zemli i glubokomu pokholodaniyu klimata // Kinematika i fizika nebesnykh tel. V. 28, N. 2. P. 22-33. (in Russian)]
- Айвазян С.А., Мхитарян В.С. 1998. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: Юнити. 1022 с. [Aivazyany S.A., Mkhitaryan V.S. 1998. Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki. M.: Yuniti. 1022 P. (in Russian)]
- Алексеев Г.В. 2015. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике // Фундаментальная и прикладная климатология. Т. 1. С. 11–26. [Alekseev G.V. 2015. Proyavlenie i usilenie global'nogo potepleniya v Arktike // Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya. V. 1. P. 11–26. (in Russian)]
- Берг Л.С. 1934. Уровень Каспийского моря за историческое время // Проблемы физической географии. Т.1. С.11-64. [Berg L.S. 1934. Uroven' Kaspiiskogo morya za istoricheskoe vremya // Problemy fizicheskoi geografii. V.1. P.11-64. (in Russian)]
- Веретененко С.В., Распопов О.М. 2009. Солнечная активность и космические лучи: влияние на облачность и процессы в нижней атмосфере (памяти и к 75-летию М.И. Пудовкина) // Геомагнетизм и аэронавтика. Т. 49. № 2. С. 147-155. [Veretenenko S.V., Raspopov O.M. 2009. Solnechnaya aktivnost' i kosmicheskie luchy: vliyaniye na oblachnost' i protsessy v nizhnei atmosfere (pamyati i k 75-letiyu M.I. Pudovkina) // Geomagnetizm i aeronomiya. V. 49. N. 2. P. 147-155. (in Russian)]
- Гансвинд И.Н. 2017. Современные космические технологии изучения Земли как системы // Электронные библиотеки. Т. 20. №1. Режим доступа: <http://ojs.kpfu.ru/index.php/elbib/article/viewFile/189/67>. [Gansvind I.N. 2017. Sovremennyye kosmicheskie tekhnologii izucheniya Zemli kak sistemy // Elektronnyye biblioteki. V. 20. №. 1. Rezhim dostupa: <http://ojs.kpfu.ru/index.php/elbib/article/viewFile/189/67>. (in Russian)]
- Дзердзеевский Б.Л. 1968. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии. Материалы метеорологических исследований. М.: Изд. ИГ АН СССР и Междувед. Геофиз. Комитета при Президиуме АН СССР. 240 с. [Dzerdzeevskii B.L. 1968. Tsirkulyatsionnyye mekhanizmy v atmosfere Severnogo polushariya v KhKh stoletii. Materialy meteorologicheskikh issledovaniy. M.: Izd. IG AN SSSR i Mezhdoved. Geofiz. Komiteta pri Prezidiume AN SSSR. 240 P. (in Russian)]
- Добровольский С.Г. 2003. Изменения климата и составляющих водного баланса // Актуальные проблемы водообеспечения / Под ред. С.Г. Добровольского. М.: Наука. С. 119–130. [Dobrovol'skii S.G. 2003. Izmeneniya klimata i sostavlyayushchikh vodnogo balansa // Aktual'nye problemy vodoobespecheniya / Ed. S.G. Dobrovol'skogo. M.: Nauka. P. 119–130. (in Russian)]
- Думанская И.О., Федоренко А.В. 2008. Анализ связи ледовых характеристик морей европейской части России с макроциркуляционными атмосферными процессами // Метеорология и гидрология. № 12. С. 82-94. [Dumanskaya I.O.,

- Fedorenko A.V. 2008. Analiz svyazi ledovykh kharakteristik morei evropeiskoi chasti Rossii s makrotsirkulyatsionnymi atmosferynymi protsessami // *Meteorologiya i gidrologiya*. N. 12. P. 82-94. (in Russian)]
- Иванов Г.С., Кондратьев В.И. 1970. О точности определения среднего уровня моря // *Труды ГОИН*. Вып. 99. С. 82–86. [Ivanov G.S., Kondrat'ev V.I. 1970. O tochnosti opredeleniya srednego urovnya morya // *Trudy GOIN*. Iss. 99. P. 82–86.]
- Каплин П. А., Леонтьев О. К., Лукьянова С. А., Никифорова Л. Г. 1991. Берега. М.: Мысль. 479 с. [Kaplin P. A., Leont'ev O. K., Luk'yanova S. A., Nikiforova L. G. 1991. Berega. M.: Mysl'. 479 P. (in Russian)]
- Кубряков А.А. 2009. Анализ пространственной и временной изменчивости уровня Черного моря на основе альтиметрических и натурных наблюдений // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа* / Под ред. А.А. Кубрякова и С.В. Станичного. Вып. 18. С. 101–113. [Kubryakov A.A. 2009. Analiz prostranstvennoi i vremennoi izmenchivosti urovnya Chernogo morya na osnove al'timetricheskikh i naturnykh nablyudenii // *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa* / Ed. A.A. Kubryakova i S.V. Stanichnogo. Iss. 18. P. 101–113. (in Russian)]
- Манабе С., Вазеролд Р.Т. 2004. Долговременные изменения водных запасов вследствие глобального потепления по данным моделирования // *Всемирная конференция по изменениям климата*. М.: Паблик принт. С.47-56. [Manabe S., Vazerold R.T. 2004. Dolgovremennye izmeneniya vodnykh zasposov vsledstvie global'nogo potepeniya po dannym modelirovaniya // *Vsemirnaya konferentsiya po izmeneniyam klimata*. M.: Pablik print. P. 47-56. (in Russian)]
- Мохов И.И., Акперов М.Г., Прокофьева М.А. 2013. Блокинг в Северном полушарии и Евро-Атлантическом регионе: оценки изменений по данным реанализа и модельным расчетам // *Доклады Академии наук*. Т. 449. № 5. С. 1-5. [Mokhov I.I., Akperov M.G., Prokof'eva M.A. 2013. Blokingi v Severnom polusharii i Evro-Atlanticheskom regione: otsenki izmenenii po dannym reanaliza i model'nyim raschetam // *Doklady Akademii nauk*. V. 449. N. 5. P. 1-5. (in Russian)]
- Скворцов А. В., Мирза Н. С. 2006. Алгоритмы построения и анализа триангуляции. Томск: Изд. Томск. Университета. 168 с. [Skvortsov A. V., Mirza N. S. 2006. Algoritmy postroeniya i analiza triangulyatsii. Tomsk: Izd. Tomsk. Universiteta. 168 P. (in Russian)]
- Хайрулина Г.Р., Астафьева Н.М. 2011. Квазидвухлетние колебания в атмосфере Земли. Обзор: наблюдение и механизмы формирования. М.: ИКИ РАН. 60 с. [Khairulina G.R., Astaf'eva N.M. 2011. Kvazidvukhletnie kolebaniya v atmosfere Zemli. Obzor: nablyudenie i mekhanizmy formirovaniya. M.: IKI RAN. 60 P. (in Russian)]
- Шнитников А.В. 1957. Изменчивость общей увлажнённости материков Северного полушария. М.-Л.: АН СССР. 335 с. [Shnitnikov A.V. 1957. Izmenchivost' obshchei uvlazhnennosti materikov Severnogo polushariya. M.-L.: AN SSSR. 335 P.]
- Cherenkova E.A., Semenova I.G., Kononova N.K., Titkova T.B. 2015. Droughts and dynamics of synoptic processes in the south of the East European Plain at the beginning of the twenty-first century // *Arid Ecosystems*. V. 5. №2. P. 45–56.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2013: Chapter 8. Anthropogenic and natural radiative forcing. P. 659-740.
- Mörner N.-A. 2012. Sea level is not rising // *Science and Public Policy Institute Reprint Series* / N.-A.Mörner (ed.). 26 p.
- Nerem R.S., Beckley D.D., Fasullo J.T. 2018. Climate-change driven accelerated sea – level rise detected in the altimeter era // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. V. 115 (9). P. 2022-2025.
- Trenberth K. E., Fasullo J. T., Kiehl J. 2009. Earth's global energy budget // *Bull. Amer.Meteor. Soc.* V. 90. №3. P. 311–324.
- Zuo H., Alonso-Balmaseda M., de Boisseson E., Hirahara S., Chrut M., de Rosnay P. 2017. A generic ensemble generation scheme for data assimilation and ocean analysis // *ECMWF. Technical Memorandum*. №795. 44 p. DOI: 10.21957/cub7mq0i4
- Банк данных PSMSL. Режим доступа: <http://www.psml.org/>
- База данных GLORYS12V1. Режим доступа: http://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&view=details&product_id=GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030(дата обращения 11 декабря 2019)
- Материалы ЕСИМО. Данные наблюдений за уровнем Черного моря. Режим доступа: http://portal.esimo.ru/dataview/viewresourceconfidential?resourceId=RU_RIHMI-WDC_410. [Observation data for the Black Sea level. Access mode: http://portal.esimo.ru/dataview/viewresourceconfidential?resourceId=RU_RIHMI-WDC_410]
- Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX – начале XXI века. Режим доступа: URL: <http://www.atmospheric-circulation.ru> (дата обращения 11 февраля 2020). [Atmospheric circulation fluctuations in the Northern Hemisphere in the 20th – early 21st centuries. Access mode: URL: <http://www.atmospheric-circulation.ru> (Accessed February 11, 2020).]
- Сведения об ИСЗ, поставляющих оперативную информацию о топографии поверхности Мирового океана в GLOSS. Режим доступа. (www.ceos.org; www.wmo.int/pages/prog/sat/satellitestatus.php). [Information about satellites that provide operational information about the topography of the surface of the World Ocean in GLOSS. Access mode. (www.ceos.org; www.wmo.int/pages/prog/sat/satellitestatus.php).]

Поступила в редакцию: 17.04.2020
Переработанный вариант: 10.07.2022

METHODOLOGICAL AND METHODOLOGICAL PROBLEMS OF ECOLOGIZATION OF FOREST EDUCATION IN RUSSIA

Kaverin A.V., Masserov D.A., Dyukov N.V., Rezakov G.R.

Ogarev Mordovia State University, Saransk

kaverin@yandex.ru

Citation: Kaverin A.V., Masserov D.A., Dyukov N.V., Rezakov G.R. 2022. METHODOLOGICAL AND METHODOLOGICAL PROBLEMS OF ECOLOGIZATION OF FOREST EDUCATION IN RUSSIA // Environmental dynamics and global climate change. V. 13. N. 1. P. 15-24.

DOI: [10.18822/edgcc49995](https://doi.org/10.18822/edgcc49995)

Дано обоснование актуальности скорейшей экологизации лесного образования в Российской Федерации на основе сравнительного анализа учебных планов подготовки бакалавров по направлению 35.03.01 «Лесное дело» в 18-ти вузах России. Выявлена в учебных планах представленность дисциплин, которые формируют современные взгляды на окружающую среду и направляют на решение проблемы сохранения лесов как гарантов сохранения биологического разнообразия и устойчивого поддержания глобального климата. Приведены краткие рекомендации по корректировке учебных планов в лесных вузах в направлении использования в образовании теоретических разработок в области оптимальной лесистости, рационального размещения лесных насаждений, оптимального породного и возрастного состава лесов, при котором максимально проявляются их экологические свойства.

Ключевые слова: ликвидация лесного покрова, концепция лесного насоса, профанация в естественных науках, теория биотической регуляции, уровень экологического образования.

Keywords: forest cover elimination, forest pump concept, profanation in the natural sciences, theory of biotic regulation, level of environmental education.

INTRODUCTION

At the end of 2005, Professor V.G. Gorshkov, the author of the scientific concept of biotic regulation of the environment [Gorshkov, 1995], together with A.N. Makarieva, put forward the theory of the biotic pump of atmospheric moisture [Gorshkov, Makarieva, 2006; In memory of Viktor Georgievich Gorshkov, 2020], according to which virgin forests and swamps provide transport of moist air from the ocean to land. With this conclusion, the authors are trying to draw the attention of the scientific community and authorities to the catastrophic consequences of large-scale destruction of forest cover in many countries, including Russia. In the open letter dated 05.05.2006 (Forests as guarantors of the existence of Russian rivers and life on land (on the issue of adopting a new Forest Code)) [https://www.bioticregulation.ru/life/les2_r.php] they noted: "Scientific evidence has been obtained that the existence of rivers and precipitation on land is determined by the activity of undisturbed natural forests. An undisturbed forest is a living pump using solar energy to pump atmospheric moisture evaporated from the surface of the ocean onto land. It is shown that droughts, fires, floods, as well as hurricanes and tornadoes on land are the consequences of forest cover disturbance and the termination of the forest moisture pump operation. The destruction of the forests leads to the complete desertification of continents."

In this regard, the need to form a competent community of universal scientists and specialists from various branches of the economy, who are deeply versed in the theory of biotic regulation of the environment, is becoming increasingly acute. Appropriate environmental education should contribute to the formation and development of this community.

PROBLEM STATEMENT.

The low level of environmental education in forestry universities in Russia hinders the penetration and development of the environmental ideas in the field of forest policy, science and practice.

In our opinion, the problem comes from the fact that natural science disciplines are poorly represented in the curricula of training in this area: theoretical physics, evolutionary biology, meteorology and climatology, the ecological cycle of knowledge (ecology, nature management, etc.), that is, all those academic disciplines that, according to V.G.

Gorshkova (2006) "form views on life and the environment" and guide to solving the problem of forest conservation as guarantors of conservation of biological diversity and sustainable maintenance of the global climate.

The purpose of our study was to provide comparative analysis of the content in the curricula of disciplines forming modern views on the environment. The objective of the study is to identify a potential direction for optimizing the content of curricula with disciplines of the environmental cycle of knowledge.

MATERIALS AND METHODS OF STUDY

When choosing universities for the survey, we used such an integral indicator as the rating for 2019. Experts have traditionally adopted the main criteria in compiling the rating: the quality of education, scientific activity, international relations, the demand for university students by employers. 496 universities participated in the rating (out of 2067 universities in the country). 52 universities of them provide training in accordance with the bachelor's degree program 35.03.01 Forestry. They annually graduate more than one thousand specialists in forestry and forestry management [<https://vuzoteka.ru/universities//Лесное-дело-35-03-01>].

The main source materials became the curricula of the surveyed universities in the program 35.03.01 Forestry, which provide a quantitative characteristic in hours of the share of the academic load in physics, biology, meteorology and ecology. We have selected universities included in the "TOP-10", as well as for representativeness, universities in the middle and lower positions.

The data obtained during the survey allowed analyzing the information contained on the websites of the institutes of higher education and identifying the main problems on the way to the formation of modern views on the environment among future forest workers.

STUDY RESULTS AND THEIR DISCUSSION

Analyzing the table, it is difficult to disagree with the associate professor of the Ural State Forest Engineering University E.Yu. Serova [Serova, 2016, p. 23-24] that "the quality of training of specialists in Russian forestry institutes of higher education raises certain questions" from the fact that "there is a lack of breadth of outlook on life, knowledge in related fields - forest biology, chemistry, economics, social sciences, etc. The forest education is most often very narrow, technical, aimed more at mastering the implementation of routine procedures that have been developed over decades than at critically comprehending and reworking these procedures from the standpoint of modern science and practice. The rapid development of related fields of science, primarily biology and chemistry, has very little effect on the theoretical foundations of Russian forestry and has very little effect on the standards of forest education."

Considering the presence in the curricula of disciplines that form modern views on the environment (be reminded that they are necessary for understanding the role of natural forest ecosystems in the biotic management of the environment and understanding the processes of functioning of the biotic (forest) pump of atmospheric moisture, etc.), it is necessary to note the following methodological and methodical errors.

1) in 6 out of the 18 universities presented in the table, the physics was taught in a small amount - 108 hours for the entire period of study, in one - only 54 hours, and in another - it was not presented at all;

2) in 5 out of the 18 universities, the role of biology is "downplayed" (180 or less hours for the entire period of study);

3) in 10 out of 18 universities, meteorology and climatology were taught in an abridged version, and in another 5 universities, these disciplines, traditionally considered relevant for forest workers, were ignored when compiling the curricula;

4) in 6 out of 18 universities the role of environmental disciplines was clearly "belittled", and in another one, the ecology as a discipline was not included in the curriculum;

Only in 3 out of 18 universities (items 1, 2 and 4 in Table 1) we have not identified methodological and methodical errors hindering the formation of modern views on the role of the natural forests in the sustainable maintenance of the global climate.

CONCLUSIONS

To repair the current situation in the forest education, the curricula is needed to be essentially adjusted by increasing the role of disciplines that form the modern views on forests as "guarantors of the existence of Russian rivers and life on land." It is this idea that is being implemented by the leaders of the forest education: the National Research Tomsk State University, the Pacific State University and the Siberian State University of Science and Technology. In the curricula of these universities, a significant number of hours is devoted to the study of the disciplines of the natural science cycle (physics, biology, climatology and meteorology, ecology) reflecting the modern methodology of biotic regulation of the environment.

ВВЕДЕНИЕ

Об актуальности экологизации лесного хозяйства настоятельно высказывались ведущие отечественные экологи современности. Так, Н.Ф. Реймерс [Реймерс, 1994, С. 231] сетовал: «Едва ли какая-то область человеческой деятельности так далека от экологических идеалов, как лесной и другие виды промыслов». Среди основных экологических проблем в лесной отрасли он выделял следующие [Реймерс, 1994, С.232-233]:

- площадь лесов, особенно тропических и сибирской тайги, стремительно сокращается (тропических на 11-12 млн. га в год, тайги на точно неизвестную площадь, видимо, на 2-3 млн. га в год);

- лучшие лесопромысловые технологии сохраняют лесопокрытую площадь (например, скандинавская технология), дают большой прирост древесины, но резко омолаживают лес и превращают его в парковые насаждения, в которых лес не достигает экологической зрелости, пустеет от многих видов биоты, деградирует как экосистема;

- ведется хищнический промысел всех так называемых недревесных полезностей леса;

- до сих пор не осознается, что акклиматизация «полезных» видов в лесах антиэкологична.

В конце 2005 г. профессором В.Г. Горшковым, автором научной концепции биотической регуляции окружающей среды [Горшков,1995], совместно с А.Н. Макарьевой выдвинута теория биотического насоса атмосферной влаги [Горшков, Макарьева, 2006], согласно которой девственные леса и болота обеспечивают транспорт влажного воздуха с океана на сушу (рис. 1). Эта теория убедительно подтверждается анализом накопленных данных по мировым осадкам на суше и в океане.

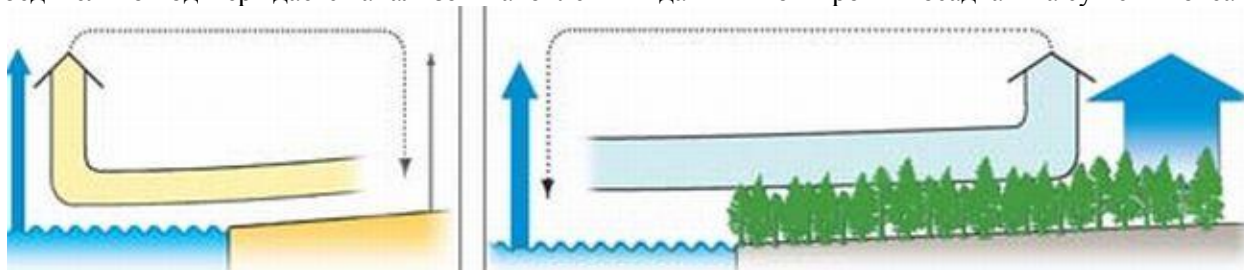


Рисунок 1. Схема (В.Г.Горшков). Если вырубить леса, ветер не будет дуть с океана, и над сушей не выпадут дожди [https://ecodelo.org/rossiyskaya_federaciya/44599-pamyati_viktora_georgievicha_gorshkova]

Опираясь на концептуальный подход к рассмотрению взаимодействия биоты с окружающей средой, они доказывают [https://ecodelo.org/rossiyskaya_federaciya/44599-pamyati_viktora_georgievicha_gorshkova], что:

- существующий природный биотический механизм управления окружающей средой беспрецедентен во Вселенной по своей сложности и эффективности;

- в отсутствие биотического управления окружающая среда и климат Земли быстро перейдут в состояние, непригодное для жизни человека;

- устойчивое поддержание благоприятных параметров окружающей среды невозможно без сохранения естественных экосистем в глобальных масштабах.

Таковыми выводами эти ученые стараются привлечь внимание научной общественности и властей к катастрофическим последствиям широкомасштабной ликвидации лесного покрова во многих странах, в том числе и в России. В открытом письме от 05.05.2006 г. (Леса как гаранты существования русских рек и жизни на суше (к вопросу о принятии нового Лесного Кодекса)) [https://www.bioticregulation.ru/life/les2_r.php] ими отмечено: «Получены научные доказательства того, что существование рек и осадков на суше определяется деятельностью ненарушенных естественных лесов. Ненарушенный лес представляет собой живой насос, на основе солнечной энергии закачивающий на сушу атмосферную влагу, испарившуюся с поверхности океана. Показано, что засухи, пожары, наводнения, а также ураганы и смерчи на суше являются следствием нарушения лесного покрова и прекращения действия лесного насоса влаги. Уничтожение лесов приводит к полному опустыниванию континентов».

Из этой новой физической картины В.Г. Горшков и А.М. Макарьева предельно популярно выводят важные для человечества следствия, которые заслуживают подробного цитирования. «Поскольку лес эффективно запасает влагу в почве и интенсивно её испаряет, воздух над лесом всегда влажный и, следовательно, легко поднимается (так как при подъёме происходит охлаждение и конденсация). Этот подъём компенсируется притоком влажного воздуха из близлежащих областей,

например, с океана. Приносимая с океана влага выпадает в виде осадков над лесом и компенсирует речной сток. Таким образом, пока есть лес, идёт дождь, и текут реки. Можно сказать и так: чтобы ходить, необходимы ноги, чтобы летать – крылья, а чтобы распространить жизнь из океана вглубь суши, биоте нужно было создать леса. Если лес исчезнет, то круговорот воды на суше станет в среднем на порядок менее интенсивным, а в глубине суши прекратится вовсе. Это утверждение также является новым. Оно составляет суть концепции биотического насоса атмосферной влаги (лесного насоса). Лес способен управлять испарением, конденсацией и переносом водяного пара из области испарения над океаном в область конденсации над лесом. Стягивая водяной пар, испарившийся над океаном, лес уносит с океанов энергию, необходимую для возникновения ураганов и распределяет эту энергию на осадки и ветер над лесом, компенсируя речной сток в океан. Процессы в биоте на много порядков величины сложнее любых геофизических процессов. Описать в деталях биофизику действия биотического насоса вряд ли когда-либо удастся. Поэтому указание на существование биотического лесного насоса может быть получено из непосредственных наблюдений за распределениями осадков, ветров, давления и температуры над лесом, океанами, соприкасающимися с речными лесными бассейнами и лишёнными леса территориями суши» [Gorshkov, Makarieva, 2007].

Ссылаясь на своих зарубежных коллег [Muller, 2017], В.Г. Горшков и А.М. Макарьева указывают на то, что сплошной ненарушенный лес зрелых высоких деревьев, покрывающий несколько миллионов квадратных километров, обладает важнейшими возможностями, он способен:

- 1) увеличивать испарение в десятки раз, по сравнению с открытой поверхностью океанов;
- 2) распределять осадки испарившейся влаги с помощью регуляции давления и ветра, вызываемых конденсацией и испусканием биологических аэрозольных ядер конденсации;
- 3) устранять возникновение ураганов и смерчей с помощью регуляции сопротивления ветру листового покрытия древесных крон высоких деревьев и множеством других особенностей леса, которые пока неизвестны.

Они также отмечают: «Западная Европа, благодаря Средиземному морю, по сути является островным государством и страдает то от наводнений, то от засух. Она не стала пустыней из-за существования Евразийского лесного пояса России, засасывающего влагу, в основном, с Атлантического океана через Западную Европу. Уничтожение лесов России скажется, в первую очередь, на климате Западной Европы. Последняя должна была бы быть крайне заинтересована в сохранении российских лесов. Леса необходимо защищать для сохранения осадков и рек и регуляции климата. Лес – это не возобновляемый «ресурс» биосферы, не запас углерода древесины, пригодной для использования человеком. Лес – не источник кислорода. Кислород атмосферы имеет массу, в тысячу раз большую массы всего органического углерода в лесах. Кислород атмосферы не может управляться биотой и человеком. Даже если будет сожжена вся биомасса лесов и всего ископаемого топлива, включая каменный уголь, масса кислорода в атмосфере изменится не более, чем на 1% (это однозначно следует из наблюдаемого количества кислорода в атмосфере и органического углерода в ископаемом топливе). Это меньше величины разницы концентрации кислорода между Петербургом и Москвой, определяемой разницей в атмосферных давлениях. Кислород регулируется водной биотой только в растворённом виде в океанах, озёрах и реках» [Gorshkov, Makarieva, 2007].

А.М. Макарьева, В.Г. Горшков и профессор Калифорнийского университета Б. Ли продемонстрировали воздействие лесов на наблюдаемые осадки в Евразийском лесном поясе длиной семь тыс. км и шириной более одной тыс. км, в Амазонии и Конго, в Австралии, в Канаде и на Аляске [Makarieva, Gorshkov, Li, 2013] и, таким образом, показали, что летом евразийский лес стягивает осадки с океанов. Осадки в океанах летом меньше, чем над лесом. Зимой, когда лес не активен, наоборот. Зимний лесной покров подобран так, чтобы осадки в виде снега были оптимальны, вплоть до весны и паводков. То же в Амазонии и Конго, в Канаде и на Аляске. В Австралии осадков над сушей всегда намного меньше, чем над океаном, и в сухой, и в относительно влажный сезоны.

Из этого следует, что дальнейшее игнорирование определяющей роли ненарушенных экосистем Земли в поддержании устойчивости окружающей среды и климата приведет к разрушению круговорота воды на суше, полному опустыниванию и прекращению жизни на суше. Жизнь может сохраняться только в прибрежных областях суши, граничащих с Мировым океаном. При современной эксплуатации лесов это может произойти в течение столетия. Климат Земли, пригодный для жизни в океане, может сохраниться из-за невозможности разрушения биотической регуляции окружающей среды океана ничтожным по величине биомассы фитопланктоном, недоступным для

поедания крупными животными и человеком. Для того, чтобы снизить наносимый ущерб природным экосистемам, первоочередные меры должны быть направлены на сохранение лесов мира с полной ликвидацией лесопромышленности в них (с переводом производства древесины на плантации) и запретом проведения дорог через леса, запретом средств технического передвижения по лесным рекам и по воздуху над лесом. Леса должны быть доступны только для естественной, немоторизованной рекреации. Необходимо, чтобы средства массовой информации формировали представления о непрестижности занятости в любых отраслях, связанных с уничтожением лесов [https://ecodelo.org/rossiyskaya_federaciya/44599-pamyati_viktora_georgievicha_gorshkova].

По твердому убеждению В.Г. Горшкова и А.М. Макарьевой, теория биотической регуляции является законом жизни в такой же мере, как и закон сохранения энергии, основным физическим законом. Но, к сожалению, принятие биотической регуляции как основного закона жизни откладывается лишь потому, что эти данные относятся ко всем без исключения областям науки. Современное научное сообщество, состоящее, в основном, из узких профессионалов, не может пока должным образом оценить всю общность и важность этих данных. В этой связи важнейшая задача – повышение образованности специалистов лесного хозяйства в области знаний о природе, лишь в этом случае такие меры будут поддержаны и населением, и руководителями государства. Но на сегодняшний день, по мнению В.Г. Горшкова: «Специалистов, имеющих общие представления об окружающей среде и биосфере и принципах ее функционирования, просто нет. Подобно узкоспецифичным клеткам тела животного, современные эксперты обладают знаниями лишь в какой-то одной области. Необходимо прорваться через границы этих областей и сформировать компетентное сообщество ученых-универсалов» [https://ecodelo.org/rossiyskaya_federaciya/44599-pamyati_viktora_georgievicha_gorshkova]. Помимо этого, распространение компьютерных моделей и распределение грантов на основании цитируемости в естественных науках привело к частичному вытеснению научных исследований профанацией. Отсюда нарастающая лавина публикаций в сети Интернет на тему «Заблуждения о CO₂ и глобальном потеплении» [<https://www.proza.ru/2012/10/30/1006>; <https://www.kp.ru/daily/27088.3/4159464>; http://izverzhenie-vulkana.ru/2019/05/zabluzhdeniya_o_co2_i_globalnom_potepnenii.html].

Слабому проникновению и развитию экологических идей в сферу лесной политики, науки и практики соответствует невысокий уровень экологического образования в лесохозяйственных вузах.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В наше время высшее лесное образование в России, построенное в основном на фундаменте советской высшей школы, переживает очередную реформу. Современные преобразования обусловлены внедрением нового Федерального государственного образовательного стандарта ФГОС ВПО по направлению подготовки 35.03.01 «Лесное дело» (уровень бакалавриата) (Приказ Министерства образования и науки РФ от 1 октября 2015 г. №1082).

Согласно п. 4.2 этого стандарта, объектами профессиональной деятельности выпускников, освоивших программу бакалавриата, являются:

- лесные и урбоэкосистемы различного уровня и их компоненты: растительный и животный мир, почвы, поверхностные и подземные воды, воздушные массы тропосферы;
- природно-техногенные лесохозяйственные системы, включающие сооружения и мероприятия, повышающие полезность природных объектов и компонентов природы: лесные и декоративные питомники, лесные плантации, искусственные лесные насаждения, лесопарки, гидромелиоративные системы, системы рекультивации земель, природоохранные комплексы и другие;
- лесные особо охраняемые природные территории и другие леса высокой природоохранной ценности, имеющие исключительные или особо важные экологические свойства, экосистемные функции и социальную роль.

Согласно п. 4.3, видами профессиональной деятельности, к которым готовятся выпускники, освоившие программу бакалавриата, являются: проектная; организационно-управленческая; научно-исследовательская; производственно-технологическая.

Согласно п. 5.3, выпускник, освоивший программу бакалавриата, должен обладать следующими общепрофессиональными компетенциями:

- обладать базовыми знаниями о роли основных компонентов лесных и урбоэкосистем: растительного и животного мира, почв, поверхностных и подземных вод, воздушных масс тропосферы в формировании устойчивых, высокопродуктивных лесов (ОПК-4);

- обладать базовыми знаниями систематики, анатомии, морфологии, физиологии и воспроизводства, географического распространения, закономерности онтогенеза и экологии представителей основных таксонов лесных растений (ОПК-5);

- знанием основных процессов почвообразования, экосистемные функции почвы, связи неоднородности почв с биоразнообразием, связи плодородия почв с продуктивностью лесных и урбобиоценозов (ОПК-6);

- знанием закономерности лесовозобновления, роста и развития насаждений в различных климатических, географических и лесорастительных условиях при различной интенсивности их использования (ОПК-7);

- способностью использовать в полевых условиях методы наблюдения, описания, идентификации, классификации объектов лесных и урбозкосистем различного иерархического уровня (ОПК-11);

- способностью уметь в полевых условиях давать лесотипологическую характеристику обследуемого участка, определять стадии возрастного развития лесных насаждений, этапы сукцессионной динамики лесных и урбозкосистем (ОПК-12);

- способностью уметь в полевых условиях определять систематическую принадлежность, названия основных видов лесных растений, вредных и полезных лесных насекомых, фитопатогенных грибов и других хозяйственно значимых организмов (ОПК-13).

Согласно п. 5.4, выпускник, освоивший программу бакалавриата, должен обладать профессиональными компетенциями, соответствующими виду (видам) профессиональной деятельности, на который (которые) ориентирована программа бакалавриата:

- умением применять современные методы исследования лесных и урбозкосистем (ПК-10);

- умением использовать знания о природе леса в целях планирования и проведения лесохозяйственных мероприятий, направленных на рациональное, постоянное, неистощительное использование лесов, повышение продуктивности лесов, сохранение средообразующих, водоохраных, защитных, санитарно-гигиенических, оздоровительных и иных полезных функций лесов (ПК-13);

- умением использовать знания технологических систем, средств и методов при решении профессиональных задач лесовосстановления, ухода за лесами, охраны, защиты и использования лесов (ПК-14).

Отметим, что в нашем исследовании акцент сделан на количественные параметры представления в учебных планах четырех разделов естественно-научных дисциплин: теоретической физики, эволюционной биологии, метеорологии и климатологии, экологического цикла знаний, – то есть всех тех учебных дисциплин, которые, по убеждению В.Г. Горшкова, «формируют взгляды на жизнь и окружающую среду» и направляют на решении проблемы сохранения лесов как гарантов сохранения биологического разнообразия и устойчивого поддержания глобального климата.

При выборе вузов для обследования нами использован такой интегральный показатель, как рейтинг на 2019 г. Основными критериями при составлении рейтинга традиционно приняты: качество обучения, научная деятельность, международные связи, востребованность работодателями студентов вузов. В рейтинге участвовало 496 вузов (из 2067 вузов страны), из них подготовку по направлению бакалавриата 35.03.01 «Лесное дело» ведут 52 вуза, которые ежегодно выпускают более одной тыс. специалистов лесного и лесопаркового хозяйства[<https://vuzoteka.ru/вузы/Лесное-дело-35-03-01>].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью нашего исследования явился сравнительный анализ содержания в учебных планах дисциплин, формирующих современные взгляды на окружающую среду. Задача исследования – обозначить потенциальное направление по оптимизации наполнения учебных планов дисциплинами экологического цикла знаний.

Основными исходными материалами стали учебные планы обследованных вузов по направлению 35.03.01 «Лесное дело», в которых приведена количественная характеристика в часах долей учебной нагрузки по физике, биологии, метеорологии и экологии. Нами отобраны вузы, входящие в «ТОП-10», а также, для репрезентативности, вузы, занимающие средние и нижние позиции (табл. 1).

Данные, полученные в ходе обследования, позволяют критически оценить информацию, содержащуюся на сайтах вузов, и выявить основные проблемы на пути к формированию современных взглядов на окружающую среду у будущих работников леса.

Таблица 1. Характеристика лесных вузов России по представленности в учебных планах подготовки бакалавров направления 35.03.01 «Лесное дело» дисциплин, формирующих современные взгляды на окружающую среду

Название вуза, город	Ранг среди лесных вузов	Ранг и рейтинг (в баллах) среди всех вузов РФ	Наличие в учебных планах дисциплин, формирующих современные взгляды на окружающую среду, часы			
			Физика	Биология	Климатология	Экология
1	2	3	4	5	6	7
Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск	1	9 (568)	144	324	72	360
Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск	2	102 (460)	288	288	72	360
Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, г. Великий Новгород	3	108 (457)	54	198	90	–
Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск	4	111 (455)	108	288	216	396
Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск	5	123 (452)	108	288	–	360
Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск	6	127 (450)	144	252	108	72
Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск	7	129 (450)	180	216	108	108
Байкальский государственный университет, г. Иркутск	8	130 (450)	144	144	–	144
Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола	9	162 (439)	108	288	–	216

1	2	3	4	5	6	7
Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, г. Омск	10	173 (436)	108	180	–	180
Вятский государственный университет, г. Киров	15	216 (420)	216	360	–	216
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Мытищи	20	268 (405)	144	288	72	108
Самарский государственный аграрный университет, г. Кинель	25	308 (394)	108	180	108	144
Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург	30	371 (381)	216	324	108	108
Кабардино-Балкарский государственный аграрный Университет им. В.М. Кокова, г. Нальчик	35	427 (369)	144	180	108	108
Северо-Кавказская государственная академия, г. Черкесск	40	512 (351)	–	180	180	180
Дагестанский государственный аграрный университет, г. Махачкала	45	543 (341)	108	360	144	72
Казанский государственный аграрный университет, г. Казань	50	1614 (31)	144	360	72	216

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализируя таблицу, трудно не согласиться с доцентом Уральского государственного лесотехнического университета Е. Ю. Серовой [Серова, 2016, с. 23] в том, что «качество подготовки специалистов в российских лесных вузах вызывает определенные вопросы». Так, рассматривая наличие в учебных планах дисциплин, формирующих современные взгляды на окружающую среду (напомним, что они необходимы для осознания роли естественных лесных экосистем в биотическом управлении окружающей средой и понимания процессов функционирования биотического (лесного) насоса атмосферной влаги и др.), необходимо отметить следующие методологические и методические просчеты:

1) в шести из 18-ти представленных в таблице вузов физика преподавалась в малом объеме – 108 часов за весь период обучения, в одном – только 54 часа, а еще в одном – совсем не представлена;

2) в пяти из 18-ти вузов «принижена» роль биологии (180 и менее часов за весь период обучения);

3) в 10-ти из 18-ти вузов в сокращенном варианте преподавались метеорология и климатология, а еще в пяти вузах эти, традиционно считающиеся актуальными для работников леса дисциплины, были проигнорированы при включении в учебные планы;

4) в шести из 18-ти вузов явно «принижена» роль экологических дисциплин, а еще в одном – экология как дисциплина отсутствовала в учебном плане.

ВЫВОДЫ

Для исправления сложившегося положения в лесном образовании необходима существенная корректировка учебных планов в направлении повышения роли дисциплин, формирующих современные взгляды на леса как на «гаранты существования русских рек и жизни на суше» [https://ecodelo.org/rossiyskaya_federaciya/44599-pamyati_viktora_georgievicha_gorshkova]. Ибо устаревшее рассмотрение человеком леса как запаса древесины, с помощью которой можно ускорить экономический рост, признается все более устаревшим и нелепым. «Даже разборка гаек, скрепляющих рельсы железнодорожного полотна, на грузила для ловли рыбы - в известном рассказе А.П. Чехова, представляется лишь очень слабой его аналогией» [Горшков, Макарьева, 2006, С.5].

На наш взгляд, необходимо возвращать в лесное образование теоретические разработки отечественных ученых, посвятивших свою деятельность вопросам оптимальной лесистости, рациональному размещению лесных насаждений, а также оптимальному составу лесов, при котором максимально проявляются их экологические свойства. В первую очередь, мы имеем ввиду работы А.А. Молчанова [Молчанов, 1961; 1966; 1968], М.И. Львовича [Львович, 1963; 1986], Г.Б. Паулюквичюса [Паулюквичюс, 1978], Г.А. Харитоновой [Харитонов, 1963] и других, которые на сегодняшний день, к сожалению, оказались полузабытыми. Именно передовая теоретическая мысль помогает лучше и правильнее видеть современные экологические проблемы. «А видеть проблему», – как мудро утверждал Н.Ф. Реймерс, – «уже половина пути к истине» [Реймерс, 1994].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Биотическая регуляция для всех // Сайт биотической регуляции. URL: https://www.bioticregulation.ru/life/les2_r.php (дата обращения: 23.04.2020).

Вузы России со специальностью лесное дело – 35.03.01 // Википедия – свободная энциклопедия. URL: <https://vuzoteka.ru/%D0%B2%D1%83%D0%B7%D1%8B/%D0%9B%D0%B5%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B5-%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%BE-35-03-01> (дата обращения: 23.04.2020).

Глобальный обман глобального потепления // «Комсомольская правда» – сетевое издание. URL: <https://www.kp.ru/daily/27088.3/4159464> (дата обращения: 23.04.2020).

Горшков В.Г. 1995. Физические и биологические основы устойчивости жизни / В. Г. Горшков; Отв. ред. К. С. Лосев. М. С. 470. [Gorshkov V.G. 1995. Fizicheskie i biologicheskie osnovy ustoichivosti zhizni / V. G. Gorshkov; ed. K. S. Losev. Moscow. P. 470. (in Russian)]

Горшков В.Г., Макарьева А.М. 2006. Биотический насос атмосферной влаги, его связь с глобальной атмосферной циркуляцией и значение для круговорота воды на суше. СПб.: Изд-во ПИЯФ. С. 49. [Gorshkov V.G., Makar'eva A.M. 2006. BIOTIC PUMP OF ATMOSPHERIC MOISTURE, ITS LINKS TO GLOBAL ATMOSPHERIC CIRCULATION AND IMPLICATIONS FOR CONSERVATION OF THE TERRESTRIAL WATER CYCLE. SPb.: Gatchina. P. 49. (in Russian)]

Заблуждения о глобальном потеплении // Проза.ру – российский литературный портал. URL: <https://www.proza.ru/2012/10/30/1006> (дата обращения: 23.04.2020).

Заблуждения о CO₂ и глобальном потеплении // Вулканы – оперативно, своевременно, достоверно. URL: http://izverzhenie-vulkana.ru/2019/05/zabluzhdeniya_o_co2_i_globalnom_poteplenii.html (дата обращения: 23.04.2020).

Львович М.И. 1986. Вода и жизнь: Водные ресурсы, их преобразование и охрана. М.: Мысль. С. 256. [L'vovich M.I. 1986. Voda i zhizn': Vodnye resursy, ikh preobrazovanie i okhrana. M.: Mysl'. P. 256. (in Russian)]

Львович М.И. 1963. Человек и воды: Преобразование водного баланса и речного стока. М.: Географгиз. С. 568. [L'vovich M.I. 1963. Chelovek i vody: Preobrazovanie vodnogo balansa i rechnogo stoka. M.: Geografiz. P. 568. (in Russian)]

Макарьева А.М., Горшков В.Г. 2006. Лесной биотический насос влаги (популярное изложение). СПб.: Отделение теоретической физики, Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН. С. 16. [Makar'eva A.M., Gorshkov V.G. 2006. Lesnoi bioticheskii nasos vlagi (populyarnoe izlozhenie). St. Petersburg: Department of Theoretical Physics, St. Petersburg Institute of Nuclear Physics. B.P. Konstantinov RAS. P. 16. (in Russian)]

Молчанов А.А. 1961. Лес и климат. М.: Изд-во акад. наук СССР. С. 279. [Molchanov A.A. 1961. Les i klimat. M.: Publishing house acad. sciences of the USSR. P. 279. (in Russian)]

Молчанов А.А. 1968. Лес и окружающая среда. М.: Наука. С. 247. [Molchanov A.A. 1968. Les i okruzhayushchaya sreda. M.: Nauka. P. 247. (in Russian)]

Молчанов А.А. 1966. Оптимальная лесистость. М.: Наука. С. 126. [Molchanov A.A. 1966. Optimal'naya lesistost'. M.: Nauka. P. 126. (in Russian)]

Памяти Виктора Георгиевича Горшкова // Экодело – информационный ресурс. URL:

https://ecodelo.org/rossiyskaya_federaciya/44599-pamyati_viktora_georgievicha_gorshkova (дата обращения: 23.04.2020).

Паулюкявичюс Г. 1982. Экологическая роль лесов / Г. Паулюкявичюс. Вильнюс: Мокслас. С. 111. [Paulykyavichyus G. 1982. Ekologicheskaya rol' lesov / G. Paulykyavichyus. Vil'nyus: Moksas. P. 111. (in Russian)]

Реймерс Н.Ф. 1994. Экология (теории, законы, правила принципы и гипотезы) М.: Журнал «Россия Молодая». С. 367. [Reimers N.F. 1994. Ekologiya (teorii, zakony, pravila printsiipy i gipotezy). M.: Zhurnal «Rossiya Molodaya». P. 367. (in Russian)]

Серова Е.Ю. 2016. О лесном образовании в России / Е. Ю. Серова // Инженерная школа XXI века: традиции, достижения, инновации: материалы науч.-метод. конференции с международным участием / Минобрнауки России, Урал. гос. лесотехн. ун-т. С. 22– 28. [Serova E.Yu. 2016. O lesnom obrazovanii v Rossii / E. Yu. Serova // Inzhenernaya shkola XXI veka: traditsii, dostizheniya, innovatsii: materialy nauch.-metod. konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem / Ministry of Education and Science of Russia, Ural. state forest engineering un-t. P. 22–28. (in Russian)]

Харитонов Г.А. 1963. Водорегулирующая и противозероизирующая роль леса в условиях лесостепи М.: Гослесбумиздат. С. 255. [Kharitonov G.A. 1963. Vodoreguliruyushchaya i protivozerozionnaya rol' lesa v usloviyakh lesostepi. M.: Goslesbumizdat. P. 255. (in Russian)]

Gorshkov V.G., Makarieva A.M. 2007 Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. Hydrology and Earth System Sciences V. 11. P. 1013–1033

Makarieva A.M., Gorshkov V.G., Li B.-L. (2013) Revisiting forest impact on atmospheric water vapor transport and precipitation. Theoretical and Applied Climatology V. 111. P. 79–96. URL: <https://dx.doi.org/10.1007/s00704-012-0643-9>

Müller, A., Miyazaki, Y., Tachibana, E., Kawamura, K., & Hiura, T. 2017. Evidence of a reduction in cloud condensation nuclei activity of water-soluble aerosols caused by biogenic emissions in a cooltemperate forest. ScientificReports. URL: https://www.researchgate.net/publication/322505922_doiorg101038s41598-017-18839-0 (дата обращения: 23.04.2020).

NEW ASSOCIATION OF WOODED SWAMP WITH *ALNUS INCANA* WITHIN THE IRTYSH FLOOD PLAIN (WESTERN SIBERIA)

E.D. Lapshina

Yugra State University, Russia

e_lapshina@ugrasu.ru

Citation: Lapshina E.D. 2022. New association of wooded swamp with *Alnus incana* within the Irtysh flood plain (Western Siberia) // Environmental dynamics and global climate change. V. 13. N. 1. P. 25-34.

DOI: [10.18822/edgcc106552](https://doi.org/10.18822/edgcc106552)

В пойме р. Иртыш на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры описана новая ассоциация лесных пойменных болот *Carici juncellae–Alnetum incanae* ass. nov., которая отнесена к союзу *Salici pentandrae–Betulion pubescentis* Clausnitzer in Dengler et al. 2004 (порядок *Salici pentandrae–Betulealia pubescentis* Clausnitzer in Dengler et al. 2004) класса *Alnetea glutinosae* Tx. 1937. Проведено сравнение новой ассоциации с близкими синтаксонами в Западной Сибири и Европейской части России. Хорошее состояние популяций *Alnus incana* на торфяных почвах пойменных болот (высокое проективное покрытие, цветение, плодоношение) в условиях потепления климата позволяет ожидать более широкого распространения сообществ этой ассоциации в Западной Сибири.

Ключевые слова: растительность болот, классификация Браун-Бланке, серая ольха, пойменные болота, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Западная Сибирь.

Key words: mire vegetation, Braun-Blanquet classification, gray alder, flood plain swamps, Khanty-Mansi Autonomous Area, Western Siberia.

SUMMARY

Gray alder – *Alnus incana* (L.) Moench (*Betulaceae*) in the taiga zone of Western Siberia is a rare species located on the northern and eastern borders of its area. *Alnus incana* occurs sporadically in the floodplain of the Irtysh [Flora ..., 1992; Gordeev, 1999; Kapitonova et al., 2017], the Ob River [Taran et al., 2004], and the valleys of small rivers of its left bank tributaries [Lapshina et al., 2018].

A new association *Carici juncellae–Alnetum incanae* ass. nov. of treed floodplain swamps, with the participation of gray alder (Fig. 1, 2) was described in the right-bank floodplain of the Irtysh River in its lower reaches (60.73 N; 69.81 E). The association combines rare birch-alder-tussock sedge communities of floodplain swamps that develop under conditions of flooding by river waters and moderately rich ground water supply.

Differentiating species combination: *Alnus incana*, *Carex juncella*, *C. canescens*, *Calliergon giganteum*, *Calliergonella cuspidata*, *Climacium dendroides*, *Haplocladium microphyllum*, *Lewinskya elegans*, *Pylaisia polyantha* (Table 1).

Communities similar in floristic composition were recently described on the territory of the “Malaya Sosva” Nature Reserve under the name of ass. *Alno incanae–Betuletum pubescentis* Lapshina et al. 2018 [Lapshina et al., 2018]. The main difference of the new association is a taller tree layer, the development of a dense layer of gray alder (up to 70%), the dominance of tussock-forming sedges, and the complete absence of *Sphagnum* mosses (Table 1), caused by differences in the ecological conditions of habitats (more favorable microclimatic conditions, variability of the moistening and higher richness of peat soils in the floodplain of the Irtysh).

The new association is assigned to the alliance *Salici pentandrae–Betulion pubescentis* Clausnitzer in Dengler et al. 2004 (order *Salici pentandrae–Betulealia pubescentis* Clausnitzer in Dengler et al. 2004) of the class *Alnetea glutinosae* Tx. 1937. The order and its central alliance combine low-lying eutrophic and mesoeutrophic birch swamps and swampy low forests of Eurasia fed by ground water and river water.

The good condition of gray alder in the communities of floodplain swamps (high projective cover, flowering, fruiting) allows us to expect a wider distribution of communities of this association in Western Siberia under conditions of climate warming.

ВВЕДЕНИЕ

В среднетаежной зоне Западной Сибири *Alnus incana* (L.) Moench (*Betulaceae*) — редкий вид, находящийся на северной и восточной границах своего ареала. В Центральной и Восточной Европе ольха серая формирует сомкнутые лесные насаждения, типологии которых, с использованием разных классификационных подходов, посвящены работы многих исследователей [Работнов, 1939; Ниценко, 1972; Коротков, 1991; Василевич, 1998; Дегтева, 2002; Мартыненко, 2009]. Фитоценотическое разнообразие и ботанико-географические особенности сероольховых лесов европейской части России и Центральной Европы обобщены и подробно описаны Ю. А. Семенищенковым [2014]. Они представлены двумя группами сообществ, развивающихся в контрастных по экологическим условиям местообитаниях. Одна группа — мезофитные сероольшаники, включает вторичные леса, находящиеся на разных стадиях восстановления зональных еловых и широколиственно-еловых неморальных травяных лесов, а также разнообразные пионерные группировки на брошенных сельскохозяйственных угодьях и других хорошо дренированных антропогенных местообитаниях. Вторая группа объединяет коренные влажные гигрофитные сероольховые леса, формирующиеся в местообитаниях с проточной водой, в зонах длительного подтопления полыми водами в долинах небольших рек и ручьев на богатой минеральной почве. Первые рассматривают в ранге временной стадии коренных неморальных ельников и относят к асс. *Rhodobryo rosei–Piceetum abietis* Korotkov 1986 союза *Quercus roboris–Tilion cordatae* Solomeschch et Laiviņš ex Bulokhov et Solomeschch in Bulokhov et Semenishchenkov 2015 порядка *Carpinetalia betuli* P. Fukarek 1968 класса *Carpino-Fagetalia sylvaticae* Jakucs ex Passarge 1968. Вторые — полностью соответствуют описанному в Центральной Европе союзу *Alnion incanae* Pawł. in Pawł., Sokoł. et Wall. 1928, который в соответствии с современной системой классификации растительности Европы относят к порядку *Alno-Fraxinetalia excelsioris* Passarge 1968 класса *Alno glutinosae–Populetea albae* P. Fukarek et Fabijanić 1968) [Mucina et al., 2016]. Наиболее восточные насаждения коренных сероольховых лесов асс. *Alnetum incanae* приводятся для речных пойм в подтаежной зоне на юге Удмуртии, Башкирии [Соломешч и др., 1993; Полозов и Соломешч, 1999, цит. по: Семенищенков, 2014] и в лесостепной зоне Южного Урала [Мартыненко и др., 2003; Мартыненко, 2009].

Единственное местонахождение нескольких небольших фрагментов сообществ ольхи серой в Западной Сибири с обедненным, слабо развитым травяным покровом описано в левобережной пойме Оби, ниже впадения в нее р. Иртыш на территории Елизаровского государственного заказника [Таран и др., 2004]. В подзоне средней тайги *Alnus incana* спорадически встречается в пойме широтного отрезка Оби и по крутым склонам и логам правобережной долины Иртыша [Флора ..., 1992; Гордеев, 1999; Капитонова и др., 2017].

Несмотря на тесную связь коренных сероольховых лесов с пойменными и приречными местообитаниями и способность выдерживать длительное подтопление, мы не встречали в литературе описание сообществ серой ольхи на торфяных болотах. В виде небольшой, но устойчивой примеси, она была отмечена нами только на болоте в долине р. Ем-Еган (правого притока р. Малая Сосьва) [Лапшина и др., 2018]. Тем удивительнее было нахождение в пойме нижнего течения р. Иртыш обширных массивов березово-ольхово-кочкарноосоковых сообществ, где сомкнутость кустарникового яруса, образуемого ольхой серой, местами достигала 70%. Учитывая большие площади, занимаемые этими сообществами, характерный физиономический облик и относительно высокое постоянство видового состава, они были описаны в ранге самостоятельной ассоциации.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Район исследований географически располагается в подзоне средней тайги Западной Сибири и охватывает участок правобережной долины р. Иртыш, включающий комплекс речных террас и относительно регулярно заливаемую современную пойму р. Иртыш в районе д. Реполово (60.66°–60.78° N; 69.68°–70.05° E).

Климат умеренно континентальный. По данным метеостанции Ханты-Мансийска среднегодовая температура воздуха составляет –0.5 °С. Средняя температура января –18.7 °С, июля – +20.3 °С. Сумма температур выше 10°С не превышает 1300 °С. Продолжительность безморозного периода 90 дней. Среднегодовое количество осадков 567 мм (от 704 мм в 1978 г. до 385 мм в 1989 г.).

Абсолютные отметки поймы р. Иртыш в его нижнем течении 25–30 м, надпойменных террас – 40–55 м над ур. м. Река протекает в широкой долине, изобилующей протоками, старицами,

ложбинами, озерами, болотами, которые после спада половодья остаются занятыми водой. Средняя ширина правобережной поймы р. Иртыш в районе исследования 5–10 км.

Растительный покров территории представлен в основном лесными, болотными и пойменными фитоценозами. Лесные насаждения надпойменных террас образованы преимущественно смешанными темнохвойно-мелколиственными, березовыми и осиновыми лесами, находящимися на разных стадиях послепожарного восстановления коренных зональных пихтово-елово-кедровых мелкотравно-зеленомошных лесов, характерных для плакорных местообитаний средней тайги Западной Сибири. Значительные площади занимают олиготрофные сосново-кустарничково-сфагновые и кустарничково-пушицево-сфагновые верховые болота.

В пойме наиболее низкие и слабо дренированные уровни рельефа заняты заболоченными водноосоковыми лугами, образованными крупной корневищной осокой *Carex aquatilis*, и кочкарноосоочниками из *Carex juncella*. На более дренированных выровненных участках в прирусловой и центральной пойме развиты канареечниковые (*Phalaris arundinacea*) луга. Фрагментарно, по наиболее высоким гривам вдоль протоков, встречаются заросли ивовых кустарников и пойменных березовых и березово-осиновых лесов.

Низинные болота на торфяных почвах развиваются в притеррасной части поймы и представлены осоково-гипновыми топиями и лесными болотами (темнохвойными и ольхово-березовыми сограми). Гипновые болота отмечены на небольшой площади в основании правобережной террасы р. Иртыш, в местах выходов грунтовых вод, и отличаются высоким богатством видового состава с участием многих редких видов растений.

На участках притеррасной поймы, где отсутствует активная разгрузка напорных грунтовых вод, встречаются типичные вейниково (*Calamagrostis purpurea*)-болотнотравно-моховые согры лесного облика с березово-кедровым или полидоминантным древостоем до 18 м высотой.

Основные площади лесных болот на обследованном участке в правобережной пойме р. Иртыш занимают уникальные по своей структуре и флористической комбинации видов березово-ольхово-кочкарноосоковые согры с участием ольхи серой (*Alnus incana*) (рис. 1, 2), которые и стали объектами нашего исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение растительности болотных массивов в правобережной пойме Нижнего Иртыша проведено с 17 по 24 июня 2021 года при проведении комплексных ландшафтно-экологических исследований на территории южной части Приобского нефтяного месторождения ООО «Газпромнефть-Хантос». Выполнено 38 полных геоботанических описаний болот, из них 10 с участием *Alnus incana*, которые вошли в диагностическую таблицу. Для всех описаний определены координаты с помощью GPS-навигатора.

На пробных площадках размером 10 × 10 м (100 м²) выявляли все виды (сосудистые растения, мхи, печеночники) с оценкой проективного покрытия (%). Обработка описаний выполнена в соответствии с принципами флористической классификации школы Браун-Бланке [Westhoff, Maarel, 1978]. Для первичной сортировки геоботанических описаний использована интегрированная ботаническая информационная система IBIS 7.2 [Зверев, 2007]. В характеризующих таблицах проективное покрытие видов дано по следующей шкале [Becking, 1957; Миркин, Наумова, 2012]: r — единично, + — менее 1 %, 1 — 1–5%, 2a — 6–13%, 2b — 14–25%, 3 — 26–50%, 4 — 51–75%, 5 — 76–100%. Постоянство видов дано в классах от I до V с величиной класса 20%, символом «г» обозначены единично встреченные виды.

Для высших синтаксонов использовали понятие характерных видов, включая в него селективные и преферентные виды, для выделения синтаксонов ранга ассоциации — понятие дифференцирующей комбинации видов, понимая под ней группу видов, которые, встречаясь вместе, являются характерными для синтаксона, хотя каждый по отдельности дифференцирующим может и не быть [Molenaar, 1976; Матвеева, 2006].

Таблица 1. Сообщества асс. *Carici juncellae–Alnetum incanae* и ранее описанной асс. *Alno incanae–Betuletum pubescentis* с вариантами Сообщества асс. *Carici juncellae–Alnetum incanae* и ранее описанной асс. *Alno incanae–Betuletum pubescentis* с вариантами

Проективное покрытие ярусов / подъярусов, %											Постоянство				
древесный (а)	20	10	10	5	20	20	25	20	15	15	Асс. <i>Carici juncellae–Alnetum incanae</i>	Асс. <i>Alno incanae–Betuletum pubescentis</i>	Асс. <i>A. i.-B. p.</i> вар. <i>Sphagnum teres</i>	Асс. <i>A. i.-B. p.</i> вар. <i>Sphagnum centrale</i>	
кустарниковый (b)	55	65	55	50	40	75	67	50	45	70					
кустарниковый (b1)	45	55	30	40	30	75	60	45	40	65					
кустарниковый (b2)	13	5	25	10	10	2	7	5	5	5					
травяной (с)	70	60	65	60	70	60	70	80	70	80					
моховой (d)	55	45	70	65	65	60	70	45	55	45					
Число видов	41	37	42	25	34	37	43	44	32	29					
Номер описания	1	2*	3	4	5	6	7	8	9	10					
Дифференцирующая комбинация видов асс. <i>Carici juncellae–Alnetum incanae</i>															
<i>Alnus incana</i>	b	3	3	2b	3	3	4	3	3	3	4	V ^{2b-4}	III	III	IV
<i>Carex juncella</i>	c	2b	2b	3	3	3	2b	3	3	3	3	V ^{2b-3}	V	V	V
<i>Carex canescens</i>	c	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	V ⁺	r	I	.
<i>Calliergon giganteum</i>	d	2b	2a	3	3	2b	2a	2b	2b	2a	1	V ¹⁻³	.	.	.
<i>Climacium dendroides</i>	d	2b	2b	2b	2b	2b	2a	2b	2a	2b	3	V ^{2a-3}	.	.	.
<i>Haplocladium microphyllum</i>	d	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.	IV ⁺	.	.	.
<i>Calliergonella cuspidata</i>	d	1	+	+	.	.	+	.	1	2a	1	III	.	.	.
Дифференцирующая комбинация видов (д. к. в.) асс. <i>Carici juncellae–Alnetum incanae</i>															
<i>Sphagnum squarrosum</i> Aln.	d	.	.	.	.	.	1	.	+	.	.	I	V	IV	V
<i>Helodium blandowii</i>	d	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	I ⁺	V	V	V
<i>Salix phylicifolia</i>	b	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	IV	III	V
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	b	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	IV	III	V
<i>Salix myrtilloides</i>	b	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	IV	III	V
<i>Equietum fluviatile</i>	c	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	IV	IV	IV
<i>Chiloscyphus polyanthos</i>	d	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III	II	III
Д. к. вариантов <i>Sphagnum teres</i> и <i>S. centrale</i>															
<i>Sphagnum teres</i>	d	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III	V	.
<i>Carex magellanica</i>	c	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II	III	.
<i>Sphagnum centrale</i>	d	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III	.	V
<i>Sphagnum warnstorffii</i>	d	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III	.	V
<i>Filipendula ulmaria</i>	c	.	.	.	.	.	.	.	+	1	+	II ⁺¹	III	I	IV
Характерные виды (х. в.) союза <i>Salici pentandrae–Betulion pubescentis</i> и класса <i>Alnetea glutinosae</i>															
<i>Betula pubescens</i>	a	2b	2a	2a	1	2b	2b	2b	2b	2b	2b	V ^{1-2b}	V	V	V
<i>Salix rosmarinifolia</i>	b	2a	1	2b	2a	2a	1	2a	1	+	1	V ^{+-2b}	.	.	.
<i>Salix pentandra</i>	b	1	1	2a	.	1	1	2b	2a	.	+	IV ^{+-2b}	.	.	.
<i>Naumburgia thyrsiflora</i>	c	+	+	1	+	1	+	1	+	+	+	V ⁺⁻¹	I	.	II
<i>Galium palustre</i>	c	+	+	1	+	+	+	+	+	1	+	V	.	.	.
<i>Scutellaria galericulata</i>	c	+	+	r	+	+	+	+	+	.	.	IV ^{r+}	I	.	II
<i>Caltha palustris</i>	c	+	+	+	.	+	+	.	.	.	.	III ⁺	I	II	.
<i>Carex elongata</i>	c	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	II	.	.	.
<i>Calla palustris</i>	c	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	I ⁺	r	I	.
<i>Salix cinerea</i>	b	.	.	.	.	.	.	+	.	1	.	I ⁺¹	.	.	.

X. в. союза <i>Carici cespitosae–Piceion obovatae</i>															
<i>Carex cespitosa</i>	c	3	3	2b	2a	2b	3	3	3	3	3	V ^{2a-3}	II	II	I
<i>Calamagrostis purpurea</i>	c	+	+	+	.	+	+	1	1	1	+	V ⁺⁻¹	V	V	V
<i>Carex disperma</i>	c	.	.	+	+	.	.	+	.	.	.	II ⁺	.	.	.
<i>Viola epipsila</i>	c	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	IV	III	V
<i>Picea obovata</i>	b	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III	II	IV
<i>Pohlia nutans</i>	d	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III	II	IV
<i>Pyrola minor</i>	c	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III	III	III
<i>Rhizomnium pseudopunctatum</i>	d	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II	I	III
X. в. класса <i>Scheuchzerio-Caricetea nigrae</i>															
<i>Comarum palustre</i>	c	2a	2a	2a	2b	2b	2a	2b	2a	2b	1	V ^{1-2b}	V	V	V
<i>Carex rostrata</i>		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	V	V	V
Константные виды:															
<i>Plagiomnium ellipticum</i>	d	2b	2b	2b	2b	2b	2b	2b	2b	2b	2b	V ^{2b}	V	V	V
<i>Calliergonella lindbergii</i>	d	1	1	1		2a	2a	1	1	1	1	V ^{1-2a}	I	.	II
<i>Brachythecium salebrosum</i>	d	+	+	+	+	1	+	+	+	+	+	V ⁺⁻¹	.	.	.
<i>Amblystegium serpens</i> s. l.	d	+	+	+	+	1	+	+	+	+	+	V ⁺⁻¹	r	I	.
<i>Calliergon cordifolium</i>	d	1	+	+	.	.	2a	1	+	1	+	IV ^{+-2a}	III	III	III
<i>Drepanocladus aduncus</i>	d	1	1	+	+	+	.	+	+	+		IV ⁺⁻¹	I	I	I
<i>Aulacomnium palustre</i>	d	+	.	+	.	+	1	1	1	1	+	IV	III	III	IV
<i>Sanionia uncinata</i>	d	1	1	+	.	1	1	2a	1	.	+	IV ^{+-2a}	III	III	II
<i>Stellaria palustris</i>	c	+	+	r	.	+	+	+	.	+	.	IV ^{r+}	.	.	.
<i>Ceratodon purpureus</i>	d	+	+	+	.	+	+	+	+	.	.	IV ⁺	I	.	II
<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	d	+	+	+	+	.	+	+	+	.	.	IV	.	.	.
<i>Pyrola rotundifolia</i>	c	+	.	+	.	.	+	+	+	+	+	IV ⁺	.	.	.
<i>Pylaisia polyantha</i>	d	+	+	+	+	1	.	+	+	.	.	IV ⁺⁻¹	.	.	.
<i>Lewinskya elegans</i>	d	+	+	.	+	+	.	+	+	.	.	III ⁺	.	.	.
Прочие виды:															
<i>Rubus arcticus</i>	c	.		+	.	.	+	1	1	1	1	III ⁺⁻¹	V	IV	V
<i>Epilobium palustre</i>	c	.	+	.	.	+	+	+	.	+	+	III ⁺	II	II	II
<i>Drepanocladus polygamus</i>	d	+	+	+	+	1	.	.	.	.	.	III ⁺⁻¹	.	.	.
<i>Leskea polycarpa</i>	d	1	+	+	+	.	.	.	.	.	+	III ⁺⁻¹	.	.	.
<i>Campylidium sommerfeltii</i>	d	+	.	+	+	.	+	+	.	.	.	III ⁺	.	.	.
<i>Poa palustris</i>	c	+	+	+	.	+	.	.	.	.	.	II ⁺	.	.	.
<i>Aneura pinguis</i>	d	+	.	+	+		+	.	.	.	.	II ⁺	.	.	.
<i>Leptobryum pyriforme</i>	d	+	.	+	.	+	+	.	.	.	.	II ⁺	II	II	I
<i>Orthotrichum obtusifolium</i>	d	.	+	.	.	+	.	+	+	.	.	II ⁺	.	.	.
<i>Anemonidium dichotomum</i>	c	.	.	+	.	.	.	+	+	+	.	II ⁺	.	.	.
<i>Callicladium haldanianum</i>	d	.	.	.	.		+	+	+	+	.	II ⁺	.	.	.
<i>Dryopteris carthusiana</i>	c	.	.	.	.	r	.	.	+	+	.	II ⁺	.	.	.
<i>Lathyrus palustris</i>	c	+	.	.	.	.	.	r	.	.	r	II ^{r+}	.	.	.
<i>Bryum creberrimum</i>	d	r	.	.	.	+	.	.	+	.	.	II ^{r+}	r	I	.
<i>Plagiomnium cuspidatum</i>	d	+	.	.	.	.	+	.	+	.	.	II ⁺	.	.	.
<i>Pseudobryum cinclidioides</i>	d	.	1	.	.	.	+	.	.	.	.	I ⁺⁻¹	.	.	.

Примечание. Виды, встреченные в 1 описании: *Brachythecium mildeanum* 7 (+), *Corallorrhiza trifida* 10 (+), *Dicranum fuscescens* 7 (+), *Epilobium* sp. 3 (+), *Equisetum fluviatile* 3 (+), *Hygroamblystegium humile* 8 (+),

Hylocomium splendens 7 (+), *Hypnum cupressiforme* 2 (+), *Pleurozium schreberi* (7 +), *Pohlia nutans* 8 (+), *Polytrichum juniperinum* 9 (+), *Rosa acicularis* 3 (+), *Thelypteris palustris* 8 (+).

Автор описаний: Е. Д. Лапшина. Все описания выполнены 20.06.2021 на территории ХМАО, Ханты-Мансийский р-он, притеррасная часть правобережной поймы р. Иртыш.

* – номенклатурный тип: 2 – ХМАО, Ханты-Мансийский р-он, притеррасная часть правобережной поймы р. Иртыш, 60.73921 N, 69.80959 E, оп. 015E21pb, 20.06.2021, Е. Д. Лапшина.

Сокращение: *Aln.* — характерный вид класса *Alnetea glutinosa*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Березово-ольхово-кочкарноосоковые сообщества торфяных болот в притеррасной части поймы Иртыша в его нижнем течении описаны в ранге новой ассоциации.

Асс. *Carici juncellae–Alnetum incanae* ass. nov. (табл. 1, оп. 1-10; номенклатурный тип (holotypus) — оп. 2* (полевой номер — оп. 015E21pb, ХМАО, Ханты-Мансийский р-он, окр. д. Реполово, правобережная пойма р. Иртыш, центральная часть притеррасного болота, 20.06.2021, Е.Д. Лапшина); рис. 1, 2.



Рисунок 1. Общий вид сообществ асс. *Carici juncellae–Alnetum incanae* в притеррасной части поймы р. Иртыш в его нижнем течении



Рисунок 2. Микрорельеф и строение нижних ярусов в сообществах асс. *Carici juncellae–Alnetum incanae*

Дифференцирующая комбинация видов: *Alnus incana*, *Carex juncella*, *C. canescens*, *Calliergon giganteum*, *Calliergonella cuspidata*, *Climacium dendroides*, *Haplocladium microphyllum*, *Lewinskya elegans*, *Pylaisia polyantha*.

Ассоциация объединяет редкие березово-ольхово-кочкарноосоковые сообщества пойменных болот (березово-сероольховые согры) на восточной границе распространения серой ольхи в Западной Сибири, развивающиеся в условиях подтопления речными водами и богатого грунтового питания.

Состав и структура. Древостой состоит из одного или двух подъярусов, образованных березой пушистой (общее проективное покрытие 5-25%). Верхний ярус 10-12 (15) м высотой, диаметр стволов – 10-15 (18) см. Второй ярус, если присутствует, 5-8 м высотой с диаметром стволов деревьев от 3 до 6 см. Нередко в первый ярус выходят древовидные экземпляры *Salix pentandra* до 10 м высотой.

Густой кустарниковый ярус (40-75%) формирует ольха серая 3-5 м высотой. С небольшим обилием ей сопутствуют виды ив – *Salix pentandra* 2-7 м, *S. rosmarinifolia*, реже *S. cinerea* 1.5-2 м высотой. В травяном покрове (60-80%, 40 см высотой) доминируют два вида кочкообразующих осок – *Carex juncella*, *C. cespitosa* и сабельник болотный – *Comarum palustre* (5-25%), заселяющий межкочья. С высоким постоянством им сопутствуют *Calamagrostis purpurea*, *Galium palustre*, *Naumburgia thyrsoflora*, *Scutellaria galericulata*. На приствольных повышениях поселяются *Pyrola rotundifolia*, *Rubus arcticus*. Остальные виды осок и болотного разнотравья встречаются рассеянно в небольшом количестве. Моховой покров (45-70%) многовидовой, пятнистого сложения, дифференцированный по элементам микрорельефа. На приствольных повышениях, склонах кочек и неглубоких микропонижениях растут *Climacium dendroides*, *Plagiomnium ellipticum*, *Calliergonella cuspidata*, *C. lindbergii*, в обводненных межкочьях доминирует *Calliergon giganteum* с участием *C. cordifolium*. Обращает на себя внимание обилие и большое видовое разнообразие мохообразных, поселяющихся на коре и в основании стволов ольхи, кустов ив и на гнилой древесине пней и валежин. Два эпифита – *Pylaisia polyantha* и *Lewinskya elegans*, связанные в регионе исключительно с осиной, с высоким постоянством встречаются на стволах ольхи.

Всего в сообществах ассоциации выявлено 67 видов: сосудистых – 32 (в том числе деревьев – 1, кустарников – 5, трав – 26), мхов – 35, печеночников – 1. Число видов в сообществах – 25-42 (в среднем 36), высоко константных (виды с константностью IV и V) – 28.

Экология и распространение. Местообитания пойменных лесных болот (лесных топей) с участием ольхи серой отличаются характерным резко кочковатым микрорельефом, образованным кочками осок (*Carex juncella*, *C. cespitosa*) 50-60 см высотой и 20-40 см в диаметре и приствольными повышениями деревьев, приподнятыми на такую же высоту над уровнем воды, заполняющей наиболее глубокие межкочья. Менее глубокие плоские участки и понижения между повышенными элементами микрорельефа заняты гипновыми мхами. Осоковые кочки покрывают до 50% поверхности. Примерно в равном соотношении чередуются приствольные повышения и плоские межкочья. Глубокие понижения, заполненные водой (на 5-10 см в момент описания), занимают не более 5-10% площади. Березово-ольхово-кочкарноосоковые сообщества развиваются на торфяных почвах. Мощность торфяной залежи варьирует в зависимости от первичного рельефа минерального дна и закономерно уменьшается в направлении от террасы к руслу реки с 3 до 1.5 м. Сообщества ассоциации описаны в пойме Нижнего Иртыша, где занимают основную площадь притеррасных болот, имеющих ограниченное распространение.

Замечание. Близкие по флористическому составу сообщества березово-кустарниково-осоково-сфагновых и березово-кустарниково-вейниково-осоково-сфагновых мелколесий с участием *Alnus incana* описаны недавно на территории заповедника «Малая Сосьва» под названием асс. *Alno incanae-Betuletum pubescentis* Lapshina et al. 2018, где они развиваются на пойменных болотах и по периферии террасных болот в зоне регулярного подтопления полыми водами со стороны реки [Лапшина и др., 2018]. Основное отличие новой ассоциации заключается в более рослом древостое, развитии густого яруса ольхи серой, доминировании кочкообразующих осок и полном отсутствии сфагновых мхов, что обусловлено различиями в экологических условиях местообитаний (более благоприятными микроклиматическими условиями, переменностью режима увлажнения и более высоким богатством торфяных почв в пойме Иртыша).

Несмотря на высокое проективное покрытие *Alnus incana* (до 70%), в описанных нами болотных сообществах с участием ольхи серой практически полностью отсутствуют характерные виды союза *Alnion incanae*, что не удивительно. Союз включает синтаксоны пойменных лесов, формирующихся преимущественно в долинах рек и ручьев на богатых хорошо увлажненных, но не заболоченных почвах [Булохов и Соломещ, 2003; Ермаков, 2012: с. 458-459].

Асс. *Carici juncellae–Alnetum incanae* ass. nov. hoc loco отнесена к союзу *Salici pentandrae–Betulion pubescentis* Clausnitzer in Dengler et al. 2004 и порядку *Salici pentandrae–Betuletalia pubescentis* Clausnitzer in Dengler et al. 2004 класса *Alnetea glutinosae* Br.-Bl. et Tx. ex Westhoff et al. 1946, характерные виды которых широко представлены в описанных сообществах (табл. 1). Порядок и его центральный союз объединяют низинные эвтрофные и мезоэвтрофные березовые болота и болотные мелколесья Евразии богатого грунтового и грунтово-речного питания.

Как и во многих других сообществах низинных лесных болот бореального облика, замещающих в Западной Сибири черноольховые топи, набор типичных альнетальных видов в новой ассоциации заметно обеднен, по сравнению с черноольшаниками европейской части России. Однако более важным является тот факт, что в описанных нами сообществах практически полностью отсутствуют типичные бореальные виды, как высших сосудистых растений, которые широко распространены в данном регионе — *Pinus sibirica*, *Picea obovata*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Sorbus sibirica*, *Maianthemum bifolium*, *Orthilia secunda*, так и мхов — *Pleurozium scheberi*, *Hylocomium splendens*. Эти виды более широко представлены в синтаксонах лесных болот с доминированием в древесном ярусе темнохвойных пород союза *Carici cespitosae–Piceion obovatae* Lapshina 2010, который в системе высших единиц растительности Европы [Mucina et al., 2016] отнесен к классу *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939 в составе особой группы порядков минеротрофных лесных болот бореального облика.

Формирование редких березово-ольхово-кочкарноосоковых сообществ с участием европейского вида *Alnus incana* в пойме Иртыша на восточной границе его распространения связано с особым благоприятным гидротермическим режимом речных долин [Лапшина и Писаренко, 2013]. Долины рек таежной зоны Западной Сибири, и особенно их поймы, являются наиболее «теплыми», в силу прохождения по ним с юга на север теплых воздушных масс и больших масс воды. Их отличает более высокая относительная влажность воздуха, по сравнению с прилегающими пространствами междуречных равнин. Умеренный до слабо выраженного аллювиальный режим, характерный для местообитаний лесных болот в долинах рек и ручьев способствует быстрому разложению органики и повышению трофности биотопов.

Хорошее состояние ценопопуляций ольхи серой на торфяных почвах пойменных низинных болот (высокое проективное покрытие, цветение, плодоношение) в условиях потепления климата позволяет ожидать более широкое распространение сообществ этой ассоциации в Западной Сибири и расширение их ареала в будущем. Дальнейшее изучение торфяных болот в пойме р. Иртыш и его притоков может существенно расширить представление о распространении сероольховых болот.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пойме Иртыша в его нижнем течении описана новая асс. *Carici juncellae–Alnetum incanae* ass nov. hoc loco, которая отнесена к союзу *Salici pentandrae–Betulion pubescentis* и порядку *Salici pentandrae–Betuletalia pubescentis* класса *Alnetea glutinosae*. Порядок и его центральный союз объединяют низинные эвтрофные и мезоэвтрофные березовые ивово-березовые кочкарноосоковые и болотнотравно-кочкарноосоковые болота и болотные мелколесья Евразии богатого грунтового и грунтово-речного питания.

Принадлежность новой ассоциации к этим высшим единицам классификации обусловлена тем, что в ее сообществах постоянно встречаются немногие характерные виды класса черноольховых лесов – класса *Alnetea glutinosa*: *Salix cinerea*, *S. pentandra*, *Carex elongata*, *Naumburgia thyrsiflora*, *Galium palustre*, *Calla palustris*. При этом в них практически полностью отсутствуют типичные бореальные виды, что отличает их от синтаксонов двух других союзов лесных болот бореального облика на болотах в таежной и подтаежной зоне Западной Сибири, объединенных в порядок *Calamagrostio purpureae–Piceetalia obovatae*.

Важным диагностическим признаком сообществ вновь описанной ассоциации является доминирование в кустарниковом ярусе *Alnus incana*. Ольха серая, находясь здесь на восточной границе своего ареала, смещается из пойменных лесов на богатых хорошо увлажненных, не заболоченных почвах союза *Alnion incanae* на низинные торфяные болота в долинах рек, которые в континентальном климате Западной Сибири более всего соответствуют ее экологическим требованиям.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке ООО «Газпромнефть-Хантос» и гранта Правительства Тюменской области в рамках реализации национального проекта «Наука» и программы деятельности Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Булохов А.Д., Соломешч А.И. 2003. Эколого-флористическая классификация лесов Южного Нечерноземья. Брянск. 359 с. [Bulokhov A.D., Solomeshch A.I. 2003. Ekologo-floristicheskaya klassifikatsiya lesov Yuzhnogo Nечernozem'ya. Bryansk. 359 P. (in Russian)]
- Василевич В.И. 1998. Сероольшаники Европейской России // Ботанический журнал. Т. 83. № 8. С. 28-42. [Vasilevich V.I. 1998. Serol'shaniki Evropeiskoi Rossii // Botanicheskii Zhurnal. V. 83. N. 8. P. 28-42. (in Russian)]
- Гордеев Ю.И. 1999. Самаровский Чугас – остров древних кедров. Ханты-Мансийск: ГУИПП «Полиграфист». 60 с. [Gordeev Yu.I. 1999. Samarovskii Chugas – ostrov drevnikh kedrov. Khanty-Mansiisk: GUIPP «Poligrafist». 60 P. (in Russian)]
- Дегтева С.В. 2002. Сероольшаники Республики Коми // Ботанический журнал. Т. 87. № 1. С. 107-121. [Degteva S.V. 2002. Serool'shaniki Respubliki Komi // Botanicheskii Zhurnal. V. 87. N. 1. P. 107-121. (in Russian)]
- Ермаков Н.Б. 2012. Продромус высших единиц растительности России // Современное состояние основных концепций науки о растительности / Под ред. Миркина Б.М. и Наумовой Л.Г. Уфа. С. 377-483. [Ermakov N.B. 2012. Prodromus vysshikh edinit rastitel'nosti Rossii // Sovremennoe sostoyanie osnovnykh kontseptsii nauki o rastitel'nosti / Ed. Mirkina B.M. i Naumovoi L.G. Ufa. P. 377-483. (in Russian)]
- Зверев А.А. 2007. Информационные технологии в исследованиях растительного покрова. Томск. 304 с. [Zverev A.A. 2007. Informatsionnye tekhnologii v issledovaniyakh rastitel'nogo pokrova. Tomsk. 304 P. (in Russian)]
- Капитонова О.А., Харитонцев Б.С., Капитонов В.И. 2017. Новые находки редких и исчезающих видов растений на юге Тюменской области // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. № 2. С. 1-13. <https://doi.org/10.10.32516/2303-9922>. [Kapitonova O.A., Kharitonov B.S., Kapitonov V.I. 2017. Novye nakhodki redkikh i ischezayushchikh vidov rastenii na yuge Tyumenskoi oblasti // Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal. N. 2. P. 1-13. <https://doi.org/10.10.32516/2303-9922>. (in Russian)]
- Коротков К.О. 1991. Леса Валдая. М.: Наука. 157 с. [Korotkov K.O. 1991. Lesa Valdaya. M.: Nauka. 157 P. (in Russian)]
- Лапшина Е.Д., Ганасевич Г.Н., Васина А.Л. 2018. Редкие растения и растительные сообщества болот богатого грунтового питания заповедника «Малая Сосьва» (Западная Сибирь) // Environmental Dynamics and Global Climate Change. Т. 9. № 1. С. 72-92. <http://dx.doi.org/10.17816/edgcc9020>. [Lapshina E.D., Ganasevich G.N., Vasina A.L. 2018. Redkie rasteniya i rastitel'nye soobshchestva bolot bogatogo gruntovogo pitaniya zapovednika «Malaya Sos'va» (Zapadnaya Sibir') // Environmental Dynamics and Global Climate Change.. V. 9. N. 1. P. 72-92. <http://dx.doi.org/10.17816/edgcc9020>. (in Russian)]
- Лапшина Е.Д., Писаренко О.Ю. 2013. Флора мхов Ханты-Мансийского автономного округа (Западная Сибирь) // Turczaninowia. Т. 16 № 2. С. 62-80. [Lapshina E.D., Pisarenko O.Yu. 2013. Flora mkhov Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga (Zapadnaya Sibir') // Turczaninowia. V. 16 N. 2. P. 62-80. (in Russian)]
- Мартыненко В.Б. 2009. Синтаксономия лесов Южного Урала как теоретическая основа развития системы их охраны: дис. ... д-ра биол. наук. Уфа. 495 с. [Martynenko V.B. 2009. Sintaksonomiya lesov Yuzhnogo Urala kak teoreticheskaya osnova razvitiya sistemy ikh okhrany: dis. ... Dr. Biol. Sciences. Ufa. 495 P. (in Russian)]
- Мартыненко В.Б., Соломешч А.И., Жирнова Т.В. 2003. Леса Башкирского государственного заповедника: синтаксономия и природоохранная значимость. Уфа. 186 с. [Martynenko V.B., Solomeshch A.I., Zhirnova T.V. 2003. Lesa Bashkirskogo gosudarstvennogo zapovednika: sintaksonomiya i prirodookhrannaya znachimost'. Ufa. 186 P. (in Russian)]
- Матвеева Н.В. 2006. Растительность южной части острова Большевик (архипелаг Северная Земля) // Растительность России. №8. С. 3–87. <https://doi.org/10.31111/vegrus/2006.08.3>. [Matveeva N.V. 2006. Rastitel'nost' yuzhnoi chast' ostrova Bol'shevik (arkhipelag Severnaya Zemlya) // Rastitel'nost' Rossii. N. 8. P. 3–87. <https://doi.org/10.31111/vegrus/2006.08.3>. (in Russian)]
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г. 2012. Современное состояние основных концепций науки о растительности. Уфа: Гилем. 488 с. [Mirkin B.M., Naumova L.G. 2012. Sovremennoe sostoyanie osnovnykh kontseptsii nauki o rastitel'nosti. Ufa: Gilem. 488 P.]
- Ниценко А.А. 1972. Типология мелколиственных лесов европейской части СССР. Ленинград. 137 с. [Nitsenko A.A. 1972. Tipologiya melkolistvennykh lesov evropeiskoi chasti SSSR. Leningrad. 137 P. (in Russian)]
- Работнов Т.А. 1939. Типы серооливых насаждений северо-запада Московской области // Ботанический журнал. Т. 24. №1. С. 15-29. [Rabotnov T.A. 1939. Tipy serool'khovykh nasazhdenii severo-zapada Moskovskoi oblasti // Botanicheskii Zhurnal. V. 24. N. 1. P. 15-29. (in Russian)]
- Семенович Ю.А. 2014. Фитоценоотическое разнообразие серооливых лесов в юго-Западном Нечерноземье // Растительность России. № 25. С. 71-88. [Semenishchenkov Yu.A. 2014. Fitotsenoticheskoe raznoobazie serool'khovykh lesov v yugo-Zapadnom Nечernozem'e // Vegetation of Russia. N. 25. P. 71-88. (in Russian)]
- Таран Г.С., Седельникова Н.В., Писаренко О.Ю., Голомолзин В.В. 2004. Флора и растительность Елизаровского заказника: «Нижняя Обь». Новосибирск: Наука. 212 с. [Taran G.S., Sedel'nikova N.V., Pisarenko O.Yu., Golomolzin V.V. 2004. Flora i rastitel'nost' Elizarovskogo zakaznika: «Nizhnaya Ob'». Novosibirsk: Nauka. 212 P. (in Russian)]
- Флора Сибири. Salicaceae – Amaranthaceae. 1992. Т. 5. Новосибирск: Наука. 312 с. [Flora Sibiri. Salicaceae – Amaranthaceae. 1992. T. 5. Novosibirsk: Nauka. 312 P. (in Russian)]
- Becking R. 1957. The Zürich-Montpellier school of phytosociology // Bot. Rev. V. 23. №7. P. 411–488. <https://doi.org/10.1007/BF02872328>.
- Molenaar J. G. de. 1976. Vegetation of the Angmagssalik District, Southeast Greenland, II. Herb and snow-bed vegetation // Meddel. Grønland. V. 198. P. 1-266.

Mucina L., Bültmann H., Dierßen K., Theurillat J.-P., Raus T., Čarni A., Šumberová K., Willner W., Dengler J., Gavilán García R., Chytrý M., Hájek M., Di Pietro R., Iakushenko D., Pallas J., Daniëls F. J. A., Bergmeie E., Santos Guerra A., Ermakov N., Valachovič M., Schaminée J. H. J., Lysenko T., Didukh Ya. P., Pignatti S., Rodwell J. S., Capelo J., Weber H. E., Solomeshch A., Dimopoulos P., Aguiar C., Freitag H., Hennekens S. M., Tichý L. 2016. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities // Applied Vegetation Science. V. 19. P. 264. <https://doi.org/10.1111/avsc.12257>.

Westhoff V., Maarel E. van der. 1973. The Braun-Blanquet Approach // Handbook of vegetation science. V. 5. P. 617–726. https://doi.org/10.1007/978-94-009-9183-5_9.

Поступила в редакцию: 04.04.2020
Переработанный вариант: 01.07.2022

IMPACT OF CLIMATE WARMING ON FLORISTIC DIVERSITY OF THE EAST EUROPEAN TUNDRA

O.V. Lavrinenko^{1,2*}, G.A. Tyusov¹, V.V. Petrovsky¹

¹ Komarov Botanical Institute RAS, St.-Petersburg

² Nenetsky State Nature Reserve, Naryan-Mar

lavrino@mail.ru

Citation: Lavrinenko O.V., Tyusov G.A., Petrovsky V.V. 2022. Impact of climate warming on floristic diversity of the East European tundra // Environmental dynamics and global climate change. V. 13. N. 1. P. 35-48.

DOI: 10.18822/edgcc101643

Для восточноевропейского сектора Арктики за последние 30 лет установлено изменение климатических индексов, важных для растений, – значимо уменьшилось годовое число заморозков (на 14-21 день), увеличилась продолжительность периода вегетации (в среднем на 2 недели) и суммы накопленного за этот период тепла (в среднем на 85 °C). Потепление климата привело к активному естественному расселению на север видов растений южных широтных групп, особенно по долинам крупных рек, текущих в меридиональном направлении. Анализ таксономического состава 24 локальных флор на территории восточноевропейских тундр, включая острова Колгуев, Долгий и Вайгач, позволил установить 64 вида растений, которые обнаружены впервые вдали от прежних указаний на их местонахождения в основных сводках прошлого столетия. Основная часть (62%) этих видов принадлежит южным широтным группам. Повторное (через 6 лет) обследование хорошо выявленной ранее локальной флоры “Болванский Нос”, расположенной в устье р. Печора, показало, что из 34 вновь обнаруженных видов 71% принадлежит бореальной фракции. Особенно впечатляет, как далеко на север от своих прежних местонахождений отмечены некоторые водные и прибрежно-водные растения. Большинство из них не просто встречаются отдельными экземплярами, а формируют сообщества и отличаются высокой жизненностью. Новые местонахождения древесных растений (*Picea obovata*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*, *Alnus fruticosa*) могут рассматриваться как свидетельство их продвижения на север по долинам рек из полосы лесотундры и расположенных южнее “лесных островов”.

Ключевые слова: потепление климата, сосудистые растения, локальные флоры, редкие виды, восточноевропейские тундры, Арктика.

Key words: climate warming, vascular plants, local floras, rare species, Eastern European tundras, Arctic.

SUMMARY

The climate in the Arctic, including the European sector, is changing rapidly (Report..., 2021). Currently, there is uncertainty as to whether the regularities of satellite-observed greening in tundra areas indicate a change in the vegetation cover in situ. The NDVI changes are multidirectional in different sectors of the Arctic and depend on the period taken for calculation (Bhatt et al., 2010, 2013; Epstein et al., 2017; Tishkov et al., 2018; Myers-Smith et al., 2020). Non-environmental factors (atmospheric changes, orbital drift, sensor degradation, snow duration or standing water) can give “greening” signals (Gamon et al., 2013; Reynolds et al., 2013; Guay et al., 2014). The winter and spring indicators (for example, coastal spring sea-ice area) represent potential predictors of tundra vegetation productivity a season or two in advance of the growing season (Bhatt et al., 2021).

The question of what happens to vegetation over a long period is more accurately answered by studies carried out by surface methods on monitoring sites having repeated geobotanical descriptions with an accurate geographical reference. An increase in the projective cover and height of the vegetation cover, an increase in the relative abundance of shrubs and grasses, and shrub vegetation spreading on hillsides and in river valleys have been established for the tundra of Alaska and the Canadian Arctic (Sturm et al., 2001; Tape et al., 2006; Gould et al., 2009; Myers-Smith et al., 2019; Harris et al., 2021). In other publications (Prach et al., 2010; Callaghan et al., 2011; Daniëls and de Molenaar, 2011; Matveeva and Zanolka, 2013b), on the contrary, it is shown that, despite climatic changes, the flora and vegetation remained mainly fairly stable in Alaska, Greenland, Spitsbergen and Taimyr. The changes are often recorded only in the locations where the landscapes are being physically changed or destructed (Jorgenson et al., 2015; Pospelova et al., 2017; Lavrinenko and Lavrinenko, 2020).

Flora, as a more conservative component of the vegetation cover, retains its composition and structure much longer than vegetation (Koroleva et al., 2019), however, the dispersal of species in our time is much faster than

expected. A repeated inventory (decades later) of local tundra floras (Pospelov and Pospelova, 2001; Sekretareva and Sytin, 2006; Matveeva et al., 2014; Koroleva et al., 2019) shows an increase in their richness mainly due to species of more southern latitudinal groups. Northward migration of boreal species occurs mainly along river valleys.

We calculated climate indices for Eastern European tundras, which are important for plants, using the software ClimPACT (Alexander et al., 2013) and applying daily data series (Bulygina et al., website). Over the past 30 years, compared with the previous 30 years, the annual number of frost days (by 14-21 days) has significantly decreased, the duration of the vegetation period has increased (by an average of 2 weeks) as well as the number of growing degree days (by an average of 85 °C) (Table 1).

It is important to focus attention on species discovered originally far from the previously known boundaries of their natural habitat, since they may indicate ongoing climatic changes. In this article, we supplemented the 5 local floras in the Malozemel'skaya Tundra and Bolshezemel'skaya Tundra, which we revisited in the period from 2019 to 2020, with 67 taxons (Table 2). The local flora "Bol'vansky Nos" at the mouth of the Pechora River, which previously contained 222 species (Lavrinenko et al., 2016), has become one of the richest for its zonal positions (the northern zone of the southern tundra) and for the East European tundras in general due to new findings (34 species). The majority (69%) of the newly discovered taxons in the 5 local floras belong to the boreal fraction and there are even more such species (71%) in the "Bol'vansky Nos" flora.

We also analyzed the species, which we found earlier during the inventory of 24 local floras on the islands and the mainland of the Eastern European tundra (Lavrinenko et al., 2016, 2019, marked with asterisks in the tables). The number of species discovered for the first time far from their location, which were previously indicated in the main reports of the last century, was 64. The main part (62%) of these species belongs to the southern latitudinal groups. Current locations indicate the northern limit of their spreading in the European North.

Most of these species penetrate to the north along the valleys of rivers flowing in the meridional direction from south to north (Pechora and its tributaries, More-Yu, Neruta). Some aquatic and coastal plants have been found far north of their former locations, which is particularly impressive: *Cicuta virosa*, *Eleocharis palustris*, *E. quinqueflora*, *Filaginella uliginosa*, *Juncus bufonius*, *J. nodulosus*, *Myriophyllum sibiricum*, *M. verticillatum*, *Naumburgia thyrsoflora*, *Potamogeton friesii*, *P. pusillus*, *P. sibiricus*, *Sagittaria natans*, *Sparganium angustifolium*, *Stuckenia filiformis*. Many of them are not found just as species, but they form communities and are highly vital (Lavrinenko and Lavrinenko, 2018; Lavrinenko and Dyachkova, 2021). In the last century, most of these plants were known from the middle/southern parts of the Komi Republic (Arctic..., 1960-1987; Flora..., 1974-1979) and are reported for the territory of the Eastern European tundra for the first time. The valleys of rivers flowing in the meridional direction from south to north are also a passage for the migration of meadow plants – *Dactylis glomerata*, *Lathyrus palustris*, *Sedum purpureum*. New locations of arboreal species (*Picea obovata*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*, *Alnus fruticosa*) can be considered as evidence of their northward movement along river valleys from the forest-tundra zone and the "forest islands" located to the south.

It is concluded that climate warming in the Eastern European sector of the Arctic contributes to the active natural dispersal of plant species of southern latitudinal groups to the north, especially along the valleys of large rivers flowing in the meridional direction.

ВВЕДЕНИЕ

Климат в Арктике, включая европейский сектор, меняется быстрыми темпами [Доклад..., 2021]. Первый шаг к пониманию того, как Арктика реагирует на потепление климата – это документированное подтверждение изменений растительного покрова с течением времени и в ответ на потепление [Post and Forchhammer, 2008]. Одна из задач – выявить индикаторы этих изменений во флоре и растительности. Спутниковый мониторинг, на который возлагают большие надежды, пока не дает однозначного ответа на вопрос о реакции растительного покрова на повышение температуры воздуха. Изменения усредненного значения нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) могут быть разнонаправленными для одной и той же территории, в зависимости от периода, который берется для расчета. Кроме того, в разных секторах Арктики изменения индекса тоже разнонаправленные [Bhatt et al., 2010, 2013; Epstein et al., 2017; Тишков и др., 2018; Myers-Smith et al., 2020]. Для восточноевропейского сектора уменьшение значений NDVI, а не "увеличение зелености" на части территории, объясняется и вовсе разными периодами спутниковых записей [Frost et al., 2021]. Неэкологические факторы, в том числе атмосферные изменения, дрейф спутниковых датчиков, а также более раннее таяние снега, могут давать сигналы "увеличения зелености" [Guay et al., 2014]. Так, NDVI, определяемый дистанционно, чувствителен к параметрам ландшафтного уровня, таким как продолжительность снежного покрова или изменения гидрологического режима в результате таяния вечной мерзлоты [Gamon et al., 2013, Reynolds et al., 2013]. Зимние и весенние процессы (например, изменение прибрежной весенней площади морского льда) являются потенциальными индикаторами продуктивности тундровой растительности за сезон или два до вегетационного периода [Bhatt et al., 2021]. Таким образом, в настоящее время существует неопределенность в

отношении того, действительно ли наблюдаемые спутниками закономерности “увеличения зелености” на участках тундры указывают на изменение растительного покрова *in situ*.

На вопрос о том, что происходит с растительностью в течение длительного периода, более точно отвечают исследования, проводимые наземными методами – на мониторинговых площадках и при повторных геоботанических описаниях, имеющих точную географическую привязку (с помощью GPS-навигаторов или отмеченных на картах-планах). Анализ состава и структуры растительности на модельных площадках в тундрах Аляски и канадской Арктики свидетельствовал об увеличении проективного покрытия и высоты растительного покрова и о повышении относительного обилия кустарников и злаков [Gould et al., 2009; Myers-Smith et al., 2019; Harris et al., 2021]. С помощью анализа аэрофотоснимков в северной Аляске за 50 лет установлено, что происходит распространение кустарниковой растительности, особенно на склонах холмов и в долинах рек [Sturm et al., 2001; Tape et al., 2006]. В других публикациях [Prach et al., 2010; Callaghan et al., 2011; Daniëls and de Molenaar, 2011], напротив, показано, что, несмотря на климатические изменения, флора и растительность в целом остаются довольно стабильными в течение последних десятилетий на Аляске, в Гренландии и на Шпицбергене.

В центральносибирском секторе Арктики (Таймыр, “Тарея”) изменения в видовом составе и структуре сообществ зональной растительности не были выявлены через 40 лет, даже при сильной трансформации рельефа (полигонизация увалов в результате таяния жильных льдов) [Матвеева и Заноха, 2013b]. По-видимому, авторы застали начало этого процесса, а реакция растительности имеет определенный лаг-период. В американской Арктике в аналогичных местообитаниях при изменении микрорельефа и влажности почвы из-за таяния жильных льдов изменения в растительности оказались быстрыми и сильными за период с 1984 по 2009 гг., в то время как на других мониторинговых площадках без изменений микрорельефа растительность изменилась мало [Jorgenson et al., 2015].

В восточноевропейском секторе на площадках, заложенных на мысе Болванский Нос в 1999 г., состав и структура зональных и заболоченных сообществ в целом за последние 20 лет практически не изменились [Лавриненко и Лавриненко, 2017a, 2017b], несмотря на инструментально фиксируемое увеличение температуры воздуха и грунтов [Малкова, 2010].

Таким образом, наземные исследования в разных районах Арктики, в том числе в восточноевропейском секторе, в целом свидетельствуют о медленной ответной реакции растительности на потепление и о стабильности состава и структуры тундровых сообществ. Изменения фиксируются только там, где происходит физическое изменение или уничтожение ландшафтов [Jorgenson et al., 2015; Pospelova et al., 2017; Лавриненко и Лавриненко, 2020].

Изменения, обусловленные потеплением климата, фиксируют исследователи, изучающие флору. Пионерами работ по повторной инвентаризации состава и структуры тундровых локальных флор были И.Н. Поспелов и Е.Б. Поспелова [2001]. Ревизия ими одной из изученных арктических конкретных флор – низовий р. Яму-Неру, ныне Бикада (Таймыр), спустя более 70 лет после первого ее обследования А.И. Толмачевым показала, что богатство флоры увеличилось как минимум на 13% в основном за счет видов более южного склада. Авторы констатировали, что арктическая флора, несмотря на суровость условий существования и замедленный ход естественных сукцессий, достаточно быстро реагирует на изменение среды и что расселение видов в наше время происходит значительно быстрее, чем предполагалось. В подзоне южной тундры в районе Ары-Мас в 2002 г. обнаружено 40 видов, не включенных в предыдущий список флоры, в 2012 г. – еще пять. Все эти виды, кроме одного, относятся к бореальной группе и на Таймыре находятся на северной границе своего ареала [Pospelova et al., 2017]. Авторы наблюдали смещение на север ряда бореальных видов вдоль южного берега р. Хатанга за последние 20 лет работы в ее бассейне. Отмечается миграция на север наиболее активных лугово-кустарниковых и болотных бореальных видов по долинам рек.

Одна из первых сравнительных работ была также сделана по флоре окрестностей бухты Тикси [Секретарева и Сытин, 2006]. Сопоставив свои результаты с аннотированным списком сосудистых растений, опубликованным Б.А. Тихомировым с соавт. [1966], и данными Арктической флоры [1960-1987], авторы констатировали более широкое проникновение некоторых видов к арктическому побережью за прошедшие 50 лет.

Повторное (через 40 лет) обследование локальной флоры “Тарея”, расположенной на р. Пясины (Таймыр), показали, что немногие новые для района виды найдены в пойме крупной реки [Матвеева и др., 2014]. В то же время в районе Диксона за 33 года флора сосудистых растений осталась неизменной, авторы не нашли там ни одного нового вида [Матвеева и Заноха, 2013a].

Полный анализ флоры окрестностей пос. Чокурдах (Северо-Восток Якутии), проведенный Т.М. Королевой с соавт. [2019] по первоначальным исследованиям М.С. Боч в 1969 г. и собственным в

2013-2014 гг. (через 45 лет) показал, что наиболее заметными изменениями в растительном покрове были увеличение числа видов южных широтных групп и появление в последние 15-20 лет подроста лиственницы. В списке “новых таксонов” виды бореальной фракции (25) преобладали над гипоарктической (19) и арктической (15). Такие изменения авторы связывают с потеплением климата, однако отмечают, что флора, как более консервативный компонент растительного покрова, значительно дольше сохраняет свой состав и структуру, чем растительность. Поэтому зафиксированные изменения в составе и структуре локальной флоры могут служить индикаторами существенных изменений в развитии растительного покрова территории.

Для восточноевропейских тундр еще в начале двухтысячных были предложены некоторые фитоиндикаторы климатических изменений [Лавриненко и Лавриненко, 2004]. Показано, что важно акцентировать внимание на видах, обнаруженных впервые вдали от ранее известных границ их ареалов. Их появление в районах с хорошо выявленными локальными флорами может свидетельствовать о миграциях из других, более южных территорий, и они могут индицировать происходящие климатические изменения.

В настоящей статье мы решаем следующие задачи: 1) по данным метеостанций на территории восточноевропейских тундр проанализировать изменение значимых для растений климатических показателей; 2) дополнить пять локальных флор в Малоземельской и Большеземельской тундрах, повторно посещенных нами в последние годы, и оценить, за счет каких видов они пополнились; 3) проанализировать новые находки, которые были сделаны ранее при инвентаризации локальных флор [Лавриненко и др., 2016, 2019], и акцентировать внимание на видах, обнаруженных впервые далеко на север от своих прежних границ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Климатические данные

Для анализа климатической динамики взяты данные инструментальных наблюдений по девяти метеостанциям на территории восточноевропейских тундр (в административных границах Ненецкого автономного округа (Им. Е.К. Федорова; Колгуев Северный; Канин Нос; Шойна; Индига; Амдерма; Мыс Константиновский; Нарьян-Мар; Хоседа-Хард). С использованием программы ClimPACT [Alexander et al., 2013] мы рассчитали специализированные климатические индексы, разработанные Всемирной метеорологической организацией: FD0 – годовое число дней с минимальной температурой воздуха $<0^{\circ}\text{C}$ (дни с заморозками); TM5a – годовое число дней со среднесуточной температурой воздуха $\geq 5^{\circ}\text{C}$; GDDgrow (Growing degree days) – годовая сумма среднесуточных температур воздуха $>5^{\circ}\text{C}$. Поскольку среднемесячные показатели сглаживают большую часть важной информации, от которой зависит функционирование растений, индексы рассчитаны с привлечением ежедневных данных – суточных рядов максимальной и минимальной температуры воздуха и осадков [Булыгина и др., сайт].

Для оценки значимости межгодовой изменчивости климатических индексов использовали p -значение (p -value). Проверка гипотез с его помощью является альтернативой классической процедуре проверки через критическое значение распределения. Чем меньше p -значение, тем больше “сила” отклонения нулевой гипотезы (т.е. гипотезы об отсутствии взаимосвязи или корреляции между исследуемыми переменными) и тем больше ожидаемая значимость результата.

Флористические исследования

В ходе полевых исследований в 2019-2020 гг. был собран новый материал для пяти локальных флор, опубликованных ранее [Лавриненко и др., 2016, 2019], под названиями “Гусинец” (Рис. 1, 1), “Ловецкий” (2), “Кузнецкая” (3), “Болванский Нос” (4) и “Шапкина” (5). Дополнения сделаны при целенаправленных поисках растений маршрутным методом и при выполнении геоботанических описаний: для первых четырех флор – О.В. Лавриненко (большое внимание было уделено водной и прибрежно-водной флоре), для “Шапкина” – Г.А. Тюсовым и К.В. Ивановой. Мы не ставили цель провести повторную ревизию этих локальных флор, а отмечали и гербаризировали лишь вновь обнаруженные таксоны. Заносные виды в географический анализ флор не включены.

Локальная флора “Гусинец”¹ (68°06'–68°15' с. ш., 53°40'–53°55' в. д.) охватывает дельту р. Печоры между протоками Малый Гусинец, Козлюков, Бецабицер и Большой Осколков Шары, а

¹ В кавычках приведено название локальной флоры, далее по тексту, чтобы избежать повторов, словосочетание “локальная флора” опущено, оставлено только ее название.

также небольшой остров Кашин в Коровинской губе; “Ловецкий” (68°17′–68°22′ с. ш., 53°51′–53°59′ в. д.) – остров (41 км²), омываемый с севера Печорской, с юга Коровинской губой; “Кузнецкая” (68°48′–68°52′ с. ш., 53°40′–53°59′ в. д.) – участок вдоль Захарьина берега Печорской губы от мыса Тонкий Нос до п-ова Русский Заворот; “Болванский Нос” (68°16′–68°17′ с. ш., 54°25′–54°32′ в. д.) – полуостров между р. Большой Печорой и Болванской губой от мыса Болванский Нос на юг до сопки Мохнатая и оз. Нижнебородатого; “Шапкина” (67°30′–67°35′ с. ш., 54°54′–55°12′ в. д.) – участок между одноименной рекой и ее правым притоком р. Веснию, а также берега р. Шапкина в месте впадения в нее руч. Лабадывож.

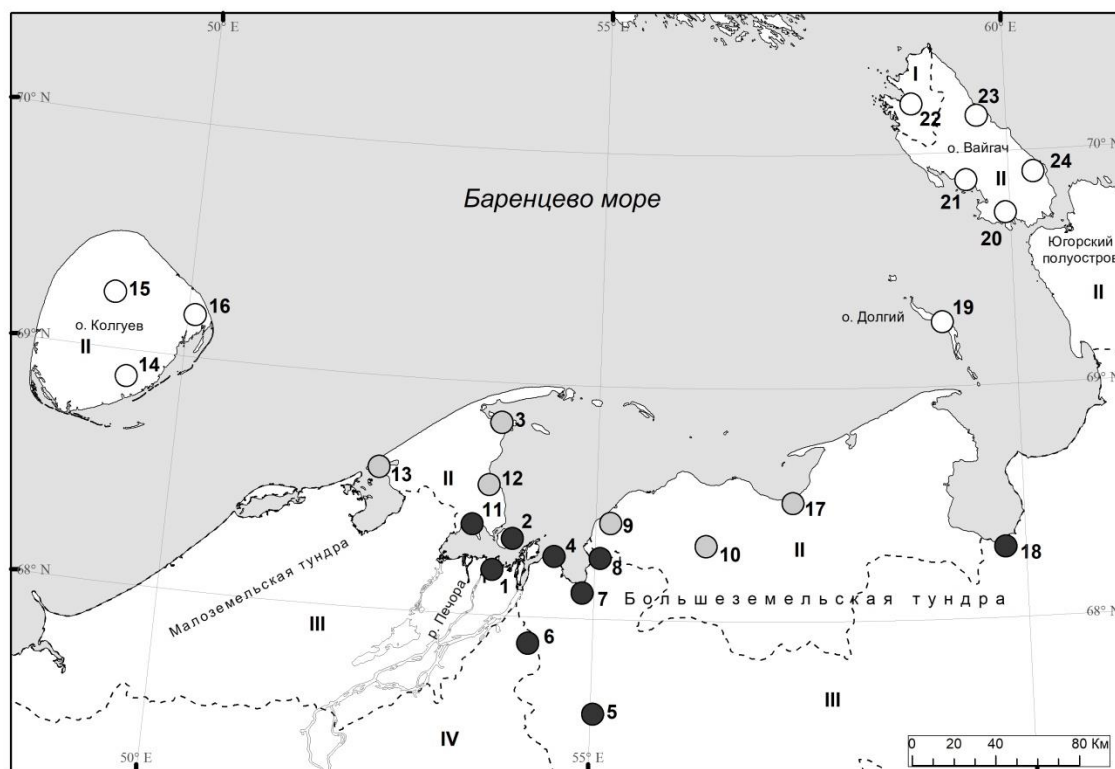


Рисунок 1. Картограмма районов исследований. 1-24 – номера локальных флор: 1 – Гусинец; 2 – Ловецкий; 3 – Кузнецкая; 4 – Болванский Нос; 5 – Шапкина; 6 – Ортина; 7 – Болванская губа; 8 – Хыльчую; 9 – Двойничная; 10 – Хэхэганьяха; 11 – Костяной Нос; 12 – Хабуйка; 13 – Тобседа; 14 – Бугрянка; 15 – Средняя Песчанка; 16 – Нижняя Песчанка; 17 – Паханчская губа; 18 – Хайпудырская губа; 19 – Долгий; 20 – Варнек; 21 – Лямчина; 22 – Долгая; 23 – Сармик; 24 – Дровяная. Черными кружками обозначены локальные флоры бореального типа, серыми – гипоарктического, белыми – арктического. Пунктирной линией обозначены границы подзон: I – арктические тундры, II – типичные тундры, III – южные тундры, IV – лесотундра

Согласно ботанико-географическому делению Арктической флористической области они относятся к Канино-Печорской подпровинции Европейско-Западносибирской провинции [Юрцев и др., 1978]. Характеристика рельефа и растительности этих территорий дана в предыдущих публикациях [Лавриненко и др., 2016, 2019].

Номенклатура таксонов (в основном) и их типы ареалов даны по Н.А. Секретаревой [2004].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Климатические изменения

Результаты сравнительного анализа климатических индексов за два 30-летних периода – 1961-1990 и 1991-2020 гг. (Таблица 1) показали, что за последние 30 лет, по сравнению с предыдущим 30-летием:

1) На всей территории восточноевропейских тундр наблюдалось уменьшение числа дней в году с заморозками в среднем с 248 до 230. Для исследованных метеостанций снижение показателя FD0 варьировало от 14 до 21 дня (или 5-9%); наиболее интенсивно период с заморозками сократился на северо-западе округа.

2) На всей территории восточноевропейских тундр продолжительность периода вегетации (с температурой ≥ 5 °C) увеличилась в среднем на 2 недели. Для исследованных метеостанций показатель ТМ5а вырос на 11-19 дней (или 11-37%); наиболее сильно продолжительность периода вегетации возросла на востоке округа.

3) На всей территории восточноевропейских тундр годовая сумма активных температур увеличилась в среднем на 85 °C. Для исследованных метеостанций рост показателя GDDgrow варьировал от 38 до 131 °C (или 16-36%); наибольший рост суммы накопленного тепла за период вегетации (с температурой > 5 °C) отмечен на востоке округа.

Таблица 1. Значения климатических индексов для территории восточноевропейских тундр за два 30-летних периода

Метеостанция		Климатические индексы					
		FD0		TM5a		GDDgrow	
Индекс	Название	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
20946	Им. Е.К. Федорова	266	252	45	56	113	151
22095	Колгуев Северный	250	230	71	89	257	333
22165	Канин Нос	230	209	95	107	358	415
22271	Шойна	228	210	106	118	505	593
22292	Инди́га	234	216	100	115	512	609
23022	Амдерма	274	257	52	71	212	289
23114	Мыс Константиновский	254	234	83	100	395	526
23205	Нарьян-Мар	239	225	104	116	647	750
23219	Хоседа-Хард	255	237	97	110	602	698

Примечание. Сокращения климатических индексов расшифрованы в разделе «Материалы и методы».

Все тренды по изменению климатических индексов являются статистически значимыми (p -value < 0.03), что позволяет сделать вывод о последовательном улучшении климатических показателей, значимых для растений. Уменьшение годового числа заморозков, увеличение периода вегетации и суммы накопленного за этот период тепла благоприятствуют распространению растений на север.

Динамика флористического разнообразия

Ранее были опубликованы списки видов 18 локальных флор на островах (Колгуев, Вайгач, Долгий) и в приморских районах Большеземельской и Малоземельской тундр и шести – на западе Большеземельской тундры, выявленных в период с 1995 по 2017 гг. [Лавриненко и др., 2016, 2019]. Число видов в них варьирует от 120-167 – во флорах Малоземельского побережья Баренцева моря до 226 – в лесотундре (“Ортина”). К флорам арктического типа ($> 40\%$ видов арктической фракции) относятся локальные флоры островов, к флорам бореального типа ($> 40\%$ – бореальной фракции) – расположенные в подзоне южных тундр и лесотундре (“Хайпудырская губа”, “Шапкина”, “Ортина”), а также вблизи эстуария р. Печоры (“Гусинец”, “Костяной Нос”, “Ловецкий”, “Болванский Нос”, “Болванская губа”, “Хыльчю”). Остальные флоры побережья (“Тобседа”, “Кузнецкая”, “Хабуйка”, “Двойничная”, “Хэхэганьяха” и “Паханческая губа”), где ни одна из фракций не включает 40% видов – гипоарктические (Рис. 1).

По результатам работ 2019-2020 гг. пять локальных флор дополнены 67 таксонами, кроме того найдено пять заносных видов (Таблица 2). Относительно бедные приморские флоры “Кузнецкая” и “Ловецкий”, для которых было известно 120 и 140 видов, соответственно [Лавриненко и др., 2016] увеличились незначительно – на два и девять видов; “Шапкина” и “Гусинец” с ранее установленными 190 и 209 видами [Лавриненко и др., 2019] дополнены 23 и 18 таксонами; “Болванский Нос” с наиболее насыщенной флорой – 222 вида [Лавриненко и др., 2016] за счет новых находок (33 вида и один подвид) стала одной из самых богатых для своих зональных позиций (северная полоса южных тундр) и в целом тундр Ненецкого автономного округа – 255 видов.

Таблица 2. Находки новых видов в пяти локальных флорах восточноевропейских тундр в 2019-2020 гг.

Таксон	Географическая группа		Локальные флоры и их номера на картосхеме				
	Долготная	Широтная	Гусинец	Ловецкий	Кузнецкая	Болванский Нос	Шапкина
			1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Botrychiaceae</i>							
<i>Botrychium lunaria</i> (L.) Sw.	КСМ	ПЛ	.	.	.	.	+
<i>Equisetaceae</i>							
<i>Equisetum variegatum</i> Schleich. ex Web. et Mohr	Ц	ГА-М	.	.	.	+	.
<i>Lycopodiaceae</i>							
<i>Lycopodium annotinum</i> L. s. str.	Ц	ГА-М	+	.	.	.	.
<i>Sparganiaceae</i>							
<i>Sparganium angustifolius</i> Michx.	Еаз	Б	+	+	.	.	.
<i>Potamogetonaceae</i>							
<i>Potamogeton alpinus</i> Balb.	Цг	ПЛ	+	.	.	+	.
<i>P. berchtoldii</i> Fieb.	пКСМ	ПЛ	+	+	.	+	.
<i>P. perfoliatus</i> L.	КСМ	ПЛ	.	.	.	+	.
<i>P. praelongus</i> Wulf.	Цг	ПЛ	.	.	.	+	.
<i>P. pusillus</i> L.	Цг	Пл	+	.	.	.	.
<i>P. sibiricus</i> A. Benn.	С-А	ГА	+	+	.	+	.
<i>Stuckenia filiformis</i> (Pers.) Börner	вА-Евр	ПЛ	.	.	.	+	.
<i>Alismataceae</i>							
<i>Sagittaria natans</i> Pall.	Цг	ПЛ	+	.	.	.	.
<i>Poaceae</i>							
<i>Bromopsis inermis</i> (Leyss.) Holub	Евр-С	Б	.	.	.	+	.
<i>Trisetum sibiricum</i> Rupr. s. str.	вЕаз-3А	Б	.	.	.	.	+
<i>Agrostis stolonifera</i> L. subsp. <i>straminea</i> (C. Hartm.) Tzvel.	пЕвр	ГА	.	.	.	+	.
<i>Phleum alpinum</i> L.	пЦ	ГА-М	+	.	.	.	+
<i>Arctophila fulva</i> (Trin.) Anderss.	Ц	пА	.	+	.	.	.
<i>Dupontia psilosantha</i> Rupr.	Ц	А	.	.	.	+	.
<i>Puccinellia distans</i> (Jacq.) Parl.	Евр	Б	.	.	.	+	.
<i>Dactylis glomerata</i> L.	Еаз	Б	.	.	.	+	+
<i>Cyperaceae</i>							
<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem. et Schult.	пБ	Б	+	.	.	.	.
<i>Carex aquatilis</i> Wahlenb. subsp. <i>stans</i> (Drej.) Hult.	Ц	МА	.	.	.	+	.
<i>C. lapponica</i> O. Lang	Еаз-3А	ГА-М	.	.	.	.	+
<i>C. maritima</i> Gunn.	Ц	пА	.	.	.	+	.
<i>C. norvegica</i> Retz.	Ц	ГА-М	.	.	.	.	+
<i>C. parallela</i> (Laest.) Sommerf. subsp. <i>redowskiana</i> (C. A. Mey.) Egor.	еС	АБ	.	.	.	+	.
<i>C. rostrata</i> Stokes	Цб	Б	.	.	.	+	.
<i>Lemnaceae</i>							
<i>Lemna trisulca</i> L.	КСМ	ПЛ	.	+	.	+	.
<i>Juncaceae</i>							
<i>Juncus bufonius</i> L. s. l.	Цг	ПЛ	+	.	.	.	+
<i>J. nodulosus</i> Wahlenb.	Цб	Б	.	.	.	+	.
<i>Luzula arcuata</i> (Wahlenb.) Sw.	Евр	ГА	.	.	.	.	+
<i>Orchidaceae</i>							
<i>Corallorrhiza trifida</i> Chatel.	Цб	Б	.	.	+	.	.

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Listera cordata</i> (L.) R. Br.	Цб	Б	.	.	.	+	.
<i>Coeloglossum viride</i> (L.) C. Hartm.	Цб	АБ	.	.	.	.	+
<i>Salicaceae</i>							
<i>Populus tremula</i> L.	Еаз	Б	.	.	.	.	+
<i>Salix polaris</i> Wahlenb.	Еаз-3А	МА	.	.	.	+	.
<i>Betulaceae</i>							
<i>Betula nana</i> L. × <i>B. czerepanovii</i> Orlova	Евр-3С	ГА-М	.	+	.	.	.
<i>Polygonaceae</i>							
<i>Rumex acetosella</i> L.	пЕвр	ПЛ	.	.	.	3	.
<i>Portulacaceae</i>							
<i>Montia fontana</i> L.	пЦб	АБ	.	.	.	+	.
<i>Caryophyllaceae</i>							
<i>Stellaria calycantha</i> (Ledeb.) Bong. s. l.	пЦ	ГА	+	.	.	.	.
<i>S. crassifolia</i> Ehrh.	Цб	АБ	.	.	+	.	+
<i>S. nemorum</i> L.	Евр	БН	+	.	.	.	.
<i>Oberna behen</i> (L.) Ikonn.	Еаз	Б	.	.	.	3	.
<i>Gastrolychnis angustiflora</i> Rupr. s. str.	Еаз	А	.	.	.	.	+
<i>Ranunculaceae</i>							
<i>Ranunculus samojedorum</i> Rupr.	Ц	А	.	.	.	+	.
<i>Brassicaceae</i>							
<i>Subularia aquatica</i> L.	пЦб	Б	+	.	.	.	.
<i>Saxifragaceae</i>							
<i>Saxifraga hirculus</i> L.	Цб	АБ	.	.	.	.	+
<i>Grossulariaceae</i>							
<i>Ribes hispidulum</i> (Jancz.) Pojark.	вЕвр-С	Б	.	.	.	.	+
<i>Fabaceae</i>							
<i>Trifolium pratense</i> L. s. l.	Евр-С	Б	.	.	.	.	+
<i>T. repens</i> L.	пЕвр	Б	.	.	.	.	3
<i>Lathyrus japonicus</i> Willd. subsp. <i>pubescens</i>							
Korobkov	АО	ГА	.	.	.	+	.
<i>Callitrichaceae</i>							
<i>Callitriche hermaphrodita</i> L.	пЦб	Б	+	.	.	+	.
<i>C. palustris</i> L.	Цб	АБ	.	.	.	+	.
<i>Onagraceae</i>							
<i>Epilobium hornemannii</i> Reichenb.	АО	ГА	.	.	.	.	+
<i>Haloragaceae</i>							
<i>Myriophyllum sibiricum</i> Kom.	Цб	Б	.	+	.	+	.
<i>M. verticillatum</i> L.	Цг	ПЛ	+	+	.	+	.
<i>Hippuridaceae</i>							
<i>Hippuris vulgaris</i> L.	Цг	ПЛ	.	.	.	+	+
<i>Apiaceae</i>							
<i>Cicuta virosa</i> L.	Еаз	Б	.	+	.	+	.
<i>Gentianaceae</i>							
<i>Comastoma tenellum</i> (Rottb.) Toyokuni	Ц	АЛ	.	.	.	+	.
<i>Menyanthaceae</i>							
<i>Menyanthes trifoliata</i> L.	Ц	Б	.	.	.	.	+
<i>Polemoniaceae</i>							
<i>Polemonium boreale</i> Adams	пЦ	МА	.	.	.	.	+
<i>Scrophulariaceae</i>							
<i>Limosella aquatica</i> L.	KCM	ПЛ	+	.	.	.	.
<i>Linaria vulgaris</i> Mill.	Евр-3С	Б	.	.	.	.	+
<i>Asteraceae</i>							
<i>Filaginella uliginosa</i> (L.) Opiz	сЕаз	Б	+	.	.	.	.
<i>Ptarmica salicifolia</i> (Bess.) Serg.	Евр-С	Б	.	.	.	+	.
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	Еаз (KCM)	Б	3	.	.	.	.
<i>Petasites radiatus</i> (J. F. Gmel.) Toman	вЕвр-С	АБ	.	.	.	+	.
<i>Tephrosia palustris</i> (L.) Reichenb.	пЦб	АБ	.	.	.	+	.
<i>Ligularia sibirica</i> (L.) Cass. subsp. <i>arctica</i> (Pojark.)							
V. Sergienko	вЕвр	ГА	.	.	.	.	+
<i>Carduus crispus</i> L.	Еаз	Б	.	.	.	3	.
<i>Hieracium agg. laevigatum</i> Willd.	Евр-3С	Б	+	.	.	+	+

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>H. agg. umbellatum</i> L.	Еаз-ЗА	Б	.	.	.	.	+
Число видов (в том числе заносных)			18 (1)	9	2	37 (3)	24 (1)

Примечание. Аббревиатура долготных групп. Фракция с циркум ареалами: Ц – циркумполярные и пЦ – почти циркумполярные, Цб – циркумбореальные и пЦб – почти циркумбореальные, Цг – циркумголарктические, КСМ – космополитные и пКСМ – почти космополитные; Амфиокеаническая фракция: АО – собственно амфиокеанические, вА-Евр – восточноамериканско-европейские; Евразийская фракция: Еаз – собственно евразийские, сЕаз – то же, но как сорные занесены и в другие районы, Еаз-ЗА – евразийско-западноамериканские, вЕаз-ЗА – восточноевразийско-западноамериканские, Евр-С – евросибирские, вЕвр-С – восточноевропейско-сибирские; Европейская фракция: Евр – европейские, пЕвр – преимущественно европейские, Евр-зС – европейско-западносибирские, вЕвр – восточноевропейские; Азиатская фракция: еС – сибирские, но заходящие на северо-восток европейской части, С-А – сибирско-американские. Аббревиатура широтных групп. Арктическая фракция: А – арктические и пА – преимущественно арктические, МА – метаарктические, АЛ – арктоальпийские; Гипоарктическая фракция: ГА – гипоарктические, ГА-М – гипоарктомонтанные; Бореальная фракция: Б – бореальные, БН – бореально-неморальные, АБ – арктобореальные, ПЛ – плюризональные. Звездочкой отмечены таксоны, обнаруженные впервые вдали от прежних местонахождений; з – заносные виды.

Большинство из вновь обнаруженных в этих пяти локальных флорах таксонов – 46 из 67 (или 69%) принадлежат бореальной фракции. Это, по-видимому, не случайно, что можно продемонстрировать на примере наиболее полно выявленных ранее локальных флор, таких как “Болванский Нос”, где в 1999 и 2014 гг. были проведены тщательные гербарные сборы. Она была отнесена к бореальному типу (44% таксонов – бореальной фракции, при равном участии арктической и гипоарктической – по 28%). Среди 34 видов, вновь обнаруженных в 2020 г., 24 (или 71%) – виды южных широтных групп. После новых находок соотношение географических элементов в локальной флоре увеличилось в сторону бореальной фракции еще значительно: 48, 26 и 26%, соответственно. В этой флоре, кроме того, отмечено три новых бореальных заносных вида (*Carduus crispus*, *Oberna behen* и *Rumex acetosella*), обнаруженных на рекультивированной территории бывшей метеостанции.

В пяти локальных флорах есть 22 таксона (отмечены в таблице звездочкой), на которые следует обратить внимание. Они найдены вдали от прежних местонахождений, отмеченных ранее во флористических сводках [Арктическая..., 1960-1987; Флора..., 1974-1979]. Еще больше таких видов в опубликованных ранее локальных флорах [Лавриненко и др., 2016, 2019], где они также отмечены звездочками в таблицах. Ниже мы приводим эти виды, всего – 64, с краткой аннотацией и указанием на принадлежность к широтной фракции.

Так, на о-ве Колгуев в период 2005-2013 гг. обнаружены бореальные виды, индицирующие северный предел их распространения на Европейском Севере: *Aster sibiricus* – песчаный аллювий по берегам рек, “Бугрянка” и “Средняя Песчанка”; *Bromopsis inermis*, *Catabrosa aquatica* и *Dryopteris carthusiana* – окрестности пос. Бугрино, “Бугрянка”; *Carex capillaris* – пятна суглинка в пятнистых моховых тундрах, “Бугрянка” и “Нижняя Песчанка”; *Galium uliginosum* и *Salix viminalis* – пойменный ивняк, “Бугрянка”; *Ranunculus reptans* – суглинистое дно пересохшего озера, “Средняя Песчанка”; *Stuckenia filiformis* – мелководье реки, “Средняя Песчанка” и “Нижняя Песчанка”. Значительно меньше на острове отмечено новых таксонов арктической (*Carex bicolor*, *Gentianella aurea*, *Poa arctica* var. *vivipara*) и гипоарктической [*Potamogeton sibiricus*, *Stellaria calycantha*] фракции.

На о-ве Вайгач в “Лямчина” в 2004 и 2010 гг. впервые найдены: бореальные *Equisetum pretense* – южный склон террасы, и *Montia fontana* – соленые марши; арктические *Cassiope tetragona*, *Draba pohlei* и *Festuca brachyphylla* s. str. – дриадово-моховые тундры (в региональной флоре были не известны или известны по единственным образцам с хр. Пай-Хой); гипоарктический *Hippuris tetraphylla* – мелкие водоемы на соленых маршах.

В эстуарии р. Печоры, Болванской губе, водоемах и водотоках прилегающих тундр обнаружены макрофиты, впервые отмеченные на территории восточноевропейских тундр: бореальные *Myriophyllum verticillatum* – “Гусинец”, “Ловецкий”, “Болванский Нос”; *M. sibiricum* и *Stuckenia filiformis* – там же, а также “Хыльчую” и “Двойничная”; *S. pectinata* – “Гусинец” и “Двойничная”; *Sparganium angustifolius* – “Гусинец” и “Ловецкий”; *Potamogeton friesii* – “Болванская губа”; *P. pusillus* и *Sagittaria natans* – “Гусинец”; *Eleocharis palustris* – “Гусинец”, “Болванский Нос” и “Болванская губа”; *Naumburgia thyrsoflora* – “Гусинец”. Подтверждено местонахождение в нижнем

течении р. Печора редкого бореального вида *Subularia aquatica* – “Гусинец”. Лишь три впервые найденных вида относятся к другим фракциям: гипоарктические *Potamogeton sibiricus* – мелководные водоемы, “Гусинец”, “Ловецкий”, “Болванский Нос” и *Lathyrus japonicus* subsp. *pubescens* – приморские песчано-галечные валы, “Болванский Нос”; арктический *Carex maritima* – берег Печорской губы, “Болванский Нос”.

Далеко на север от ранее отмеченных мест произрастания найдены бореальные: *Calamagrostis epigeios* – песчаные дюны на Малоземельском побережье Баренцева моря, “Тобседа”; *Cicuta virosa* – песчаные отмели и околводные осоковые заросли, “Гусинец”, “Ловецкий”, “Болванский Нос”; *Dactylis glomerata* – пойменные луга, “Болванский Нос”, “Шапкина”; *Eleocharis quinqueflora* – молодой аллювий в пойме реки, “Шапкина”; *Filaginella uliginosa* – илистые берега проток, подтопляемые в приливы, “Гусинец”; *Juncus bufonius* s. l. – песчаные и илистые берега рек и проток, “Гусинец”, “Двойничная”, “Шапкина”; *J. nodulosus* – аналогичные местообитания, “Болванский Нос”; *Listera cordata* – ивняки, “Болванский Нос”, “Двойничная”; *Lycopodium annotinum* s. str., *Orthilia obtusata* и *Stellaria nemorum* – заросли ольховника, “Гусинец” (о-в Кашин); *Picea obovata* – отдельные молодые деревья в устье р. Море-Ю, “Хайпудырская губа”, стланик с отдельными стволами до 1 м, выс. на южном склоне сопки, “Болванский Нос”; *Populus tremula* – долина реки, “Шапкина”; *Sedum purpureum* – пойменный луг, “Гусинец”; *Lathyrus palustris* – пойменный луг, “Хыльчую”. Местонахождение *Alnus fruticosa*, образующего заросли на о-ве Кашин (“Гусинец”), – самое северное из ныне известных в регионе, и индицирует границу ареала вида. Местонахождение *Pinus sylvestris* в “Ортина” – самое северное в Большеземельской тундре.

Находки сибирско-западноамериканского бореального вида *Elymus macrourus* на пойменных лугах в “Хыльчую” и “Хайпудырская губа” и сибирско-американского гипоарктического *Salix pulchra* – на пятнах суглинка в зональных кустарничково-моховых тундрах в “Паханческая губа” и “Хэхэганьяха” являются самыми западными точками их ареалов. *Salix herbacea* – восточноамериканско-европейский арктический вид, широко распространенный в тундрах западнее р. Печоры, обнаружен и восточнее – в “Болванский Нос” и “Двойничная”, где растет на склонах сопки в сообществах черники и дерена.

Благодаря новым местонахождениям гипоарктических таксонов, растущих на маршах Большеземельского побережья Баренцева моря, значительно расширен их ареал на восток (ранее восточная граница проходила по Тиманской и Малоземельской тундре): *Plantago maritima* subsp. *subpolaris* – “Двойничная”, “Паханческая губа”, “Хайпудырская губа”; *Carex salina* – там же, а также “Хыльчую” и “Болванская губа”; *Juncus gerardii* subsp. *atrofuscus* – “Хыльчую”, “Хайпудырская губа”, *Primula finmarchica* – “Хыльчую” и “Двойничная”. Бореальный *Triglochin maritimum*, основной ареал которого также простирается вдоль побережий Белого и Баренцева морей на восток до р. Индиги, а в отрыве от него была отмечена популяция на Хайпудырской губе, недавно обнаружен и в других приморских локальных флорах Большеземельской тундры – “Хыльчую”, “Двойничная”, “Паханческая губа”.

Впервые в Большеземельской тундре найдены редкие на европейском Севере гипоарктические виды: *Carex norvegica* – моховые тундры и сырые пятна грунта, “Хэхэганьяха” и “Шапкина”, и *Minuartia stricta* – аналогичные местообитания, “Хэхэганьяха” и “Паханческая губа”. Редко отмечаемый в районе (возможно, из-за малозаметности растений) гипоарктический вид *Selaginella selaginoides* найден на замоховелых мелкотравных лугах и бечевниках, “Хэхэганьяха”, “Хайпудырская губа”. В западной части Большеземельской тундры много находок сделано для гипоарктических видов, которые ранее там не отмечались: *Equisetum variegatum* – ивово-моховые тундры и сырые участки по берегам рек, “Хыльчую”, “Двойничная”, “Хэхэганьяха”, “Шапкина”; *Eriophorum brachyantherum* – пятна суглинка в зональных осоково-моховых тундрах, “Болванский Нос”, “Хэхэганьяха”, “Паханческая губа”; *Stellaria calycantha* – заболоченные и разнотравные ивняки, ольховники, “Хыльчую”, “Двойничная”, “Шапкина”, “Ортина”; последний вид обнаружен также на о-ве Кашин (“Гусинец”). Впервые на о-ве Ловецкий в Печорской губе (“Ловецкий”) в ивово-моховых сообществах обнаружена популяция редкого арктического вида *Ranunculus spitzbergensis*, известного ранее только с о-ва Колгуев. Впервые в Большеземельской тундре (“Хэхэганьяха”) на нивальных глинистых склонах найден арктический вид *Phippsia algida*.

Таким образом, из 64 видов, найденных вдали от прежних границ ареалов, 40 (или 62%) – это виды бореальной фракции (Рис. 2). Большая часть таких видов проникает на север по долинам рек, текущих в меридиональном направлении с юга на север (Печора и ее притоки, Море-Ю, Нерута). Особенно впечатляет, как далеко на север от своих прежних местонахождений отмечены некоторые водные и прибрежно-водные растения – *Cicuta virosa*, *Eleocharis palustris*, *E. quinqueflora*, *Filaginella*

uliginosa, *Juncus bufonius*, *J. nodulosus*, *Myriophyllum sibiricum*, *M. verticillatum*, *Naumburgia thyrsiflora*, *Potamogeton friesii*, *P. pusillus*, *P. sibiricus*, *Sagittaria natans*, *Sparganium angustifolium*, *Stuckenia filiformis*. Многие из них не просто встречаются отдельными экземплярами, а формируют сообщества и отличаются высокой жизненностью [Лавриненко и Лавриненко, 2018; Лавриненко и Дьячкова, 2021]. В прошлом веке большинство этих видов были известны из средней/южной частей Республики Коми [Арктическая..., 1960-1987; Флора..., 1974-1979] и для территории восточноевропейских тундр приводятся впервые. Долины рек, текущих в меридиональном направлении с юга на север, также являются коридором для миграции луговых растений – *Dactylis glomerata*, *Lathyrus palustris*, *Sedum purpureum*. Новые местонахождения древесных видов (*Picea obovata*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*, *Alnus fruticosa*) могут рассматриваться как свидетельство их продвижения на север по долинам рек из полосы лесотундры и расположенных южнее “лесных островов”.

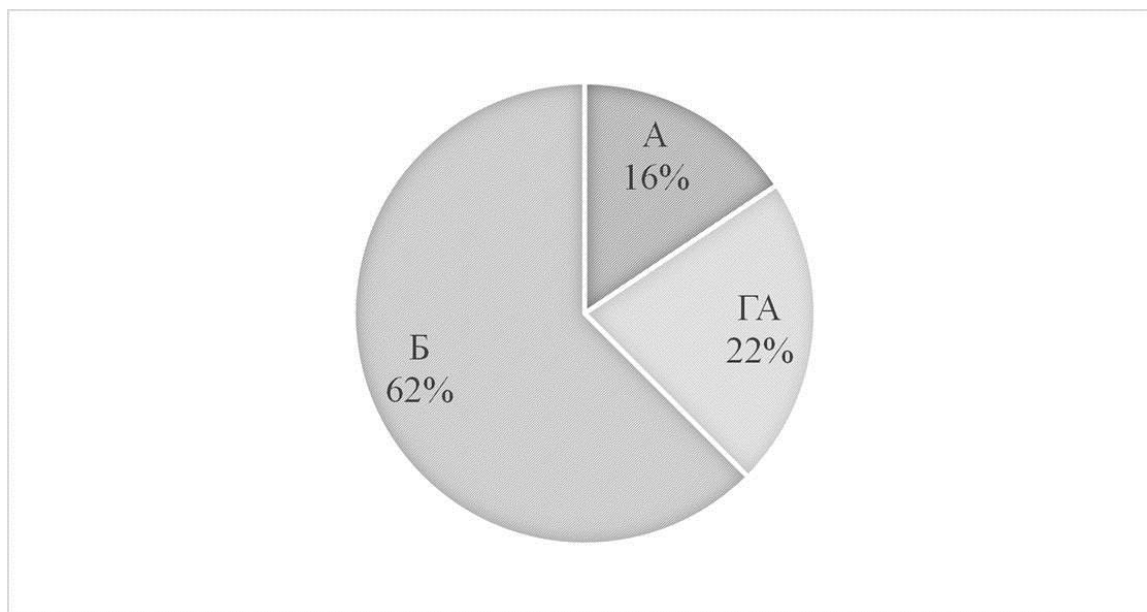


Рисунок 2. Доля видов (в %) арктической (А), гипоарктической (ГА) и бореальной (Б) фракций среди 64 видов растений, обнаруженных в 24 локальных флорах впервые вдали от прежних границ ареалов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание сети локальных флор в целях мониторинга биоразнообразия должно основываться на как можно более полном выявлении растений. За один полевой сезон сделать это не представляется возможным, поэтому важно публиковать дополнения к флорам, установленные в последующие годы работ в тех же местах. Настоящая работа проведена как продолжение ботанических исследований, предпринятых авторами ранее.

Своеобразие любой флоре придают, как правило, редкие, представленные изолированными и малочисленными популяциями виды. Далеко не все из них нуждаются в особых мерах охраны и включены в региональную Красную книгу. Тем не менее, на таких видах, обнаруженных впервые вдали от ранее известных границ их ареалов, важно акцентировать внимание. Их появление в районах с хорошо выявленными ранее флорами может свидетельствовать о миграциях из других, более южных территорий, и они могут индизировать происходящие климатические изменения.

Климат в восточноевропейских тундрах за последние 30 лет потеплел, как и во всей Арктике. Выявлены статистически значимые тренды по важным для растений индексам – уменьшилось годовое число заморозков, увеличилось число дней вегетации, увеличились суммы накопленного за этот период тепла. Последовательное улучшение климатических показателей, значимых для растений, благоприятствуют распространению на север видов из южных районов.

Анализ таксономического состава 24 локальных флор на островах и материке в восточноевропейском секторе Арктики позволил установить 64 вида растений, которые обнаружены впервые вдали от прежних указаний на местонахождения в основных сводках прошлого столетия. Основная часть (62%) этих видов принадлежит южным широтным группам. Еще больше доля видов

бореальной фракции (71%) – среди новых находок, сделанных во флоре “Болванский Нос”, расположенной в устье р. Печора, которая была повторно изучена в 2020 г. спустя шесть лет после последнего посещения. Наиболее вероятные причины таких изменений в локальных флорах – активное естественное расселение видов по долинам рек на фоне потепления климата, что ранее установлено и для сибирского сектора Арктики.

БЛАГОДАРНОСТИ

Благодарим А.А. Боброва (ИБВВ РАН) за определение некоторых водных растений, директора С.А. Золотого и инспекторов заповедника «Ненецкий» за помощь при проведении экспедиций. Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН по теме № 122041100242-5. Исследование выполнено за счёт гранта РНФ (проект № 20-17-00160).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арктическая флора СССР. I-X. 1960-1987. М.; Л. [Arkticheskaya flora SSSR. I-X. 1960-1987. M.; L. (in Russian)]
- Булгыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (TTTR). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942. URL. <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения: 31.01.2022). [Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Aleksandrova T.M. Description of the data array of daily air temperature and precipitation at meteorological stations in Russia and the former USSR (TTTR). Certificate of state registration of the database No. 2014620942. URL. <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (date of access: 01/31/2022).]
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. 2021. Москва. 104 с. URL. http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf (дата обращения: 01.02.2022). [Report on climate features in the Russian Federation for 2020. 2021. Moscow. 104 P. URL. http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf (date of access: 02/01/2022). (in Russian)]
- Королева Т.М., Гоголева П.А., Петровский В.В., Зверев А.А., Троева Е.И. 2019. Мониторинг локальной флоры в окрестностях поселка Чокурдах (Северо-Восток Якутии) // Ботанический журнал. Т. 104. № 9. С. 1386-1420. DOI:10.1134/S0006813619090084 [Koroleva T.M., Gogoleva P.A., Petrovskii V.V., Zverev A.A., Troeva E.I. 2019. Monitoring lokal'noi flory v okrestnostyakh poselka Chokurdakh (Severo-Vostok Yakutii) // Botanicheskii Zhurnal. V. 104. N. 9. P. 1386-1420. DOI:10.1134/S0006813619090084 (in Russian)]
- Лавриненко И.А., Лавриненко О.В. 2017а. Заболоченные сообщества мониторинговых площадок стационара «Болванский» // Материалы международного полевого симпозиума «Болотные экосистемы Северо-Востока Европы и проблемы экологической реставрации в зоне многолетней мерзлоты» (Инта-Сыктывкар-Нарьян-Мар, 22 июля – 4 августа 2017 г.). Сыктывкар. С. 91-93. [Lavrinenko I.A., Lavrinenko O.V. 2017a. Zabolochennyye soobshchestva monitoringovykh ploshchadok statsionara «Bolvanskii» // Materialy mezhdunarodnogo polevogo simpoziuma «Bolotnye ekosistemy Severo-Vostoka Evropy i problemy ekologicheskoi restavratsii v zone mnogoletnei merzloty» (Inta-Syktivkar-Nar'yan-Mar, 22 iyulya – 4 avgusta 2017 g.). Syktivkar. P. 91-93. (in Russian)]
- Лавриненко О.В., Дьячкова Т.В. 2021. Водная и прибрежно-водная растительность эстуария реки Печоры и водоемов прилегающих тундр // Труды Кольского научного центра РАН. Прикладная экология Севера. Вып. 9. Т. 12. №6. С. 35-44. DOI:10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.004 [Lavrinenko O.V., D'yachkova T.V. 2021. Vodnaya i pribrezhno-vodnaya rastitel'nost' estuariya reki Pechory i vodoemov prilgayushchikh tundr // Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Prikladnaya ekologiya Severa. Vyp. 9. V. 12. N. 6. P. 35-44. DOI:10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.004 (in Russian)]
- Лавриненко О.В., Лавриненко И.А. 2004. Фитоиндикация изменений климата на северо-востоке европейской части России // География и природные ресурсы. № 2. С. 54-61. [Lavrinenko O.V., Lavrinenko I.A. 2004. Fitoindikatsiya izmenenii klimata na severo-vostoke evropeiskoi chasti Rossii // Geography and Natural Resources. N. 2. P. 54-61. (in Russian)]
- Лавриненко О.В., Лавриненко И.А. 2017б. Стабильность тундровых сообществ в изменяющемся климате // Растения в холодном регионе. Сборник материалов Всерос. научно-практической конференции (Якутск, 20-21 октября 2016 г.). Якутск. С. 140-149. [Lavrinenko O.V., Lavrinenko I.A. 2017b. Stabil'nost' tundrovyykh soobshchestv v izmenyayushchemsya klimate // Rasteniya v kholodnom regione. Sbornik materialov Vseros. nauchno-prakticheskoi konferentsii (Yakutsk, 20-21 oktyabrya 2016 g.). Yakutsk. P. 140-149. (in Russian)]
- Лавриненко О.В., Лавриненко И.А. 2018. Классификация растительности соленых и солоноватых маршей Большеземельской тундры (побережье Баренцева моря) // Фиторазнообразие Восточной Европы. Т. 12. №3. С. 82-143. DOI:10.24411/2072-8816-2018-10028 [Lavrinenko O.V., Lavrinenko I.A. 2018. Klassifikatsiya rastitel'nosti solenykh i solonovatykh marshei Bol'shezemel'skoi tundry (poberezh'e Barentseva morya) // Fitoraznoobrazie Vostochnoi Evropy. V. 12. N. 3. P. 82-143. DOI:10.24411/2072-8816-2018-10028 (in Russian)]
- Лавриненко О.В. и Лавриненко И.А. 2020. Стабильность состава и структуры тундровых сообществ в изменяющемся климате // Тез. докл. международной научной конференции «Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики» (Санкт-Петербург, 2-4 марта 2020 г.). СПб: ГИЦ РФ ААНИИ. С. 387-391. [Lavrinenko O.V. i Lavrinenko I.A. 2020. Stabil'nost' sostava i struktury tundrovyykh soobshchestv v izmenyayushchemsya klimate // Tez. dokl. mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Kompleksnyye issledovaniya prirodnoi sredy Arktiki i Antarktiki» (Sankt-Peterburg, 2-4 marta 2020 g.). SPb: GNTs RF AANII. P. 387-391. (in Russian)]

- Лавриненко О.В., Петровский В.В., Лавриненко И.А. 2016. Локальные флоры островов и побережья юго-восточной части Баренцева моря // Ботанический журнал. Т. 101. №10. С. 1144-1190. [Lavrinenko O.V., Petrovskii V.V., Lavrinenko I.A. 2016. Lokal'nye flory ostrovov i poberezh'ya yugo-vostochnoi chasti Barentseva morya // Botanicheskii Zhurnal. V. 101. N. 10. P. 1144-1190. (in Russian)]
- Лавриненко О.В., Петровский В.В., Лавриненко И.А. 2019. Новые локальные флоры и материалы к флористическому районированию восточноевропейских тундр // Ботанический журнал. Т. 104. №1. С. 58-92. DOI:10.1134/S0006813619010083 [Lavrinenko O.V., Petrovskii V.V., Lavrinenko I.A. 2019. Novye lokal'nye flory i materialy k floristicheskomu raionirovaniyu vostochnoevropeskikh tundr // Botanicheskii Zhurnal. V. 104. N. 1. P. 58-92. DOI:10.1134/S0006813619010083 (in Russian)]
- Малкова Г.В. 2010. Мониторинг среднегодовой температуры пород на стационаре Болванский // Криосфера Земли. Т. 14. № 3. С. 3-14. [Malkova G.V. 2010. Monitoring srednegodovoi temperatury porod na statsionare Bolvanskii // Earth's Cryosphere. V. 14. N. 3. P. 3-14. (in Russian)]
- Матвеева Н.В., Заноха Л.Л. 2013а. Изменения во флоре сосудистых растений в окрестностях пос. Диксон (Западный Таймыр) за 32 года // Тр. Всерос. научной конференции «Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана» (Сыктывкар, 3-7 июня 2013 г.). Сыктывкар. С. 201-208. [Matveeva N.V., Zanozha L.L. 2013a. Izmeneniya vo flore sosudistyykh rastenii v okrestnostyakh pos. Dikson (Zapadnyi Taimyr) za 32 goda // Tr. Vseros. nauchnoi konferentsii «Bioraznoobrazie ekosistem Krainego Severa: inventarizatsiya, monitoring, okhrana» (Syktyvkar, 3-7 iyunya 2013 g.). Syktyvkar. P. 201-208. (in Russian)]
- Матвеева Н.В., Заноха Л.Л. 2013б. Стабильность растительного покрова при существенной трансформации ландшафта в тундрах Западного Таймыра // Тр. Всерос. научной конференции «Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана» (Сыктывкар, 3-7 июня 2013 г.). Сыктывкар. С. 96-106. [Matveeva N.V., Zanozha L.L. 2013b. Stabil'nost' rastitel'nogo pokrova pri sushchestvennoi transformatsii landshtafta v tundrach Zapadnogo Taimyra // Tr. Vseros. nauchnoi konferentsii «Bioraznoobrazie ekosistem Krainego Severa: inventarizatsiya, monitoring, okhrana» (Syktyvkar, 3-7 iyunya 2013 g.). Syktyvkar. P. 96-106. (in Russian)]
- Матвеева Н.В., Заноха Л.Л., Янченко З.А. 2014. Изменения во флоре сосудистых растений в районе Таймырского биогеоценологического стационара (среднее течение реки Пясины, Западный Таймыр) с 1970 по 2010 г. // Ботанический журнал. Т. 99. №8. С. 841-869. [Matveeva N.V., Zanozha L.L., Yanchenko Z.A. 2014. Izmeneniya vo flore sosudistyykh rastenii v raione Taimyrskogo biogeotsenologicheskogo statsionara (srednee techenie reki Pyasiny, Zapadnyi Taimyr) s 1970 po 2010 g. // Botanicheskii Zhurnal. V. 99. N. 8. P. 841-869. (in Russian)]
- Поспелов И.Н., Поспелова Е.Б. 2001. Повторная инвентаризация флоры низовий реки Бикады (Яму-Неру, Таймыр) через 70 лет // Ботанический журнал. Т. 86. №5. С. 13-29. [Pospelov I.N., Pospelova E.B. 2001. Povtornaya inventarizatsiya flory nizovii reki Bikady (Yamu-Neru, Taimyr) cherez 70 let // Botanicheskii Zhurnal. V. 86. N. 5. P. 13-29. (in Russian)]
- Секретарева Н.А. 2004. Сосудистые растения Российской Арктики и сопредельных территорий. Москва. 131 с. [Sekretareva N.A. 2004. Sosudistye rasteniya Rossiiskoi Arktiki i sopredel'nykh territorii. Moskva. 131 P. (in Russian)]
- Секретарева Н.А., Сытин А.К. 2006. Мониторинг флоры окрестностей бухты Тикси (Арктическая Якутия) // Ботанический журнал. Т. 91. № 1. С. 3-22. [Sekretareva N.A., Sytin A.K. 2006. Monitoring flory okrestnostei bukhty Tiksi (Arkticheskaya Yakutiya) // Botanicheskii Zhurnal. V. 91. N. 1. P. 3-22. (in Russian)]
- Тихомиров Б.А., Петровский В.В., Юрцев Б.А. 1966. Флора окрестностей бухты Тикси (арктическая Якутия) // Растения севера Сибири и Дальнего Востока. М.; Л. С. 7-40. [Tikhomirov B.A., Petrovskii V.V., Yurtsev B.A. 1966. Flora okrestnostei bukhty Tiksi (arkticheskaya Yakutiya) // Rasteniya severa Sibiri i Dal'nego Vostoka. M.; L. S. 7-40. (in Russian)]
- Тишков А.А., Белонюшская Е.А., Вайсфельд М.А., Глазов П.М., Кренке А.Н., Тертицкий Г.М. 2018. «Позеленение» тундры как драйвер современной динамики арктической биоты // Арктика: экология и экономика. №2. С. 31-44. DOI:10.25283/2223-4594-2018-2-31-44 [Tishkov A.A., Belonovskaya E.A., Vaisfel'd M.A., Glazov P.M., Krenke A.N., Tertitskii G.M. 2018. «Pozelenenie» tundry kak draiver sovremennoi dinamiki arkticheskoi bioty // ARCTIC: ECOLOGY AND ECONOMY. N. 2. P. 31-44. DOI:10.25283/2223-4594-2018-2-31-44 (in Russian)]
- Флора северо-востока европейской части СССР. 1974-1977. Т. 1-4. Л. [Flora severo-vostoka evropeiskoi chasti SSSR. 1974-1977. V. 1-4. L. (in Russian)]
- Юрцев Б.А., Толмачев А.И., Ребристая О.В. 1978. Флористическое ограничение и разделение Арктики. Арктическая флористическая область. Л. С. 9-104. [Yurtsev B.A., Tolmachev A.I., Rebristaya O.V. 1978. Floristicheskoe ogranichenie i razdelenie Arktiki. Arkticheskaya floristicheskaya oblast'. L. P. 9-104. (in Russian)]
- Alexander L., Yang H., Perkins S. 2013. ClimPact. Indices and software. World Climate Programme. New South Wales University of Technology. 52 p.
- Bhatt U.S., Walker D.A., Reynolds M.K., Comiso J.C., Epstein H.E., Jia G., Gens R., Pinzon J.E., Tucker C.J., Tweedie C.E., Webber P.J. 2010. Circumpolar Arctic Tundra Vegetation Change Is Linked to Sea Ice Decline // Earth Interact. V. 14. №8. P. 1-20. DOI:10.1175/2010EI315.1
- Bhatt U.S., Walker D.A., Reynolds M.K., Bieniek P.A., Epstein H.E., Comiso J.C., Pinzon J.E., Tucker C.J., Polyakov I.V. 2013. Recent declines in warming and vegetation greening trends over Pan-Arctic tundra // Remote Sens. V. 5. N 9. P. 4229-4254. DOI:10.3390/rs5094229
- Bhatt U.S., Walker D.A., Reynolds M.K., Walsh J.E., Bieniek P.A., Cai L., Comiso J.C., Epstein H.E., Frost G.V., Gersten R. 2021. Climate drivers of Arctic tundra variability and change using an indicators framework // Environ. Res. Lett. V. 16. №5. 055019. DOI:10.1088/1748-9326/abe676
- Callaghan T.V., Christensen T.R., Jantze E.J. 2011. Plant and Vegetation Dynamics on Disko Island, West Greenland: Snapshots Separated by Over 40 Years // Ambio. V. 40. №6. P. 624-637. DOI:10.1007/s13280-011-0169-x
- Daniëls F.J.A., de Molenaar J.G. 2011. Flora and vegetation of Tasiilaq. Formerly Angmagssalik, Southeast Greenland – a comparison of data from between around 1900 and 2007. Ambio. V. 40. №6. P. 650-659. DOI:10.1007/s13280-011-0171-3
- Epstein H.E., Bhatt U.S., Reynolds M.K., Walker D.A., Bieniek P.A., Tucker C.J., Pinzon J., Myers-Smith I.H., Forbes B.C., Macias-Fauria M., Boelman N.T., Sweet S.K. 2017. Tundra Greenness. Arctic Report Card: Update for 2017. URL. <https://arctic.noaa.gov/Report-Card/Report-Card-2017/ArtMID/7798/ArticleID/695/Tundra-Greenness> (the date of access: 01.02.2022).

- Frost G.V., Macander M.J., Bhatt U.S., Berner L.T., Bjerke J.W., Epstein H.E., Forbes B.C., Goetz S.J., Lara M.J., Park T., Phoenix G.K., Serbin S.P., Tømmervik H., Walker D.A., Yang D. 2021. Tundra Greenness. Arctic Report Card 2021. NOAA Technical Report OAR ARC; 21-08. DOI:10.25923/8n78-wp73
- Gamon J.A., Huemmrich K.F., Stone R.S., Tweedie C.E. 2013. Spatial and temporal variation in primary productivity (NDVI) of coastal Alaskan tundra: decreased vegetation growth following earlier snowmelt // Remote Sens. Environ. V. 129. P. 144-153. DOI:10.1016/j.rse.2012.10.030
- Gould W.A., Mercado-Diaz J.A., Zimmerman J.K. 2009. Twenty year record of vegetation change from long-term plots in Alaskan tundra // Long Term Ecological Research Network All Scientists Meeting (Estes Park, September 14-16, 2009). Abstract C11C-0524.
- Guay K.C., Beck P.S.A., Berner L.T., Goetz S.J., Baccini A., Buermann W. 2014. Vegetation productivity patterns at high northern latitudes: a multi-sensor satellite data assessment // Global Change Biology. V. 20. №10. P. 3147-3158. DOI:10.1111/gcb.12647
- Harris J.A., Hollister R.D., Botting T.F., Tweedie C.E., Betway K.R., May J.L., Barrett R.T.S., Leibig J.A., Christoffersen H.L., Vargas S.A., Orejel M., Fuson T.L. 2021. Understanding the climate impacts on decadal vegetation change in northern Alaska // Arctic Science. e-First. DOI:10.1139/as-2020-0050
- Jorgenson J.C., Reynolds M.K., Reynolds J.H., Benson A.-M. 2015. Twenty-Five Year Record of Changes in Plant Cover on Tundra of Northeastern Alaska // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. V. 47. №4. P. 785-806. DOI:10.1657/AAAR0014-097
- Myers-Smith I.H., Grabowski M.M., Thomas H.J.D., Angers-Blondin S., Daskalova G.N., Bjorkman A.D., Cunliffe A.M., Assmann J.J., Boyle J.S., Mcleod E., Mcleod S., Joe R., Lennie P., Arey D., Gordon R.R., Eckert C.D. 2019. Eighteen years of ecological monitoring reveals multiple lines of evidence for tundra vegetation change // Ecol. Monogr. V. 89. №2. e01351. URL: <https://www.jstor.org/stable/26641244> (the date of access: 01.02.2022).
- Myers-Smith I.H., Kerby J.T., Phoenix G.K., Bjerke J.W., Epstein H.E., Assmann J.J., John C., Andreu-Hayles L., Angers-Blondin S., Beck P.S.A., Berner L.T., Bhatt U.S., Bjorkman A.D., Blok D., Parker T.C. 2020. Complexity revealed in the greening of the Arctic // Nat. Clim. Change. V. 10. №2. P. 106-117. DOI:10.1038/s41558-019-0688-1
- Pospelova E.B., Pospelov I.N., Orlov M.V. 2017. Climate change in Eastern Taimyr over the last 80 years and the warming impact on biodiversity and ecosystem processes in its territory // Nature Conservation Research. Заповедная наука. V. 2. №3. P. 48-60. DOI:10.24189/ncr.2017.040
- Post E., Forchhammer M.C. 2008. Climate change reduces reproductive success of an Arctic herbivore through trophic mismatch // Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences. V. 363. №1501. P. 2369-2375. DOI:10.1098/rstb.2007.2207
- Prach K., Kosnar J., Klimesova J., Hais M. 2010. High Arctic vegetation after 70 years: A repeated analysis from Svalbard // Polar Biol. N 33. P. 635-639. DOI:10.1007/s00300-009-0739-6
- Reynolds M.K., Walker D.A., Verbyla D., Munger C.A. 2013. Patterns of change within a tundra landscape: 22-year Landsat NDVI trends in an area of the Northern Foothills of the Brooks Range, Alaska // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. V. 45. №2. P. 249-260. DOI:10.1657/1938-4246-45.2.249
- Sturm M., Racine C., Tape K. 2001. Increasing shrub abundance in the Arctic // Nature. №411. P. 546-547.
- Tape K.D., Sturm M., Racine C.H. 2006. The evidence for shrub expansion in Northern Alaska and the Pan-Arctic // Global Change Biol. V. 12. №4. P. 686-702. DOI:10.1111/j.1365-2486.2006.01128.x

*Поступила в редакцию: 19.02.2022
Переработанный вариант: 10.07.2022*

THE BLUE EARTH PROJECT: “IS HUMANITY SETTTLING ITS OWN FATE ON ECOLOGICAL SURVIVAL?”

Jheeta S.¹, Chatzitheodoridis E.², Dominik M.³, Kotsyurbenko O.R.⁴, Laine P.⁵, Pérez M.P.⁶, Torres de Farias S.⁷, McGrath K.¹, Rezaei A.⁸, Nyambuya G.⁹, Gupta V.¹⁰, Changela H.¹¹, Bhatt M.C.¹², Simpemba P.¹³, Gustafson L.¹⁴, Kadiri M.O.¹⁵, Godoy-Faúndez A.¹⁶, Nelson N.¹⁷, Nielsen J.N.¹, Smith D.¹

¹Network of Researchers on the Chemical Evolution of Life (NoRCEL), Leeds, LS7 3RB, UK.

²National Technical University of Athens, Greece

³University of St Andrews, Centre for Exoplanet Science, UK

⁴Yugra State University, Russia

⁵University of Jyväskylä, Finland

⁶National Autonomous University of Mexico

⁷Federal University of Paraíba, Brazil,

⁸Bou Ali Sina University, Hamedan, Iran

⁹National University of Science and Technology, Zimbabwe

¹⁰CMD Postgraduate College, Bilaspur, India

¹¹J'Heyrovski Institute of Physical Chemistry, Czech Academy of Sciences, Czech Republic

¹²School of Law–Birkbeck, University of London, UK

¹³Copperbelt University, Zambia

¹⁴Villanova University College of Liberal Arts and Sciences, USA

¹⁵University of Benin, Benin City, Nigeria

¹⁶Universidad del Desarrollo, Chile

¹⁷The Tel Aviv University, Israel

sohan@sohanjheeta.com

Citation: Jheeta S., Chatzitheodoridis E., Dominik M., Kotsyurbenko O.R., Laine P., Pérez M.P., Torres de Farias S., McGrath K., Rezaei A., Nyambuya G., Gupta V., Changela H., Bhatt M.C., Simpemba P., Gustafson L., Kadiri M.O., Godoy-Faúndez A., Nelson N., Nielsen J.N., Smith D. 2022. The Blue Earth Project: “Is Humanity Settling its own Fate on Ecological Survival?” // *Environmental dynamics and global climate change*. V. 13. N. 1. P. 49-58.

DOI: [10.18822/edgcc108267](https://doi.org/10.18822/edgcc108267)

This is a report from NoRCEL's Blue Earth Project symposium BEP2022 held online on January 8th, 2022. We are reporting the outcome pertaining to the following question: “Is Humanity Settling its own Fate on Ecological Survival?” A succinct conclusion drawn is that the Earth is facing the sixth mass extinction of flora and fauna; this being different from the previous five extinctions, in that it is entirely due to mankind's activities. Five invited eminent speakers delivered their input, highlighting the fact that there is extensive deterioration of the environment at large, coupled with an unprecedented demise of ecosystems leading to the extinction of species across the globe.

Keywords: global warming; climate change; pollutants; population explosion; biosphere; species extinction; ecosystem demise; water shortage; ozone; carbon-neutral. carbon footprint.

INTRODUCTION—SETTING THE SCENE

Humankind's destiny and environmental issues which we face today coupled with the seeming lack of care for our beautiful home planet were brought into focus during the backdrop of the “Space Race” in the 1960's, a fact that has become widely forgotten by now. The Space Race (1955-1975) was generated out of the ambitions of the major Cold War adversaries, the USSR and the USA. On October 4, 1957, the USSR launched Sputnik 1 into space—it was just a beeping sphere and nothing more. This was the first ever satellite to orbit Earth at an altitude of 577 km. Inadvertently, such actions by the USSR, set the wheels in motion and so, five years later, the U.S. President John F. Kennedy made a speech on September 12, 1962, entitled: “We Choose to go to the Moon”. The main message of the speech was: “landing a man on the Moon and returning him safely to the Earth”. The Apollo Mission programme began in 1961 and lasted until December, 1972 and although the goal of the Moon landing was achieved on July 20, 1969 by the crew of Apollo 11, a significant step in relation to this BEP2022 report was taken by the crew of Apollo 8, namely

Frank F. Borman II, James A. Lovell Jr., and William A. “Bill” Anders. Their first trip away from Earth in Saturn V blasted off on December 21, 1968 on its way to the Moon, and although their initial mission was to test the rocket and computer technologies of the day and take close-up photographs of the lunar surface, they were in for a surprise. They made a major discovery: the earthrise—no one had ever observed the Earth and earthrise from space before. It was Bill Anders who took the images of the earthrise—two were black and white, and the third was in colour. It was the latter picture which kick-started the focussing of minds to do something about the vulnerability of the Earth, in that when the coloured image was viewed from the perspective of the Earth being suspended like a “blue marble” in the vast darkness of the space, it looks fragile and vulnerable (Figure 1). By the time Neil Armstrong and Buzz Aldrin, had set their feet on the Moon on Monday, July 21, 1969 (an epic moment in the history of humanity), NASA had released the three photos taken by Bill Anders and, at that point, the environmental movement wheels were well and truly set in motion—*take care of our home planet*.



Figure 1. The famous earthrise photograph taken by William “Bill” Anders as the space module came up from behind the Moon for the third time on December 24, 1968. It was this photo which truly set the wheels of eco-environmental movement in motion in 1969. If by some fate or quirk animals could have their say, how would they vote? Would they banish us from the face of the Earth to another Planet B?

Fast track forward to March 1995, the first COP (Conference of the Parties) was held in Berlin, Germany. These COP conferences have been held annually ever since; the latest being COP26 in Glasgow, October 31 – November 13, 2021. During this conference a lot of “buzz words” were bandied about, including green economy, carbon neutrality, zero carbon, decarbonisation and climate change denial and, dare we say it, carbon footprint. However, a specific focus on two elements, namely *human population growth* and the demise of *ecosystems and flora and fauna species* was somewhat in short supply. These topics remained elusive as either no-one mentioned them or considered them to be important enough to make front-page news, or indeed any news, at least in the UK press.

In an attempt to throw a spotlight on these crucial issues, at NoRCEL (Network of Researchers on the Chemical Evolution of Life, www.norcel.net) we inaugurated the Blue Earth Project (BEP) with our first conference on January 8, 2022. The principal aim of this project is to identify and explore the essence of these major factors and find inspiration and potential suggestions for solutions; looking at these major issues from sometimes overlooked approaches. In order to develop this concept, BEP will host a one-day conference each year in the month of January, the next being entitled: “Is it Time for Planet B?” and in addition will run an interactive programme and a BEP website throughout the year so as to maintain momentum. The 2022 inaugural question “Is Humanity Settling its own Fate on Ecological Survival” was addressed by five eminent international speakers. In this report, we summarise their main points commencing by outlining the crisis: the impending “sixth” mass extinction. Subsequently, we briefly review cumulative effects of atmospheric gases, and then summarise what the speakers brought forward. Finally, we look at the impact and reach of our meeting and suggest further steps forward.

THE CRISIS: THE IMPENDING “SIXTH” MASS EXTINCTION

Throughout the history of our planet, there occurred five major mass extinctions. The worst of these was due to a massive volcanic eruption and is believed to have taken place 251.9 million years ago—the Permian-Triassic extinction event [Jurikova *et al.*, 2020]. During this event 81% of marine species and 70% of terrestrial vertebrates perished. The most recent mass extinction, namely the K–Pg event which happened about 65 million years ago, was caused by a cataclysmic impactor that destroyed the dinosaurs as well as over 70% of those species with a body mass of 25 kg or more [Muench *et al.*, 2020]. While these past mass extinctions happened well before humans evolved, the impending “sixth” event is distinctive in that it is going to be brought about due to human activity and our pollution of the planet. We will highlight the main way by which pollutants are introduced into the biosphere—namely, toxicants that are attributed to the burning of fossil fuels, industrial and chemical waste emissions.

Combustion of fossil fuels: the crisis began with industrialisation and a drive for increased gross domestic product per capita during the early 1800s when the global population was merely around 1 billion people [Roser *et al.*, 2019]. This was the time when burning fossil fuels (peat, coal, oil and gas) on a large-scale became ubiquitous, as opposed to the burning of wood which was the norm up until then; this is because pound-for-pound, fossil fuel yielded more energy and burnt longer when compared to wood. Fossil fuels were used by huge industrial plants as well as domestically; the preferred choice for steam ships, early trains and later coal-powered electric generators was coal and subsequently diesel fuels. The levels of smoke and smog generated, even with a much lower population density compared to today, had a profound detrimental effect on both the atmosphere and environment, notably the phenomenon of “smog” (which is a portmanteau of smoke and fog). Further, the advent of mass-produced and petrol-powered automobiles during the earlier part of the 20th century added to the levels of gaseous pollutants in the air. Even in the present day, the most commonplace sources of energy for domestic heating, lighting and cooking all over the world are still either gas, oil, or wood. In the 1960’s, mass holidaying abroad became fashionable, which meant that more aeroplanes took to the sky, adding further toxicants, especially within the upper atmosphere. By and large, the fumes generated by fossil fuels are invariably mixtures of soot particles and high levels of carbon dioxide (CO₂) and carbon monoxide (CO), as well as toxic/carcinogenic oxides of sulphur (SO_x) and nitrogen (NO_x). For example, although the dioxides of both nitrogen (NO₂) and carbon (CO₂) forms less than 0.1% of the air composition, the former is a reddish-brown gas with a distinct pungent and acrid odour and, being heavier than the latter, form a “halo” around cities—*c.f.*, a molecular weight of 46 with that of CO₂ at 44. The effect of this halo is twofold: first, it is a regular feature of some large, industrialised cities in developing nations as an indication of highly polluted air; and second, it is bad for human health—also see Table 3 below.

Humankind’s additional action: with the invention of refrigerators (*circa* 1913) and use of chlorofluorocarbons (CFCs) and hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) came another dimension to the detrimental effect on the Earth’s atmosphere. Both CFCs and HCFCs are used on an industrial scale as solvents, refrigerator coolants, degreasing agents, and as a propellant in aerosol cans. Further, leakage from refrigerators and during improper disposal of such appliances adds to the inventory of gases in the atmosphere. Likewise, vinyl chloride—a manmade gas product, which is a colourless, flammable gas used for making polyvinyl chloride (PVC) for pipes, wire/cable coatings, vehicle upholstery, and plastic kitchenware etc., also adds to the pollution of the atmosphere.

Natural phenomena: the levels of atmospheric pollutants are further made worse due to natural emissions from wild bushfires (even though sometimes deliberately the work of arsonists), agricultural burning, volcanic eruptions, sandstorms and pollen grain precipitations. An incoming meteor (e.g., Tunguska or the more recent Chelyabinsk event) could explode in mid-air causing huge devastation; for instance, the Tunguska explosion, which occurred on June 30, 1908 over the Siberian Forest flattened trees within an area of 830 square miles (2150 km²). As a result, the soil and peat in the area was enriched with rare-earth elements such as samarium (Sm), europium (Eu) and terbium (Tb) as well as with barium (Ba), mercury (Hg) and copper (Cu), and there was raised radioactivity over the epicentre which lasted until 1945 [Golenetsky, Stepanok, 1980; Dmitriev, Zhuralev, 1984].

Input from natural sources: methane (CH₄) is a natural gas produced mostly by methanogenic archaea. They inhabit both natural and anthropogenic environments such as wetlands, boglands, marshlands, sediments of water bodies and permafrost as well as ruminants (e.g., domesticated animal cattle, goats, sheep as well as giraffes, bison, elk), waste waters and landfills etc.

The cumulative net effect of this inventory of atmospheric pollutants is multiple [Jheeta, 2022] and some are briefly discussed in the next section.

CUMULATIVE EFFECTS OF ATMOSPHERIC GASES

Our invited speakers addressed many of the deleterious effects due to changes in the atmospheric conditions and the biospheres of the Earth. Here we will briefly look at four problematic effects attributed to gaseous pollutants as follows: (1) the rise in global atmospheric temperatures, (2) the deterioration of the environment, (3) the demise of ecosystems and the resulting loss of flora and fauna, and (4) the damaging effects on the health of humans.

Global temperature: this is related to the accumulation of greenhouse gases within the atmosphere which include: water vapour, CO₂, CH₄, ozone (O₃), nitrous oxide (N₂O), nitrogen trifluoride (NF₃), sulphur hexafluoride (SF₆), hydrofluorocarbons (HFCs); and perfluorocarbons (PFCs)—the latter four being purely due to industrial activities. These gases prevent the dissipation of heat from the atmosphere by trapping it within the confines of the atmosphere. By the time of the first COP conference in March 1995, it was conspicuously obvious that the atmospheric temperature was rising; according to the NASA Goddard Institute for Space Studies, the average global temperature on Earth has increased by at least 1.1 °C since the time of the Industrial Revolution. The accelerated rate of temperature rise began in 1975 [Hansen et al., 2010; NASA online, 2022]. These changing temperature patterns are the cause of disasters, including storms, heatwaves, flash-floods, and droughts. Further, the impact of increasingly high temperatures is also causing the escalation of ice melt at the poles, resulting in rising sea levels and both the disappearance and forging of new coastlines around the globe, with the eventual need for evacuation of some low-lying areas becoming a major fear; the erection of flood barriers and levees are only temporary measures and not a solution. The melting ice also means that polar-dwelling animals (e.g., emperor penguins, polar bears and arctic foxes) are losing their traditional habitats.

The deterioration of environment: the seas and oceans are becoming more acidic due to both acid rainfall and gases being directly absorbed by open bodies of water; this is affecting marine flora and fauna—such as the widespread death of coral reefs. Table 1 shows a list of gases produced during natural events such as volcanic eruptions and bushfires, as well as during the burning of fossil fuels; these gases are the acidic causative agents in niche environments such as freshwater habitats, as exemplified by lakes, ponds, lagoons, rivers, streams, wetlands, and swamps, as well as saltwater marine habitats including oceans, seas, intertidal zones, reefs and sea beds [Ramakrishnan et al., 2022].

Table 1. List of gases produced by volcanos that go on to make respective acids which are then precipitated on to the surface of the Earth

	Gaseous	Generic name	Aqueous	CO ₂ , HCl, HF, SO ₂ , H ₂ S and NO ₂ are a composition of volcano plumes and coal-fired power stations. Together all these form their respective acids. It is these acids that are the major causative agent of acidification of natural waters. It should also be noted that some of these gases (e.g., NO ₂ and H ₂ S) are also produced by naturally decaying organic material.
Carbon dioxide	CO ₂	Carbonic acid	H ₂ CO ₃	
Hydrogen sulphide	H ₂ S	Sulfuric acid	H ₂ SO ₄	
Sulphur dioxide	SO ₂	ditto	ditto	
Hydrogen chloride	HCl	Hydrochloric acid	HCl	
Hydrogen fluoride	HF	Hydrofluoric acid	HF	
Nitrogen dioxide	NO ₂	Nitric acid	HNO ₃	

The demise of ecosystems: A major cause of the demise of ecosystems is deforestation—for example entire swathes of the Amazon rain forest have been annihilated to make way for mining industries, grazing land for domestic animals, extensive agriculture and not forgetting felling of timber for domestic use. In another setting, Madagascar with its niche tropical dry and rainforests, in addition to its spiny forests has already lost 80% of its primary tropical forest due to human activity; it is estimated that within 40 years Madagascar’s forest will be lost entirely. These acts of deforestation “vandalism” are repeated globally, and although clearances of yet more and more areas may be seen as justifiable (i.e., a basic need for shelter, firewood and food etc.), the results are the same: loss of biodiversity and the habitats of many plants, insects, as well as birds and, both small and large animals which depend on such specialised ecosystems [WWF

brochure, 2007]. Another effect on the delicate balance of ecosystems is caused by the poaching of wild animals to the brink of extinction, as exemplified by the hunting of endangered pangolins as an exotic foodstuff and the killing of tigers and rhinoceroses for traditional homeopathic Chinese medicine—the majestic northern white rhinoceros are now virtually extinct apart from the two captive female rhinoceros at the Ol Pejeta Conservancy in Kenya. Since the late 1980's to 2019 at least eighteen iconic species have become extinct—Table 2.

Table 2. Extinct species 1980's-2019 [Wikipedia, 2022]

Alagoas curassow	Franklinia	Kihansi spray toad	Scimitar oryx	Spix's macaw
Beloribitsa	Golden skiffia	Oahu deception bush cricket	Socorro dove	Wyoming toad
Cachorrito de charco palmar	Guam kingfisher	Panamanian golden frog	Socorro isopod	
Escarpment cycad	Hawaiian crow	Père David's deer	South China tiger	

To add to this, many species of fish are also teetering on the brink of extinction, as their stocks are regularly depleted due to over-fishing—e.g., some shark species, bluefin tuna and monkfish. In contrast, during World War II, when trawlers didn't venture into deeper waters for fear of being attacked by U-Boats, cod and other economically viable North Sea fish stocks were soon replenished.

Human health issues: during the early 1950s smog hung over the city of London for five days constantly and as a result it is believed that over 4000 people died [Bell *et al.*, 2004]; further, in more than 100,000 cases, respiratory tract complications were attributed to this smog—e.g., chronic obstructive pulmonary disease. In the UK, these issues pertaining to smog were sufficient to bring about the Clean Air Act in 1956. It is now well documented that smog and polluted air have an effect not only on the respiratory tract but also on eyes and skin; the latter includes cancer, atopic dermatitis, eczema, psoriasis or acne, etc. According to the World Health Organisation (WHO), the impact on human health is dire, as nearly 6 million people die prematurely from illnesses attributable to the quality of air worldwide. The biggest killers are as shown in Table 3.

Table 3: Global deaths due to the presence of pollutants in the air [WHO online factsheet]

	Clinical cause of death	Effect of pollutant
27%	pneumonia	Primarily inhalation of soot (PM _{2.5})*
27%	ischaemic heart disease	Exposure to PM _{2.5} and NO ₂
20%	chronic obstructive pulmonary disease	NO ₂ affects respiratory tract
18%	stroke	CO brings on stroke after inhalation
8%	lung cancer	Vinyl chloride
* PM _{2.5} refers to fine particulate matter, tiny particles or droplets in the air that are $\leq 2.5 \mu\text{m}$ in diameter. When mixed with NO ₂ , these appear as an orange haze/halo.		

THE EVIDENCE: WHAT THE SPEAKERS SAY

Our symposium featured five speakers (see Figure 2). In a succinct summary, Prof Lowell Gustafson (USA) and Dr Mukesh Bhatt (UK) kicked off the programme with a survey of the problems faced by humanity: physical population growth on the one hand, and the legal and moral challenges on the other. Prof Gustafson delivered a presentation entitled: “Human Population Growth: A Set of Unprecedented Questions.” He began with highlighting that the human population 300,000 years ago numbered a few thousand globally; fast forward to 1900 and the population had increased to 1.65 billion. Then within only the next 121 years, the growth was exponential and unparalleled reaching 7.9 billion. He further extrapolated that it might rise to 11 billion by the end of this century and stated that this is an “unprecedented situation”. He concluded that policy makers across the globe would have to dispense with old practices and values, as well as addressing the security of food supplies and rethinking of farming practices; in short, he declared that “wholesale change is on the horizon”. Dr Bhatt gave a talk entitled: “A Quest for Life unchained and unbound.” He systematically explored “life” in its entirety, from within historic, religious settings and scientific definitions of life through to anthropogenic human laws, as well as looking at what western

society's ideas of what life is, as opposed to those of other cultures with different and broader definitions of what constitutes life. The issues surrounding life are, indeed, perplexing—for example he tackled the ethical treatment of non-human species and inanimate environments and eco-systems, which are little understood or accepted in the West. He further explored the human destiny of settling in outer space by asking: “are we justified in interfering with what may be future sites for the origin, evolution and development of life?” Dr Bhatt concludes that the issues of life are extremely complex to say the least. Perhaps life needs to be defined and continually redefined, from the molecular or organic entities to various types of xeno-species and civilisations. Following this, Prof. Medina Omo Kadiri (Nigeria) added supporting evidence for the demise of ecosystems which both Prof Gustafson and Dr Bhatt touched upon in their talks; her oral presentation was entitled: “Global Assessment on Biodiversity, Conservation and Environment.” She gave a comprehensive review of the loss of diversity across the planet, be it plants or animals. No class of multicellular life is entirely safe from habitat loss, pollution, and climate change. From the onset, Prof Kadiri declared that nature is “deteriorating globally at an accelerated pace”, which is reflected in the environment in general along with the disappearance of habitats and biodiversity of species; with the eventual demise of entire ecosystems. She concisely demonstrated with facts and figures that a million species of both flora and fauna are on the verge of extinction, further adding that such a reduction in biodiversity, as well as habitat loss will adversely affect the United Nations’ Sustainable Development Goals (SDGs) [UN resolution, 2015; UN online]. These include poverty (SDG 1), hunger (SDG 2), health (SDG 3), water (SDG 6), cities (SDG 11), climate (SDG 13), oceans (SDG 14), and land (SDG 15). In conclusion, to safeguard the “global biosphere”, in no uncertain terms she stated: “local efforts as well as international cooperation is vital”.

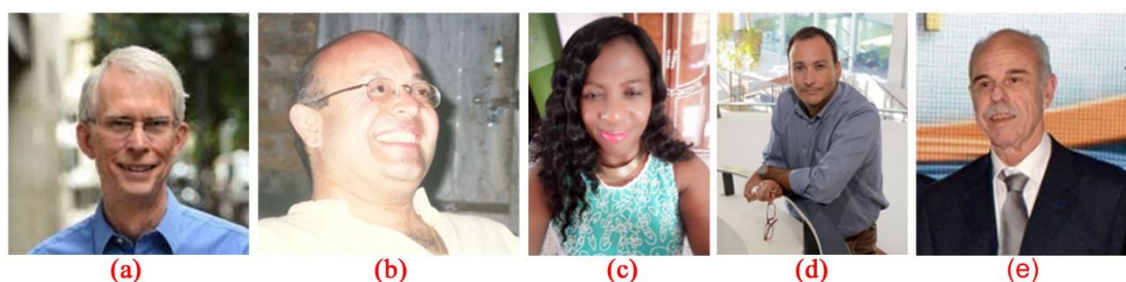


Figure 2. Symposium speakers: (a) Prof Lowell Gustafson, Department of Political Science, Villanova University College of Liberal Arts and Sciences, Philadelphia, USA. One of his main interests is in “Big History”, placing historical developments in the widest context and covering a timeline from the Big Bang to the present. (b) Dr Mukesh Bhatt, School of Law, Birkbeck College, University of London, UK. He is particularly interested in outer space, colonisation and cultural recidivism. (c) Prof Medina Omo Kadiri, University of Benin, Benin City, Nigeria. Her interests are in environmental management and toxicology as well as global assessment on biodiversity and conservation. (d) Dr Alex Godoy-Faúndez, Global Young Academy and CiSGER, Facultad de Ingeniería, Universidad del Desarrollo, Chile. The main areas of Dr Godoy-Faúndez interests are environmental policy, environmental affairs and sustainability science. (e) Prof Nathan Nelson, Emeritus in Biochemistry Molecular Biology, The George S. Wise Faculty of Life Sciences, the Tel Aviv University, Israel. Prof Nelson’s research interest primarily includes V-ATPase, neurotransmitter transporters, metal-ion transporters and complexes involved in the process of photosynthesis. In addition, he is interested in the effect the population growth is having on the health of the Earth

Finally, Dr Alex Godoy-Faúndez (Chile) and Prof Nathan Nelson (Israel) looked at the resource and energy situation, respectively, stressing the fact that, as encouraged under the current economic model, neither the extensive exploitation of resources nor the free disposal of waste products is sustainable. Dr Godoy-Faúndez’s presentation concerned “Economic System and Growth, Engineering, and Ecosystems. How the planet has subsidised well-being?” Effectively, Dr Godoy-Faúndez’s presentation outlined how the environmental deterioration, death of flora and fauna, and demise of ecosystems (as pointed out by Prof Kadiri) came about. He explained that humanity today is going through one of the most pronounced periods of increasing wealth and acquisition of commodities in all of human history, as compared to those by-gone eras of meagre hand-to-mouth existence. These excesses come with a price. These being that ecosystems are put at risk of deterioration due to over-extraction of natural resources surpassing Earth’s boundary limits as well as increased general wastes, effluent discharges, and gaseous emissions; “these impacts are simply unsustainable”, he pointed out. Further, the productivity and consumption—as exemplified by modern agricultural practices—are constructed on economic models that encourage continuous growth beyond Earth’s sustainable limits, without consideration of the socio-environmental costs. These models are extrapolated across all other areas of industries—a collective conscious global disaster relating to the biosphere. The net result being that the “plate-tectonics” of the economic models in light of the more-or-less

permanent change in the Earth’s climate (global warming), causes the deterioration of the environment, the demise of ecosystems and extinction of species. Dr Godoy-Faúndez reminded us that there is an imminent need to reconstruct the current productivity and consumption models such that the Earth is placed at the heart of such models. Prof Nathan Nelson’s input was short, sharp and swift and was related to: “Energy management for sustainability”. He stated, in no uncertain terms, that the Earth was overpopulated and that the population should be reduced to 5 billion, matching the levels of 1987 [Erich, Erlich, 1990], meaning that we would need to be limiting the birth rate to 1.5 children per family. He further advocated that heavy taxes be levied on the use of energy, curtailing overall global overconsumption and consequential waste management in general. These were stark statements from Prof Nelson, which ought not to be ignored.

These talks can be accessed via NoRCEL’s website at <https://nорcel.net/>. Please scroll to the bottom of the page for the links to the videos.

IMPACT AND REACH

The meeting was very well-attended with a representation from 42 different countries (Table 4). Of these, 17 were located across the global north, and 23 were in the global south which is a positive outcome, as the Earth’s global challenges affect the developing nations the most [Jheeta, 2022; Jheeta, 2018]. In addition, we were intent on achieving as wide a reach throughout the world as possible. Bearing in mind the range of time zones covered, the audience level remained relatively steady throughout.

Table 4: Countries with at least one participant at the inaugural BEP conference (January 2022)

GLOBAL NORTH			GLOBAL SOUTH		
Australia	Italy	Slovenia	Botswana	Israel	Philippines
Austria	Japan	Spain	Brazil	Jordan	Singapore
Canada	Netherlands	Switzerland	Chile	Kenya	South Africa
Finland	Poland	UK	Egypt	Mexico	Sudan
France	Portugal	USA	India	Malaysia	Taiwan
Germany	Russia		Iran	Morocco	Turkey
Greece	Serbia		Iraq	Oman	Zambia
					Zimbabwe
19			24		

At NoRCEL, we are mindful of the fact that for any programme to be seen as a success, we would need to somehow determine how effective the campaign is. There are two ways this can be achieved: the operative interlinked words are “impact” and “reach”. For example, one can inspire others so that this influences their action and creates “impact”. This is different from the “reach” which simply refers to the number of individuals with whom one engages. It is obviously easier to extend reach than to influence, and increased reach must not come at the cost of the quality of engagement leading to impact. So how large a group should be involved? The best way forward may be where the group is neither too small nor too large—i.e., moderately sized. BEP is one of several projects created by NoRCEL whereby we are inspiring a reasonably large number of people (e.g., 150 to 250) to consider the problems facing our Earth and in return make a bigger impact. Please see Supplementary Table 1 which highlights some of the feedback received from this inaugural BEP2022 symposium.

Open discussions followed the oral presentations. These included the prospect of damming of the Red Sea for energy production, or the use of integrated farming. The overall gist of the discussions was a need for a change in current economic operating models as the *status-quo* today represents a *tragedy of the commons*, in that the depletion of resources, including energy, will eventually be destructive to all.

WHAT’S NEXT?

Scientific research has highlighted the Earth’s five previous mass extinctions of larger flora and fauna and predicted the approach of the sixth. What does this mean? When scientists discuss the current themes of such an extinction, it is exclusively from an anthropocentric standpoint. Yes, flora and fauna are being eradicated at an alarming rate, there is absolutely no doubt about that, but humanity’s fears are directed largely toward itself... fears that the human race will perish if we do nothing about the Earth’s worsening

problems. What if humankind were extinguished due to rising sea levels; intolerable temperatures; pollution; water shortages; disappearance of arable land and other consequences of overpopulation; so, what? If science and history have taught us anything, it is this... after all five previous mass extinctions, life always bounced back; it would not matter one iota to planet Earth if humans no longer existed on it... Other life would still go on.

While no decisions were made at this first meeting, the possibility exists to invite science-based journalists and other interested parties who have championed change in the past to come on board. There is a need for new ideas! The next hybrid Blue Earth Project meeting will be held on Saturday 21st January 2023 to address the question: “Is it time for planet B?” Readers may wish to consult the remit pertaining to this question published in the “COSPAR’s information bulletin: Space Research Today” (Dominik et al, 2022).

SUPPLEMENTARY

Table 1: The feedback given to the three posed questions

Three Feedback Questions posed			
1. Q1: Your overall experience from 1 (poor) to 5 (excellent); 2. Q2: How likely are you to attend an online symposium in 2023 by scoring 1 (not likely) to 5 (highly likely)? 3. Q3 Any additional information			
	Names	Scores	Additional information provided
1	MOK	Q1: 5 Q2: 5	
2	CK	Q1: 4 Q2: 4	Some of us are new converts to issues related to preservation of Earth and related issues so, if possible, I will like to have all the presentations in copies for proper understanding
3	DK	Q1: 3 Q2: 5	I score the overall experience with 3. I was expecting more from B.E.P., having the previous exp. from the NORCEL, maybe more technical or mathematical.
4	SK	Q1: 4 Q2: 4	
5	JA	Q1: 5 Q2: 4	
6	KF	Q1: 4 Q2: 5	
7	TCK	Q1: 5 Q2: 5	Personally, I also do not want the symposium to be another talk show with no significant contribution to the situation on the ground. So, I would like to suggest that each and every segment of the symposium be led or moderated by a young climate activist who can represent Thunberg's generation. The reason is to give an opportunity for youngsters to hone their leadership skills in managing differences. I think that it is timely that the NoRCEL's future webinars/ symposiums should be led by youngsters. After all, the generation to come is going to manage the planet Earth with all the problems we have created for them. Time to train them to be leaders for climate change mitigation. Maybe they already are as shown by Thunberg's example. Just that they are not given enough opportunity to manage the differences in their own terms/ ways as all spheres including the NoRCEL are still dominated by 'old people' like us
8	AK	Q1: 5 Q2: 5	Thank you for arranging such a great and significant academic event, as well as providing us with the opportunity to express our views.
9	SP	Q1: 5 Q2: 5	highly likely to attend 'is it time for planet b' 2023.
10	PC	No score	I would be happy to participate.
11	WDC	No score	First of all, congratulations on the success of the symposium, which gave both a varied and interesting perspectives which challenged my previous perspectives with worldwide contributions With regards to the overall experience, it has to be a 5 and likewise a 5 to the follow up symposium. Well done - keep up the good work raising awareness.
12	BI	Q1: 4 Q2: 5	

	Names	Scores	Additional information provided
13	RDG	Q1: 5 Q2: 5	
14	NP	Q1: 5 Q2: 5	
15	ZB	Q1: 5 Q2: 5	Thank you so much for the e-mail. It was my first time to follow and later join the project. It was very amazing, and the experience was excellent. I have learnt a lot from the symposium. I will attend the next symposium. In a nutshell my scoring for both questions
16	MC	Q1: 5 Q2: 5	The experience was excellent.
17	RG	Q1: 4 Q2: 5	there is still a lot to do here. Not time yet to think about leaving. Too much money for too few people
18	SVS	Q1: 5 Q2: 5	
19	NeH	Q1: 4 Q2: 5	I would be happy to participate.
20	PYM	Q1: 5 Q2: 5	I would like to add that the online brainstorming with miro/ wonder.me or any other application prior to the Symposium was a very good idea.
21	MCB	Q1: 4 Q2: 5	
22	AM	Q1: 5 Q2: 5	highly likely
23	JS	Q1: 4 Q2: 4	
24	EK	Q1: 5 Q2: 5	
25	ALG	Q1: 5 Q2: 5	I'd rate my experience as 4, the meeting was really interesting and I enjoyed it very much, however it would be better if I just could stay until the end of the meeting (because it lasted longer than expected). I would definitely attend the next meeting and I'm looking forward to it. Another comment I'd like to add is regarding the hour of the symposiums. I don't know how the timezone is chosen but I guess the most fair is to determine it according to the timezones where most participants and members from NoRCEL live. Thank you
26	MC	Q1: 5 Q2: 4	
27	IM	No score	I'll give it one more try as you ask, keep me informed of what is coming up.
28	MS	Q1: 5 Q2: 5	Yes, I likely to attend an online free symposium in 2023
29	MP	Q1: 4 Q2: 5	Add other activities between now and the next symposium 2023
30	AS	Q1: 5 Q2: 5	
31	KV	No score	The directions of research related to the Blue Earth project are indeed very important at the present time. But they are outside my professional competence. Therefore, I must mark my answer to both of your questions as 1. But I confirm my interest in the subject of the chemical evolution of life, on which I have been working for many years, and my desire to participate in the next conference in this direction
32	AT	Q1: 5 Q2: 4	
33	IS	Q1: 4 Q2: 4	May the providence give you courage and energy to continue your struggle to uplift the awareness level of some parts of human society.
34	BS	Q1: 5 Q2: 5	
35	KR	Q1: 4 Q2: 4	

REFERENCES

- Bell M. L., Davis D. L., Fletcher T. 2004. A Retrospective Assessment of Mortality from the London Smog Episode of 1952: The Role of Influenza and Pollution // *Environmental Health Perspectives*. V. 112. P. 6-8. DOI: 10.1289/ehp.6539.
- Dmitriev A.N., Zhuravlev V.K. 1984. The Tunguska Phenomenon of 1908 as a Kind of Cosmic Connections Between the Sun and the Earth // Novosibirsk: IGIG SO AN SSSR (in Russian).
- Golenetsky S.P., Stepanok V.V. 1980. Searching for the substance of the Tunguska space body // *Interaction of Meteoritic Matter with the Earth*. Novosibirsk: Nauka. P. 102-115 (in Russian).
- Hansen J., Ruedy R., Sato M., Lo K. 2010. Global Surface Temperature Change // *Reviews of Geophysics*. V. 48. P. RG4004. DOI: 10.1029/2010RG000345.
- https://en.wikipedia.org/wiki/Extinct_in_the_wild (07-05-2022).
- Jheeta S. 2018. Astrosience Group in Africa // COSPAR's information bulletin: *Space Research Today*. V. 203. P. 81-83.
- Jheeta S. 2022. COP26: world overpopulation is not something to be sniffed at in press // COSPAR's information bulletin: *Space Research Today*.
- Jurikova H., Gutjahr M., Wallmann M., et al. 2020. Permian–Triassic mass extinction pulses driven by major marine carbon cycle perturbations // *Nature Geoscience*. V.13. P.745. DOI: 10.1038/s41561-020-00646-4.
- Muench D., Muench M., Gilders M.A. 2020. *Primal Forces* Graphic Arts Center Publishing (Portland, Oregon). P. 20.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA): “Earth Observatory: World of Change –Global Temperatures”. Published online earthobservatory.nasa.gov. Retrieved from: <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/global-temperatures> [Online Resource].
- Ehrlich P.R., Ehrlich A.H. 1990. *The Population Explosio* / (ed.) Simon and Schuster. New York.
- Ramakrishnan A. R., Kumar K., Arunachalam P., Sankar M., Selvaraj P., Jheeta S. 2022. Deleterious Effect of Ultraviolet Radiation on *Glossogobius giuris*: A Short Experimental Study // *Sci V.4*. P.12. DOI: 10.3390/sci4010012.
- Roser M., Ritchie H., Ortiz-Ospina E. 2013. World Population Growth. Published online *OurWorldInData.org*. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/world-population-growth> [Online Resource]. Revised May 2019.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs: “Sustainable Development”. Published online sdgs.un.org. Retrieved from: <https://sdgs.un.org> [Online Resource].
- United Nations: “Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development”, Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015 (A/RES/70/1), <https://undocs.org/A/RES/70/1>.
- World Health Organization (WHO), Factsheet on “Household air pollution and health”. Published online www.who.int. Retrieved from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health> [Online Resource].
- WWF brochure entitled: *Forest Area Key Facts & Carbon Emissions from Deforestation*. 2007. (https://wwf.panda.org/wwf_offices/madagascar/).
- Dominik M., Jheeta S., Smith D. 2022. Is it time for planet B? COSPAR's information bulletin: *Space Research Today*. (in press).

Received by the editor: 24.09.2021

Reworked version: 06.07.2022