

ВЕСТНИК

ISSN 0869–7698

ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО  
ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ  
НАУК

4

2024



НАУКА

— 1727 —

# ВЕСТНИК

Научный журнал

Учредители

РАН

ДВО РАН

Журнал основан в 1932 г.

Издание прекращено в 1939 г.,

возобновлено в 1990 г.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО  
ОТДЕЛЕНИЯ

РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ  
НАУК

4 (236). 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

### Науки о Земле и окружающей среде

И.П. СЕМИЛЕТОВ, Н.Е. ШАХОВА. Баланс парниковых газов и изменение климата: роль деградации мерзлоты в Арктике .....	5
Л.И. ЛОБКОВСКИЙ, И.П. СЕМИЛЕТОВ, А.А. БАРАНОВ, И.С. ВЛАДИМИРОВА. Трудности обоснования антропогенной концепции глобального потепления и сейсмогенно-триггерный механизм климатических изменений .....	44

### Сельскохозяйственные науки

#### Растениеводство

А.Г. КЛЫКОВ, Г.А. МУРУГОВА, И.В. КОНОВАЛОВА, О.А. ТИМОШИНОВА. Селекция зерновых и крупяных культур в условиях муссонного климата .....	60
Н.Л. КЛОЧКОВА, О.В. МОХАНЬ, О.Н. ТЕЛИЧКО. Продуктивность и питательная ценность кормовой массы вики яровой .....	72
Д.И. ВОЛКОВ, А.А. ГИСЮК, И.В. КИМ, В.Н. МОРОЗОВА. Усовершенствование элементов технологии выращивания мини-клубней картофеля в защищенном грунте .....	80
М.П. ХОРНЯК, Т.А. АСЕЕВА. Влияние агроклиматических условий на урожайность и качественные показатели коллекционных образцов сои в условиях Среднего Приамурья .....	88
Е.М. ФОКИНА, Д.Р. РАЗАНЦВЕЙ. Отличительные особенности нового сорта сои ВНИИС-18 .....	98
А.Ю. КОНДРАТЬЕВА, Т.А. АСЕЕВА. Фотосинтетическая деятельность и урожайность сортов фасоли зерновой в зависимости от уровня минерального питания .....	108
Н.В. БАРДИНА, Д.А. ПАВЛОВ, И.В. КИМ. Вариабельность биохимического состава сортовой популяции тывквы столовой в поколениях отбора .....	119
Е.Н. ПЕТРУША, Е.А. РУСАКОВА. Использование генетического материала диких родичей жимолости камчатской ( <i>Lonicera caerulea</i> var. <i>kamtschatika</i> Sevast.) в аналитической селекции .....	126
В.А. ЧУВИЛИНА. Однолетние кормовые фитоценозы как звенья технологического конвейера в условиях острова Сахалин .....	134

#### Зоотехния и ветеринария

М.Е. ОСТЯКОВА, И.С. ШУЛЬГА, С.А. ЩЕРБИНИНА. Лейкоз крупного рогатого скота в Дальневосточном федеральном округе .....	145
Г.А. БОНДАРЕНКО, И.А. СОЛОВЬЕВА, Т.И. ТРУХИНА. Особенности гельминтофауны крупного рогатого скота в весенне-летний период в условиях Амурской области .....	151

#### Юбилей

Академику РАН В.И. Сергиенко – 80 лет .....	158
---	-----

## Главный редактор вице-президент РАН академик РАН Ю.Н. КУЛЬЧИН

Заместитель главного редактора В.С. ЖЕРДЕВ

Ответственный секретарь Л.А. РУСОВА

### Редакционная коллегия:

- |   |   |
|---|---|
| акад. РАН А.В. АДРИАНОВ                             | – научный руководитель (президент) Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток |
| чл.-корр. РАН Д.Л. АМИНИН                           | – зав. лабораторией Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, Владивосток                    |
| д. б. н. В.Ю. БАРКАЛОВ                              | – главный научный сотрудник Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток |
| акад. РАН В.В. БОГАТОВ<br>(зам. главного редактора) | – главный ученый секретарь ДВО РАН, Владивосток   |
| чл.-корр. РАН С.Ю. БРАТСКАЯ                         | – зав. лабораторией Института химии ДВО РАН, Владивосток  |
| чл.-корр. РАН Б.А. ВОРОНОВ                          | – научный руководитель Института водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск  |
| чл.-корр. РАН С.В. ГНЕДЕНКОВ                        | – директор Института химии ДВО РАН, Владивосток   |
| чл.-корр. РАН А.А. ГОНЧАРОВ                         | – директор Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток                  |
| акад. РАН Е.И. ГОРДЕЕВ                              | – научный руководитель Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский                               |
| акад. РАН Н.А. ГОРЯЧЕВ                              | – директор Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института им. Н.А. Шило ДВО РАН, Магадан                |
| акад. РАН М.А. ГУЗЕВ                                | – директор Института прикладной математики ДВО РАН, Владивосток   |
| акад. РАН Г.И. ДОЛГИХ                               | – директор Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток                                |
| д.г.-м.н. О.В. ДУДАРЕВ                              | – главный научный сотрудник Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток               |
| акад. РАН Ю.Н. ЖУРАВЛЁВ                             | – научный руководитель Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток      |
| д.х.н. А.И. КАЛИНОВСКИЙ                             | – главный научный сотрудник Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, Владивосток            |
| акад. РАН А.Г. КЛЫКОВ                               | – зав. отделом Федерального научного центра агроботехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Уссурийск                     |
| акад. РАН Н.Н. КРАДИН                               | – директор Института истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток                         |
| чл.-корр. РАН П.В. КРЕСТОВ                          | – директор Ботанического сада-института ДВО РАН, Владивосток  |
| чл.-корр. РАН С.П. КРЪЖАНОВСКИЙ                     | – заместитель председателя ДВО РАН, Владивосток   |
| акад. РАН В.Л. ЛАРИН                                | – научный руководитель Института истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток             |
| д. б. н. А.С. ЛЕЛЕЙ                                 | – зав. лабораторией Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток         |
| д.х.н. А.Г. МИРОЧНИК                                | – зав. лабораторией Института химии ДВО РАН, Владивосток  |
| чл.-корр. РАН А.Ю. ОЗЕРОВ                           | – директор Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский   |
| чл.-корр. РАН Ю.М. ПЕРЕЛЬМАН                        | – зам. директора по научной работе Дальневосточного научного центра физиологии и патологии дыхания, Благовещенск            |
| чл.-корр. РАН С.В. ПРАНЦ                            | – зав. отделом Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток                            |
| акад. РАН В.И. СЕРГИЕНКО                            | – советник РАН, Владивосток   |
| акад. РАН В.А. СТОНИК                               | – научный руководитель Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, Владивосток                 |
| чл.-корр. РАН Е.Я. ФРИСМАН                          | – научный руководитель Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан                              |
| акад. РАН А.И. ХАНЧУК                               | – научный руководитель Дальневосточного геологического института ДВО РАН, Владивосток                                       |
| д.г.-м.н. Р.Б. ШАКИРОВ                              | – зам. директора по научной работе Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток        |

© Российская академия наук, 2024

© Дальневосточное отделение РАН, 2024

# VESTNIK

Scientific journal

OF THE FAR EAST BRANCH

Founders  
RAS  
FEB RAS

OF THE RUSSIAN  
ACADEMY  
OF SCIENCES

The journal was found in 1932  
The publication was discontinued in 1939,  
was resumed in 1990

4 (236). 2024

## CONTENTS

### Earth and environment sciences

I.P. SEMILETOV, N.E. SHAKHOVA. Greenhouse gases balance and climate change: role of permafrost degradation in the Arctic .....	5
L.I. LOBKOVSKY, I.P. SEMILETOV, A.A. BARANOV, I.S. VLADIMIROVA. Difficulties in the anthropogenic concept of global warming and the seismogenic trigger mechanism of climate change.....	44

### Agricultural sciences

#### *Crop science*

A.G. KLYKOV, G.A. MURUGOVA, I.V. KONOVALOVA, O.A. TIMOSHINOVA. Breeding of grain and cereal crops under the conditions of monsoon climate .....	60
N.L. KLOCHKOVA, O.V. MOKHAN', O.N. TELICHKO. Productivity and nutritional value of the forage mass of the common vetch .....	72
D.I. VOLKOV, A.A. GISYUK, I.V. KIM, V.N. MOROZOVA. Improving the elements of the technology for growing potato minitubers in a greenhouse .....	80
M.P. KHORNYAK, T.A. ASEEVA. The influence of agroclimatic conditions on the yield and quality indicators of soybean collection samples in the conditions of the Middle Amur region.....	88
E.M. FOKINA, D.R. RAZANTSVEY. Distinctive features of the new soybean variety VNIIS-18 .....	98
A.Yu. KONDRAT'EVA, T.A. ASEEVA. Photosynthetic activity and productivity of grain bean varieties depending on the level of mineral nutrition .....	108
N.V. BARDINA, D.A. PAVLOV, I.V. KIM. Variability in the biochemical composition of a variety population of edible squash in generations of selection .....	119
E.N. PETRUSHA, E.A. RUSAKOVA. The use of genetic material of wild relatives of Kamchatka honeysuckle ( <i>Lonicera caerulea</i> var. <i>kamtschatika</i> Sevest.) in analytical breeding .....	126
V.A. CHUVILINA. Annual forage phytocenoses as links in the technological conveyor in the conditions of Sakhalin Island.....	134

#### *Animal science and veterinary*

M.E. OSTYAKOVA, I.S. SHULGA, S.A. SHCHERBININA. Leukemia of cattle in the Far Eastern Federal District .....	145
G.A. BONDARENKO, I.A. SOLOVYEVA, T.I. TRUKHINA. Features of the helminth fauna of cattle in the spring-summer period in the Amur region.....	151

#### **Anniversaries**

Academician of the Russian Academy of Sciences V.I. Sergienko – 80 years old .....	158
--	-----

**Chief Editor Yu.N. KULCHIN, Academician of RAS, Vice-President of RAS**

Deputy Chief Editor V.S. ZHERDEV

Executive Secretary L.A. RUSOVA

Editorial staff:

A.V. ADRIANOV, Academician of RAS	– Research Supervisor (President), A. V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, FEB RAS, Vladivostok
D.L. AMININ, Corresponding Member of RAS	– Chief of Laboratory, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
V.Y. BARKALOV, Doctor of Biological Sciences	– Principal Researcher, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok
V.V. BOGATOV, Academician of RAS (Deputy Chief Editor)	– Chief Scientific Secretary, FEB RAS, Vladivostok
S.Yu. BRATSKAYA, Corresponding Member of RAS	– Chief of Laboratory, Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
G.I. DOLGIKH, Academician of RAS	– Director, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok
O.V. DUDAREV, Doctor of Geological-Mineralogical Sciences	– Chief Researcher, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok
E.Ya. FRISMAN, Corresponding Member of RAS	– Research Supervisor, Institute of Complex Analysis of Regional Problems, FEB RAS, Birobidzhan
S.V. GNEDENKOV, Corresponding Member of RAS	– Director, Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
A.A. GONCHAROV, Corresponding Member of RAS	– Director, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok
E.I. GORDEEV, Academician of RAS	– Research Supervisor, Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
N.A. GORYACHEV, Academician of RAS	– Director, N. A. Shilo North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute FEB RAS, Magadan
M.A. GUZEV, Academician of RAS	– Director, Institute of Applied Mathematics, FEB RAS, Vladivostok
A.I. KALINOVSKY, Doctor of Chemistry	– Principal Researcher, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
A.I. KHANCHUK, Academician of RAS	– Research Supervisor, Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok
A.G. KLYKOV, Academician of RAS	– Head of the Department, Federal Scientific Center of Agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk
N.N. KRADIN, Academician of RAS	– Director, Institute of History, Archaeology and Ethnology of the Peoples of the Far East, FEB RAS, Vladivostok
P.V. KRESTOV, Corresponding Member of RAS	– Director, Botanical Garden-Institute, FEB RAS, Vladivostok
S.P. KRYZHANOVSKIY, Corresponding Member of RAS	– Deputy Chairman of FEB RAS, Vladivostok
V.L. LARIN, Academician of RAS	– Research Supervisor, Institute of History, Archaeology and Ethnography of the Peoples of the Far East, FEB RAS, Vladivostok
A.S. LELEJ, Doctor of Biological Sciences	– Chief of Laboratory, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok
A.G. MIROCHNIK, Doctor of Chemistry	– Chief of Laboratory, Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
A.Yu. OSEROV, Corresponding Member of RAS	– Director, Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
Yu.M. PERELMAN, Corresponding Member of RAS	– Deputy Director for Science, Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration, Blagoveshchensk
S.V. PRANTS, Corresponding Member of RAS	– Head of the Department, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok
V.I. SERGIENKO, Academician of RAS	– Advisor of RAS, Vladivostok
R.B. SHAKIROV, Doctor of Geological-Mineralogical Sciences	– Deputy Director for Research, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok
V.A. STONIK, Academician of RAS	– Research Supervisor, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
B.A. VORONOV, Corresponding Member of RAS	– Research Supervisor, Institute of Water and Ecological Problems, FEB RAS, Khabarovsk
Yu.N. ZHURAVLEV, Academician of RAS	– Research Supervisor, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok

Обзорная статья

УДК: 552.578:551.464.6+62-623.1(268.5)

DOI: 10.31857/S0869769824040015

EDN: IRWLDY

## Баланс парниковых газов и изменение климата: роль деградации мерзлоты в Арктике

И.П. Семилетов<sup>✉</sup>, Н.Е. Шахова

*Игорь Петрович Семилетов*

член-корреспондент РАН, доктор географических наук

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,

Владивосток, Россия

Международный Центр Дальневосточных и Арктических морей

им. адмирала С.О. Макарова, Сахалинский государственный университет-СахалинТЕСН,

Южно-Сахалинск, Россия

ipsemiletov@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0003-1741-6734>

*Шахова Наталья Евгеньевна*

доктор геолого-минералогических наук

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,

Владивосток, Россия

Институт динамики геосфер им. академика М.А. Садовского РАН, Москва, Россия

nataliaeshakhova@gmail.com

**Аннотация.** Одной из наиболее актуальных проблем современной геохимии и климатологии является вопрос о закономерностях миграции основных парниковых газов, двуокси углерода ( $\text{CO}_2$ ) и метана ( $\text{CH}_4$ ). Целью данной работы является краткое изложение принятой концепции о доминирующей роли антропогенного фактора в изменениях климата, которая рассматривается в контексте изменения природной климатической цикличности за последние сотни тысяч лет и в наше время. Показано, что для понимания функционирования климатической системы необходимо учитывать геологический фактор – изменение состояния наземной и подводной мерзлоты: крупнейшие резервуары древнего углерода, который включается в биогеохимические циклы вследствие деградации мерзлоты в теплые геологические эпохи. Это приводит к нарушению цикла углерода, которое проявляется в массивированных выбросах  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в атмосферу. В холодные геологические эпохи идет аккумуляция углерода в мерзлоте, которая запасает количества углерода, соизмеримые или даже превышающие быстрые обменные резервуары углерода на нашей планете (атмосфера, биосфера). На примере Арктического региона показана важнейшая, и пока неучтенная, климатическая роль деградации мерзлоты в период после оптимума голоцена, который наступил в Северном полушарии примерно 5–6 тыс. лет назад. Согласно известной климатической 105-тысячелетней цикличности по Миланковичу, после оптимума голоцена должно было наступить очередное похолодание, ведущее к понижению уровня моря и превращению мелководного арктического шельфа в сушу. Однако потепление продолжилось, и уровень Мирового

океана продолжает повышаться, что уже привело к беспрецедентному в геологической истории продолжительному высокому стоянию уровня моря на арктическом шельфе. Это стало причиной контакта относительно теплых придонных вод и мерзлых осадков арктического шельфа на 5–6 тыс. лет дольше, чем в предыдущие теплые геологические эпохи, что привело к прогрессирующей деградации подводной мерзлоты и дестабилизации арктических мелководных гидратов. Показано, что возрастающий сток сибирских рек, мобилизация, транспорт и трансформация наземного органического вещества в арктической системе суша–шельф определяет седиментацию и экологию мелководного шельфа морей Восточной Арктики, которая составляет более 70% акватории Северного морского пути. В данной обзорной работе приведены избранные результаты, полученные авторами с коллегами за последние 30 лет, и обозначен ряд проблем, которые стоят перед современной климатологией.

**Ключевые слова:** цикл углерода, парниковые газы, мерзлота, климат

**Для цитирования:** Семилетов И. П., Шахова Н. Е. Баланс парниковых газов и изменение климата: роль деградации мерзлоты в Арктике // Вестн. ДВО РАН. 2024. № 4. С. 5–43.  
<http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040015>

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 21-77-30001, грант № 22-67-00025) и Минобрнауки в рамках Программы развития “Приоритет-2030” Сахалинскому государственному университету, и госзадания № 121021500057-4 (ТОИ ДВО РАН).

Review article

## Greenhouse gases balance and climate change: role of permafrost degradation in the Arctic

I. P. Semiletov, N. E. Shakhova

*Igor P. Semiletov*

Corresponding Member of RAS, Doctor of Sciences in Geography  
V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia  
International Center of the Far-Eastern and Arctic Seas (named by admiral S.O. Makarov),  
Sakhalin State University/SakhTECH, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia  
[ipseiletov@gmail.com](mailto:ipseiletov@gmail.com)  
<http://orcid.org/0000-0003-1741-6734>

*Natalia E. Shakhova*

Doctor of Sciences in Geology and Mineralogy  
V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia  
M.A. Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics, Moscow, Russia  
[nataliaeshakhova@gmail.com](mailto:nataliaeshakhova@gmail.com)

**Abstract.** One of the most prominent problems of modern geochemistry and climatology is the understanding of the patterns of migration of the main greenhouse gases, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>). The purpose of this work is a brief review of the widely accepted concept of the dominant role of the anthropogenic factor in climate change, which is considered in the paleo-context of changes in natural climate cycling over the past hundreds of thousands of years, and in present time. It is shown that to understand the functioning of the climate system, it is necessary to take into account the geological factor – changes in the state of terrestrial and subsea permafrost: the huge reservoirs of ancient carbon, which is included in biogeochemical cycles due to permafrost degradation in warm geological epochs. This leads to imbalance in the carbon cycling, which manifests itself in massive emissions of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> into the atmosphere. During cold geological epochs, carbon accumulates in permafrost, which stores amounts of carbon exceeding the carbon exchange between atmosphere, biosphere, land and ocean. Considering the Arctic region as the key climate “kitchen” we state that present time is characterized by unique long-lasting

warming after the Holocene optimum, which occurred in the northern hemisphere approximately 5–6 thousand years ago. It contradicts with the Milankovich' 105-kyrs cycling: after the Holocene optimum, the geological ice-epoch should have occurred, which should have led to about 100-meters sea level lowering and the transformation of the shallow Arctic shelf into land. However, warming has continued and the level of the World Ocean continues to rise, which has already led to an extended high sea level on the Arctic shelf – unique in geological history. This caused the lasting contact of relatively warm bottom waters (~(-1) °C) and frozen sediments (~(-25) °C) of the Arctic shelf for 5–6 thousand years longer than in previous warm geological epochs, which led to the progressive degradation of subsea permafrost, formation of deep or through taliks (zones of melted permafrost) and destabilization of Arctic shallow hydrates. It is shown that the increasing runoff of Siberian rivers, mobilization, transport, and transformation of terrestrial organic matter in the Arctic land–shelf system determines the sedimentation and biogeochemistry of the East Siberian Arctic Shelf – the broadest and shallowest shelf in the World Ocean, which makes up more than 70% of the Northern Sea Route area. This review paper presents selected key results obtained by the authors and their colleagues over the past 30 years, and identifies a number of problems facing modern climatology.

**Keywords:** carbon cycle, greenhouse gases, permafrost, climate

**For citation:** Semiletov I.P., Shakhova N.E. Greenhouse gases balance and climate change: role of permafrost degradation in the Arctic. *Vestnik of the FEB RAS*. 2024;(4):5–43. (In Russ.).  
<http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040015>

**Funding.** The work was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 21-77-30001, grant No. 22-67-00025), the Ministry of Education and Science within the framework of the Priority-2030 Development Program for Sakhalin State University, and state assignment No.121021500057-4 (POI FEB RAS).

## Введение

На протяжении сотен миллионов лет только малая часть приходящей солнечной радиации (0,06%) употреблялась в процессе фотосинтеза, что и стало основой жизни на Земле и ее продукта – ископаемого топлива. До последнего времени человечество развивалось за счет его использования и не осознавало, что запасы природного топлива истощаются со скоростью в 100 тыс. раз большей, чем они формируются. Наиболее ранние свидетельства об использовании энергии сжигаемого топлива для обогрева пещер, заселенных нашими предками на территории нынешнего Китая, относятся к 400 тыс. лет до н. э. Тогда, на заре человечества, в силу малочисленности и неразвитости технологий антропогенная активность не оказывала значительного влияния на изменение климата. С периодичностью в 105 тыс. лет межледниковые периоды сменялись ледниковыми, море отступало и наступало на сушу с амплитудой от 100 до 130 м на протяжении многих сотен тысяч лет. В межледниковые эпохи средняя температура воздуха была на 6–7 °C выше, чем в ледниковые. Наибольшие амплитуды климатических колебаний были документированы в Арктике, где потепление в теплые геологические эпохи достигало 10–12 °C, т.е. примерно в 2 раза выше, чем в среднем на планете [1–6]. Это явление было названо арктическое усиление (*arctic amplification*) [7].

После климатического оптимума (*температурного максимума*) последнего межледниковья – голоцена, который прошел 5–9 тыс. лет назад (раньше в Северном полушарии и позднее – в Южном), по законам природы должно было наступить глобальное похолодание. Однако вместо похолодания потепление продолжилось, что привело к продолжению таяния покровных ледников, деградации многолетних мерзлых пород (далее – *мерзлота*) и повышению уровня океана. На основе комплексного изучения воздушных включений датированных образцов ледяных кернов Антарктиды и Гренландии и кернов донных осадков научное сообщество пришло к выводу, что наиболее вероятным фактором изменения климатической цикличности является нарушение природного цикла углерода за счет антропогенного фактора, который проявляется в выбросах парниковых газов CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> – за счет сжигания ископаемого топлива, сведения лесов и другой хозяйственной деятельности [1–11]. Однако вопрос о роли антропогенной деятельности в ретроспективе 5–9 тысяч лет назад пока остается открытым из-за недостатка научно обоснованных данных.

По определению основоположника современной биогеохимии академика В.И. Вернадского, антропогенный фактор стал новой геологической силой, которая изменяет лик нашей

планеты в масштабе последних сотен лет и называется ноосфера, или антропоцен [12]. После начала промышленной революции, с 1750 г., в результате деятельности человека в атмосферу выделилось более 555 Гт (1 Гт = 1 млрд т) углерода (*оценка для 2015 г.*) в форме CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>), что привело к нарушению природного цикла углерода и повышению концентрации атмосферного CO<sub>2</sub> до значений, невиданных за последние 800 тыс. лет, и к задержке наступления очередного ледникового периода [13]. Только за 1958–1988 гг. в атмосферу в результате сжигания ископаемого топлива поступило 123 млрд т углерода в форме CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>), что эквивалентно примерно 16% от общего количества CO<sub>2</sub> в современной атмосфере. Темпы роста атмосферного CO<sub>2</sub> увеличиваются. Предполагается, что в ближайшие годы произойдет удвоение содержания атмосферного CO<sub>2</sub> относительно 1750 г., что приведет к потеплению на 1,5–2,0 °С. Это может вызвать серьезные социальные и экономические последствия [8, 9, 14]. Ниже показано, что наибольшие темпы климатических изменений происходят в Арктике, что уже привело к аномальному потеплению, значительно превышающему prognostические оценки Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) – International Panel for Climate Change (IPCC), которые основаны на предположении о том, что антропогенный фактор является определяющим драйвером климатической системы [8, 9, 14]. Однако для понимания функционирования климатической системы необходимо также учитывать другие факторы, которые могут играть важную роль в наше время и в различные геологические эпохи – за счет сложного взаимодействия множества пока малоизвестных положительных и отрицательных обратных связей [1–8].

В настоящее время развитие мировой климатологии испытывает трудности, обусловленные в первую очередь недостатком знаний о степени влияния антропогенных и естественных факторов на изменение климата. Это приводит к большому количеству неопределенностей в функционировании климатической системы нашей планеты и вызывает ряд серьезных проблем, связанных с планированием развития в области энергетики, что определяет социально-экономическое развитие всех стран. Поэтому вопрос о климатической безопасности становится одним из геополитических приоритетов. В этом контексте Российская Федерация (РФ) занимает особое положение, так как примерно 2/3 территории РФ находится в зоне деградирующей вечной мерзлоты, которая является хранилищем органического углерода (ОУ) планетарного масштаба [8, 15].

В данном исследовании кратко изложены основные достижения и проблемы современной климатологии, дополненные избранными результатами 30-летних комплексных авторских исследований и демонстрирующие важную роль геологического фактора – в контексте изменения состояния наземной и подводной мерзлоты: крупнейшего резервуара древнего углерода (С), который включается (мобилизуется) в биогеохимические циклы вследствие деградации мерзлоты в теплые геологические эпохи. Это приводит к нарушению цикла углерода, проявляющемуся в массивированных выбросах CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в атмосферу.

## **1. О роли парниковых газов в климатических изменениях**

Наибольшие климатические изменения происходили на арктическом шельфе России – величайшем шельфе нашей планеты, площадь которого составляет почти 1/3 от всего Северного Ледовитого океана и 1/4 от общей площади шельфа Мирового океана. Если посмотреть на карту Северного полушария, где указаны глубины морей, то, приняв глубину в 100 м как край суши в ледниковые периоды, в первом приближении (без учета вертикальных движений земной коры) можно представить, как далеко к северу смещалась береговая линия в ледниковые периоды (рис. 1).

На рис. 1 показано, что максимальное увеличение температуры поверхности в первой декаде XXI в. зарегистрировано над акваторией и прибрежной зоной самого широкого и мелководного шельфа Мирового океана – морями Восточной Арктики (МВА) и прилегающей частью суши; ~80% подводной мерзлоты Арктики (окрашено в сиреневый цвет) находится в МВА [18–21]. Северный край этой зоны примерно совпадает с бровкой современного шельфа, которая соответствует границам суши, бывшей во время оледенения при понижении уровня примерно на 100–120 м [18–21].

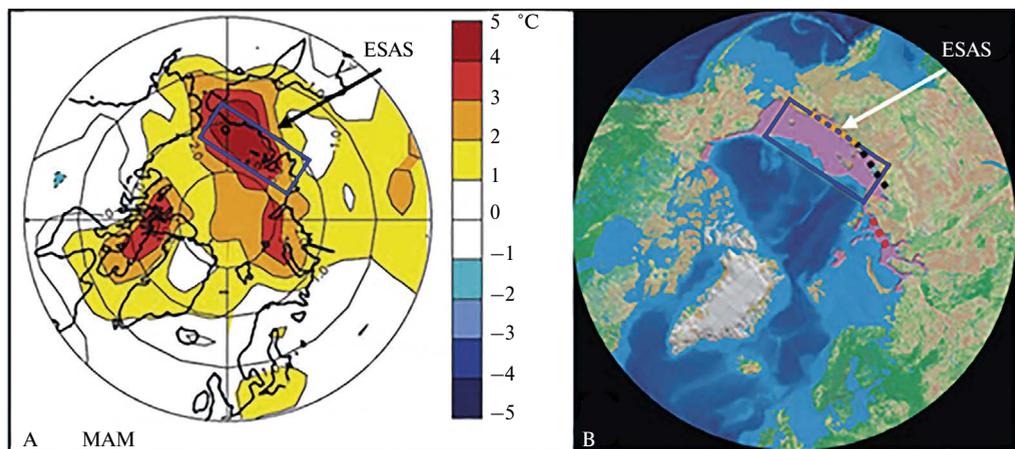


Рис. 1. Аномалии в увеличении температуры воздуха в первой декаде XXI в., зарегистрировано над акваторией МВА (или ESAS: East Siberian Arctic Shelf) и прилегающей части суши (А); распределение подводной мерзлоты Арктики (окрашено в сиреневый цвет) (В). Модифицировано на основе работ [16–20].

**Что же является причиной климатической изменчивости?** Этот вопрос волнует научное сообщество с давних времен. На сегодня сложилось мнение, что «толчком» для смены режимов потепления–охлаждения планеты является изменение интенсивности приходящей солнечной энергии, что обусловлено астрономическими факторами. Однако этой причины явно недостаточно для обеспечения наблюдаемых глобальных изменений: малые изменения в потоках приходящей солнечной энергии играют только роль «триггера-переключателя», а дальше работает пока малопонятный набор положительных и отрицательных обратных связей климатической системы. Начиная с конца XIX в., когда С. Аррениусом и О. Чамберленом было сформулировано понятие «парникового эффекта», обусловленного повышением содержания атмосферной  $\text{CO}_2$ , научным сообществом обсуждается роль увеличения атмосферного  $\text{CO}_2$  в современном глобальном потеплении [8–12, 22–25].

Одной из наиболее актуальных проблем современной геохимии и климатологии является вопрос о закономерностях миграции основных парниковых газов,  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ . Как известно, наиболее подвижным звеном в круговороте углерода является обмен этих газов, которые представляют собой продукты аэробной ( $\text{CO}_2$ ) или анаэробной деструкции ( $\text{CH}_4$ ) органического углерода морского или наземного генезиса. Дисбаланс в глобальном цикле углерода проявляется в первую очередь в изменении атмосферного резервуара (пула)  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ , емкость которого определяется направлением и скоростями обмена с основными обменными резервуарами геосфер (атмосфера, биосфера, гидросфера, литосфера, криосфера).

Вариации содержания атмосферного  $\text{CO}_2$  – основного парникового газа в масштабе  $10^0$ – $10^3$  лет – обычно ассоциируются с изменчивостью обменных процессов между атмосферой, биосферой и океаном, на которые накладывается возрастающая антропогенная эмиссия  $\text{CO}_2$  в атмосферу. В наше время вследствие хозяйственной деятельности (сжигания ископаемого топлива, сведения лесов и т.д.) ежегодно в атмосферу поступает примерно  $8\text{--}9 \times 10^{15}$  г избыточного атмосферного углерода (С) в форме  $\text{CO}_2$ . Около половины антропогенного  $\text{CO}_2$  остается в атмосфере, что и проявляется в усилении парникового эффекта [8–13]. Другая часть антропогенного  $\text{CO}_2$  поглощается Мировым океаном и, по-видимому, расходуется на дополнительный прирост наземной фитомассы (растительности).

Вторым по значимости парниковым газом в атмосфере в настоящее время является  $\text{CH}_4$ , концентрация которого составляет всего около 0,5% от  $\text{CO}_2$ . Всевозрастающий интерес к изучению этого компонента атмосферы объясняется тем, что радиационная активность метана в 20–35 раз выше, а темпы увеличения концентрации примерно в 2–4 раза выше,

чем у  $\text{CO}_2$  [8, 9]. Вклад от увеличения содержания атмосферного  $\text{CH}_4$  в парниковый эффект оценивается примерно в 30% от вклада  $\text{CO}_2$ . Однако имеются экспериментальные и модельные оценки, указывающие, что для 20-летнего диапазона радиационная эффективность молекула-к-молекуле  $\text{CH}_4$  превосходит таковую  $\text{CO}_2$  в 84 раза. Экспериментальные данные показали, что в последние десятилетия прошлого века рост концентрации основных парниковых газов в атмосфере составлял:  $\text{CO}_2$  – 0,4% и  $\text{CH}_4$  – 0,3–1,2% в год, что ассоциировалось с антропогенной деятельностью. Начиная с 2007 г. зарегистрировано увеличение скорости прироста атмосферного метана в высоких широтах Северного полушария, что привело к накоплению дополнительного количества  $\text{CH}_4$  неизвестного генезиса в атмосфере [26]. Возможным дополнительным источником поступления  $\text{CH}_4$  в атмосферу высоких широт Северного полушария является атмосферная эмиссия  $\text{CH}_4$  вследствие деградации наземной и подводной мерзлоты шельфа Северного Ледовитого океана, где органическое вещество накоплено в количестве, намного превышающем атмосферный пул основных парниковых газов [17–21, 23]. Авторы данной работы 30 лет назад предложили гипотезу о возрастающей роли деградации подводной мерзлоты и дестабилизации гигантских запасов арктических шельфовых гидратов метана в качестве основного природного источника  $\text{CH}_4$  в высоких широтах Северного полушария, в дополнение к эмиссии  $\text{CH}_4$  из термокарстовых северных озер [17, 21, 27–32].

В настоящее время научное сообщество все больше склоняется к мнению о том, что климатические изменения, связанные с парниковым эффектом, проявляются не только в повышении среднепланетарной температуры, но и в интенсификации атмосферной циркуляции, особенно в высоких широтах Северного полушария, что приводит к повышению частоты экстремальных гидрометеорологических явлений [33]. Результаты моделирования климата Земли показали, что без включения антропогенных факторов сложно получить правдоподобное объяснение наблюдаемых в прошедшие два столетия изменений температуры. Однако **существует ряд неопределенностей**. Например, нет понимания причин отсутствия ожидаемой положительной связи между похолоданием после предыдущей межледниковой эпохи и изменением содержания атмосферного  $\text{CO}_2$ , которое на протяжении этого времени практически не понижалось и оставалось относительно высоким [25, 34]. Из рассмотрения рис. 2 следует, что на протяжении 8 тыс. лет наблюдалось похолодание примерно на 8 °С, при сохранении высокой концентрации атмосферного  $\text{CO}_2$ , которая была характерна для предыдущих межледниковых эпох (280 ppm). Другой пример: по результатам модельных экспериментов, даже при условии полного прекращения выброса антропогенного  $\text{CO}_2$

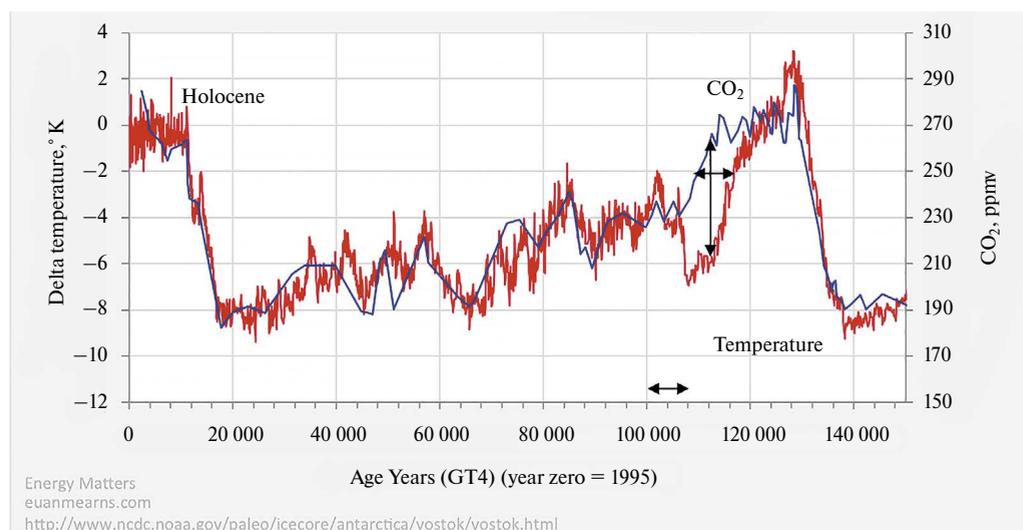


Рис. 2. «Отставание» понижения концентраций  $\text{CO}_2$  от понижения температуры (Т), достигшее 8 тыс. лет в предыдущий межледниковый период [34].

в атмосферу, потепление будет продолжаться не менее 1000 лет [35], что не учитывается в современной теории климата и социально-экономических моделях.

Проведенные в последние десятилетия исследования  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  по данным глубокого бурения ледников показали, что ледниково-межледниковая цикличность проявляется в форме не только физических и химических, но и биологических изменений [10, 11, 22]. При этом вклад собственно вариаций содержания  $\text{CO}_2$  в максимальное изменение глобальной температуры, составляющей  $11^\circ\text{C}$ , считается равным примерно  $0,6^\circ\text{C}$ , а с учетом вариаций  $\text{CH}_4$  –  $0,7^\circ\text{C}$  [3, 5, 24].

Согласно результатам исследований климата плейстоцена относительно небольшие вариации орбитальных сил, вероятно, приводили к изменению общей инсоляции не более чем на 0,6% за последний миллион лет [24]. Этот эффект многократно усиливался из-за воздействия механизма обратных связей в системе атмосфера–океан–биосфера–криолитосфера. Краткий обзор вопросов, связанных с особенностями взаимодействия атмосферного  $\text{CO}_2$ , океана, суши, биоты и климата, приведен в [27, 36, 37]. В этой, пока малопонятной цепи причин и следствий климатических изменений,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и другим радиационно-активным малым воздушным примесям отводится роль триггера [1–8, 24]. В последнее десятилетие XX в. стала обсуждаться еще одна возможная причина климатических изменений, долговременных в масштабе истории человеческой цивилизации и быстрых в геологическом масштабе времени. Это так называемая метановая катастрофа – выделение большого количества метана из газовых гидратов, находящихся в недрах Земли [38–40]. Наиболее реалистичной причиной быстрых климатических изменений была названа дестабилизация мелкозалегающих арктических шельфовых гидратов. Однако до начала проведения комплексных исследований МВА авторским коллективом в конце 1990-х–начале 2000-х, доказавших прогрессирующую деградацию подводной мерзлоты МВА и массивированные выбросы  $\text{CH}_4$  из донных отложений в водную толщу–атмосферу [17, 20, 21, 31], было принято считать, что климатическая опасность от так называемой *метановой бомбы* отсутствует, по крайней мере на ближайшие сотни лет – по причине квазистабильного состояния системы подводная мерзлота–гидраты [8, 9, 39].

Сильным аргументом в поддержку климатической значимости парникового эффекта являются результаты сравнения анализов датированных образцов воздушных включений в ледяных колонках льда Антарктиды и Гренландии. Оказалось, что коэффициент корреляции между средней температурой и содержанием  $\text{CO}_2$  и метана ( $\text{CH}_4$ ) – второго по значимости парникового газа, очень высок (0,7–0,8) на протяжении последних сотен тысяч лет [2, 41], несмотря на отсутствие синфазного изменения концентрации  $\text{CO}_2$  и климатической кривой на протяжении многих тысяч лет (рис. 2). Исходя из выявленной климатической цикличности в распределении изотопной температуры и состава атмосферы и без учета влияния ноосферы (антропоцена), наше время (наступившее после оптимума голоцена, 5–6 тыс. лет назад) должно было стать стадией глобального похолодания. Но вместо этого потепление продолжилось. Предполагается, что антропогенный тренд атмосферного  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  накладывается на естественную климатическую изменчивость в содержании этих газов, характерную для межледниковых эпох, что приводит к нарушению природного цикла углерода и проявляется в виде глобального потепления климата. Однако это предположение остается дискуссионным, так как нет свидетельств значимости антропогенного фактора 5–6 тыс. лет назад. Нам известны только две работы, которые дают основания согласиться с тем, что начиная с 600 г. до н. э. антропогенная эмиссия  $\text{CH}_4$  уже была значимой [42, 43].

Результаты сравнительного анализа изменчивости содержания  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в атмосфере полярных регионов (прямые измерения в воздушных включениях древних кернов льда в Гренландии и Антарктиде) за последние 130 тыс. лет показали, что в ледниковые эпохи концентрации были примерно в 2 раза ниже, чем в межледниковые эпохи [1–6, 44–46]. Причем в межледниковые эпохи наблюдались различия между полюсами, сходные с современным распределением – с наличием максимума  $\text{CO}_2$  (примерно на 1–2%) и  $\text{CH}_4$  (8–10%) над Гренландией (Арктикой) по сравнению с Антарктидой (рис. 3). Было показано, что начиная с максимума последнего оледенения (18 тыс. лет назад) до нашего времени средняя температура воздуха на Земле повысилась примерно на  $5^\circ\text{C}$ , а в Гренландии – на  $20^\circ\text{C}$  [47]. Это привело к значительному потеплению и усилению термокарста в мерзлых породах

«затопляемого шельфа» во время трансгрессии моря [48–49], что вызвало формирование множества термокарстовых озер с глубокими и сквозными таликами, которые стали основой для образования газопроводящих каналов разгрузки пузырькового  $\text{CH}_4$  на современном шельфе МВА. Важно, что в ледниковые эпохи среднегодовая температура воздуха была примерно на  $20^\circ\text{C}$  ниже, а также уровень моря был на 100–120 м ниже, чем в настоящее время, и градиенты в распределении  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  между полюсами отсутствовали [45–46], что позволило сформулировать гипотезу об определяющей роли состояния подводной мерзлоты как основного регионального источника  $\text{CH}_4$  в теплые межледниковые эпохи [17, 21].

Данные глобального атмосферного мониторинга показали, что в наше время планетарный максимум в распределении  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  также находится не над умеренными широтами (в полосе  $20\text{--}60^\circ$  с. ш., где сжигается свыше 90% ископаемого топлива), а над Арктикой/Субарктикой [17, 20, 21, 31, 32], где антропогенная активность относительно невелика (менее 5% добываемого ископаемого топлива сжигается между  $60^\circ$  и  $70^\circ$  с. ш.). Это значит, что в межледниковые периоды в северных широтах существует мощный природный источник  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ , и это проявляется в существовании межполюсного градиента в меридиональном распределении  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ : в увеличении среднего содержания атмосферного  $\text{CO}_2$  примерно на 3  $\mu\text{атм}$  (около 1% от средней величины) и  $\text{CH}_4$  на 0,15–0,17  $\mu\text{атм}$  (8–10% от средней величины) над Арктикой по сравнению с Антарктикой (рис. 3).

В связи с этим особую актуальность приобретает вопрос о механизме формирования планетарного максимума  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  в атмосфере, что может свидетельствовать о важной роли Северного Ледовитого океана (далее – СЛО), окруженного наземной и подводной мерзлотой, в современных климатических изменениях, которые в наиболее явном виде проявляются в Арктике. В последние десятилетия наибольшее потепление зарегистрировано над Аляской и в российском секторе Восточной Арктики (МВА), где находится примерно 80% подводной мерзлоты СЛО (рис. 1), деградация которой приводит к дестабилизации гигантского пула гидратов и массивованным выбросам  $\text{CH}_4$  [17].

Впервые гипотеза о климатической роли геологического фактора – массивованной эмиссии атмосферного метана в результате деградации мерзлоты и развитии наземного термокарста – северных озер была сформулирована в 1990-х [27–30, 36, 37] и развита авторами в начале 2000-х – на основе открытия массивованной разгрузки  $\text{CH}_4$  из гигантских запасов донных отложений МВА в атмосферу – вследствие прогрессирующей деградации подводной мерзлоты [17, 20, 21, 31, 32]. Теоретические основы этой гипотезы были заложены в работах академика И. С. Грамберга и В. А. Соловьева с коллегами из ВНИИОкеангеологии, группой профессора Н. Н. Романовского из МГУ [18, 19, 48, 49].

В настоящее время в области исследования газообразных компонентов океанического углеродного цикла сложилась парадоксальная ситуация: ни у кого не вызывает сомнения тот факт, что СЛО и Арктический регион в целом наиболее чувствительны к глобальным изме-

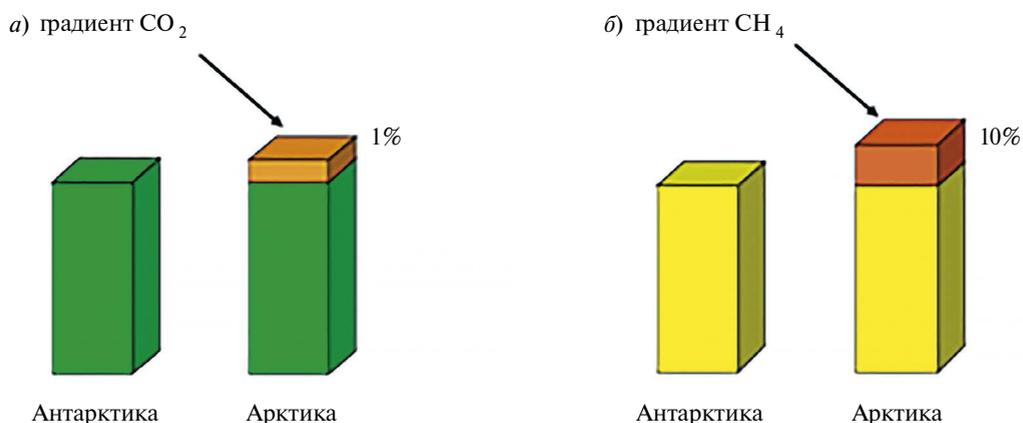


Рис. 3. Межполюсный градиент концентраций: а – атмосферного  $\text{CO}_2$ , б – атмосферного  $\text{CH}_4$ .

нениям [8, 9], но в то же время исследования по миграции и динамике продуктов аэробного ( $\text{CO}_2$ ) или анаэробного ( $\text{CH}_4$ ) разложения ОВ в СЛО и их обмена с атмосферой практически игнорируются [50, 51]. Более того, СЛО в работе [51] даже не упоминается как часть Мирового океана. То есть мировое сообщество приходит к консенсусу о том, что глобальное потепление обусловлено парниковым эффектом, который в наиболее явном виде проявляется в Арктике, однако стоки и источники парниковых газов в морях СЛО до последнего времени были мало изучены. Более того, «наиболее репрезентативные» модели эволюции климата, обобщенные в [8, 9, 14] и основанные на предположении, что к концу 21-го века содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере удвоится за счет антропогенной деятельности, не учитывают возможное увеличение содержания  $\text{CH}_4$ , вклад которого в парниковый эффект может стать соизмеримым и даже более значимым (вследствие деградации морской подводной мерзлоты и газгидратов, усиления развития субэврального и подводного термокарста, эволюции озер и подозерных/русловых таликов), чем вклад антропогенного  $\text{CO}_2$ , при условии, что глобальное потепление будет происходить и в ближайшем будущем [9–11, 14].

**Основной целью настоящей работы** является выявление характерных особенностей изменчивости углеродного цикла в системе атмосфера–океан–суша, которые приводят к нарушению баланса между обменными резервуарами углерода и изменяют результирующие потоки основных парниковых газов. Поскольку в наше время наиболее значительное потепление и максимальные концентрации  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  в атмосфере наблюдаются в высоких широтах Северного полушария [17, 20, 21, 31, 32], эта работа посвящена выявлению и обсуждению основных процессов, связывающих изменения на шельфе СЛО и окружающей его суше с характерными особенностями углеродного цикла, динамикой  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  и климатом. На основе оригинальных и литературных данных показано, что СЛО, окруженный обширной деградирующей наземной мерзлотой, является интегратором изменений, происходящих в водосборах арктических рек и на побережье. Установлено, что среди аллохтонных источников органического вещества (ОВ) важнейшими для биогеохимического режима являются речной сток (растворенное ОВ), а также эрозия берегов (взвешенное ОВ), сложенных ледовым комплексом. Показано, что окисление эрозионного взвешенного ОВ и ОВ терригенных осадков обширного шельфа МВА являются источником поступления  $\text{CO}_2$  в водную толщу и в атмосферу. Обсуждается климатическая роль деградирующей подводной мерзлоты. Она перестает быть газонепроницаемой крышкой для огромного пула  $\text{CH}_4$  в форме гидратов, природного газа, и собственно ОВ донных осадков, которые при вовлечении в современный биогеохимический цикл могут трансформироваться в  $\text{CH}_4$  [20, 54, 55]. Показано, что основным источником притока  $\text{CH}_4$  в водную толщу–атмосферу является пузырьковый перенос, позволяющий избежать окисления в слое сульфатредукции в донных осадках и в воде [17, 52, 53, 56, 57].

### **1.1. Характерные особенности цикла органического углерода в арктических морях России и его несбалансированность**

Более 40 лет назад было показано, что главной и наиболее резко выраженной чертой распределения процентных концентраций и абсолютных масс ОВ в Мировом океане является циркумконтинентальная зональность, выражающаяся в уменьшении абсолютных масс ОВ на два порядка при переходе от терригенных осадков подводных окраин к красным глубоководным глинам [58]. В результате в периферических районах океана, охватывающих шельфы и континентальные склоны, захороняется >80% ОВ всего Мирового океана. В СЛО (где площадь шельфа составляет половину от общей площади океана) это привело к формированию мощного чехла осадочных отложений на шельфе, который называют мегапулом ОВ планетарного масштаба [58–60].

На протяжении последнего ледниково-межледникового цикла наибольшие в СЛО изменения происходили на арктическом шельфе России – величайшем шельфе нашей планеты, площадь которого (4,66 млн км<sup>2</sup>) составляет почти 1/3 от площади всего Северного Ледовитого океана и 1/4 от общей площади шельфа Мирового океана. Поэтому биогеохимические процессы, определяющие цикл углерода в этих морях, в значительной степени определяют

общий характер функционирования всей экосистемы СЛО. Если посмотреть на карту арктического шельфа (рис. 1, В), где указаны глубины морей, то, приняв глубину в 100–120 м как край суши в ледниковые периоды [17, 21, 48, 49], в первом приближении (без учета вертикальных движений земной коры) можно представить, как далеко (до 800 км) к северу смещалась береговая линия в ледниковые периоды: Евразия и Америка соединялись в один континент через Берингов мост (на сегодня это мелководный пролив), арктические острова были частью континентов, где еще совсем недавно (последние находки костей мамонтов на о-ве Врангеля датируются возрастом всего 3–5 тыс. лет) паслись стада мамонтов, бизонов и лошадей, на которых охотились наши предки. В это время среднегодовая температура воздуха была на 8–10 °С ниже, чем в наше время, что приводило к формированию мощной мерзлоты, затопленной океаном во время последней трансгрессии [17, 21, 48, 49]. До последнего времени было распространено мнение о том, что подводная мерзлота подвергается термическим изменениям, но остается стабильной, т.е. слабо подверженной донной эрозии и вовлечению органического углерода (ОУ) мерзлоты, которая остается непроницаемой для миграции газов. Поэтому роль подводной мерзлоты СЛО в современных биогеохимических процессах ранее не обсуждалась.

В работе Е. А. Романкевича и А. А. Ветрова [59], обобщающей основные данные, накопленные до 2000 г., показано, что цикл углерода в арктических морях России (АМР) является важной частью глобального углеродного цикла. Действие циркумконтинентального закона размещения потоков и масс углерода в океане и накопления углерода на дне еще более усиливается в АМР, по мнению авторов, из-за мощного поступления биогенных элементов и органического вещества со стоком сибирских рек, большой роли маргинальных биогеохимических фильтров и ледовитого литогенеза в целом. Согласно оценкам, выполненным Романкевичем и Ветровым, общий суммарный поток органического углерода в АМР, достигающий дна, составляет около 83 Тг-С в год, из которых около 74 Тг-С в год (или 89% от поступившего на дно ОУ) минерализуется на дне. Из этого следует, что в донных отложениях арктических морей России откладывается в осадок в целом около 9 Тг-С в год, т.е. примерно столько же, сколько в пелагиали всего Мирового океана. Столь высокая несбалансированность цикла углерода в морях Российской Арктики является одной из наиболее ярких особенностей полярного литогенеза и состава захороняющегося органического вещества [59, 60].

Суммируя оценки баланса органического углерода в морях Российской Арктики, осредненные для голоцена Р. Штейном и Р. Макдональдом [62], получаем величину, равную примерно 7 Тг-С в год. Превышение количества современного ОУ, захороненного на шельфе АМР, 9 Тг-С в год [60], относительно среднеголоценового значения на 2 Тг-С в год может быть объяснено увеличением приходной части отложенного органического углерода в условиях глобального потепления (например, ростом скорости береговой эрозии, твердого и жидкого расхода рек, ростом первичной продукции). Принимая соотношение баланса масс осажденного и минерализованного ОУ в соответствии с расчетами по Романкевичу и Ветрову [60], получается, что в наше время примерно на 33,2 Тг-С больше поступает в донные отложения АМР по сравнению с величиной, осредненной для голоцена.

В обобщающих работах [58–60, 62] показано, что роль газообразных компонентов ( $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ ) в цикле углерода в арктических морях пока не может быть оценена по причине отсутствия данных. Этот пробел был восполнен работами лаборатории арктических исследований Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН), проведенными в 1999–2022 гг. совместно с группой академика Л.И. Лобковского из Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН), другими институтами РАН и зарубежными коллегами из университетов США, Швеции, Италии, Норвегии, Великобритании, Нидерландов. Основным зарубежным партнером является Шведская Королевская академия наук, представленная группами академиков Орьяна Густафсона и Мартина Якобсона из Стокгольмского университета и Лейфом Андерсоном из Гетеборгского университета. Данные были получены в 52-летних и зимних экспедициях в моря Российской Арктики, в основном в Восточно-Сибирском море и море Лаптевых (рис. 4). В 2018–2022 гг. комплексные исследования были также выполнены в Карском море, где проводились аналогичные исследования.

Результаты исследований были опубликованы в более чем 300 статьях в известных мировых изданиях, включая 19 статей в группе журналов *Science*, *Nature*, что свидетельствует о фундаментальном характере работ и позволило достичь нашей межрегиональной группе лидерских позиций в области исследования биогеохимических и климатических последствий деградации мерзлоты в контексте количественной оценки транспорта и трансформации терригенного вещества в море с речным стоком и в результате береговой эрозии и потоков основных парниковых газов в системе суша–шельф–атмосфера. Это дало возможность заложить фундаментальные научные основы климатического и экологического мониторинга акватории Северного морского пути, которые кратко изложены ниже.

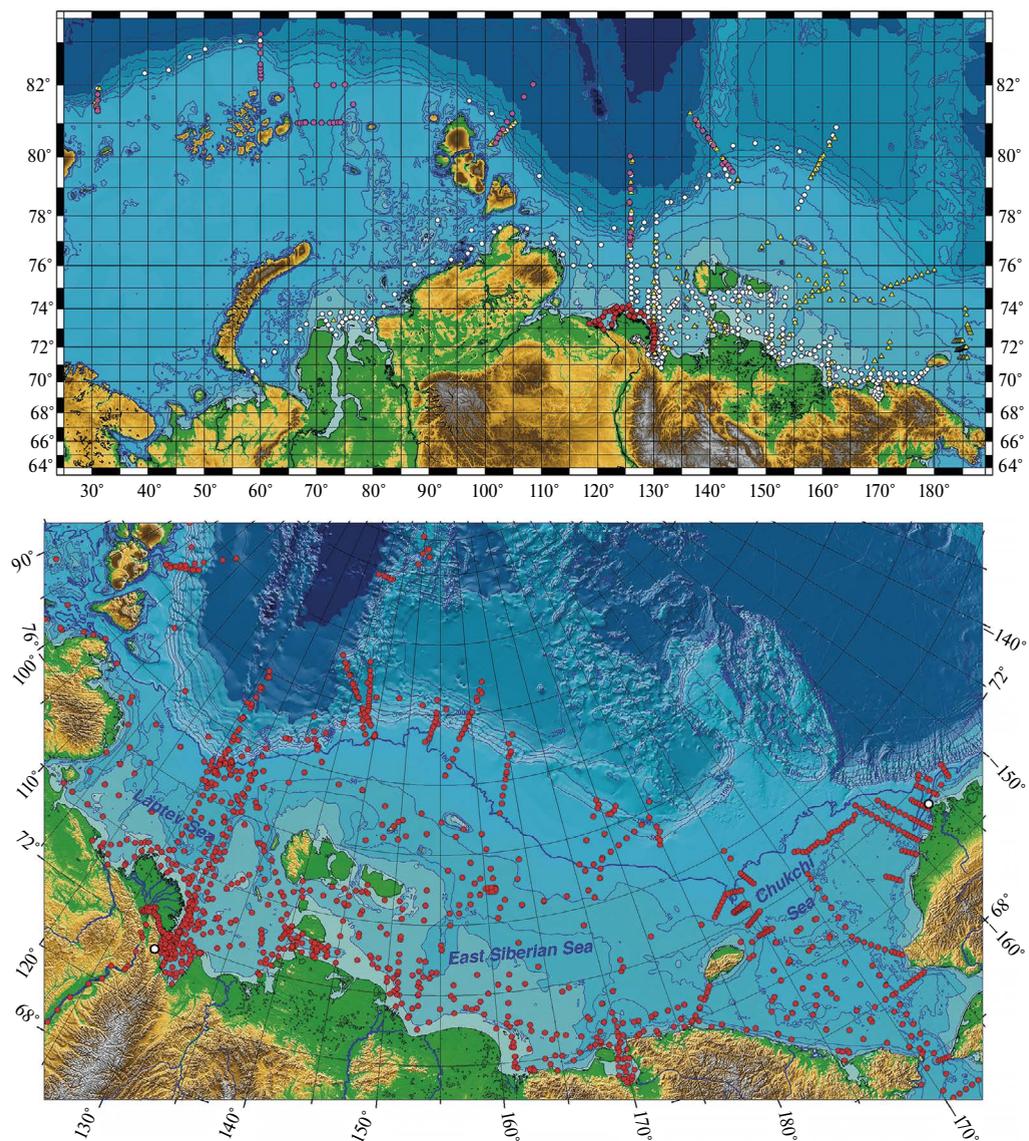


Рис. 4. Район исследований и положение океанографических станций в арктических морях России, выполненные в августе–сентябре 2003–2009 гг. (сверху), снизу – карта комплексных станций в МВА, где проводились исследования динамики компонентов углеродного цикла, включая  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ , и их обмена с атмосферой (1996, 2010–2020 гг.).

## 1.2. Обмен двуокиси углерода как недоучтенный элемент баланса и круговорота углерода в российском секторе Арктики

### 1.2.1. Гетерогенность процессов на арктическом шельфе

Как известно, наиболее подвижное звено в круговороте углерода – обмен  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ , которые являются продуктами аэробной ( $\text{CO}_2$ ) или анаэробной ( $\text{CH}_4$ ) деструкции органического углерода морского или наземного генезиса. Исходя из того, что примерно 89% выпавшего в осадок арктических морей России органического углерода минерализуется на дне [59, 60], можно прийти к выводу о том, что динамика карбонатной системы играет важную роль в балансе углерода опосредованно через потоки в системе дно–вода–атмосфера и изменение общего содержания неорганического углерода в водной толще. Как было показано ранее на примере субарктического Охотского моря, из осадков в воду после минерализации (в основном в форме бикарбонат-иона и растворенного  $\text{CO}_2$ ) возвращается примерно 1/3 достигшего дна органического углерода [63]. В арктических морях России, за исключением глубокой части Карского моря, наблюдается двухслойная структура водных масс, причем нижний слой, отделенный от поверхностных вод скачком плотности (пикноклином), сильно перенасыщен  $\text{CO}_2$  относительно концентраций равновесных с атмосферой – в результате минерализации ОУ в донных осадках и взвешенного ОУ в водной толще [64–69]. Это значит, что во время осенне-зимней конвекции происходит перемешивание МВА до глубин 45–60 м, что приводит к перенасыщению поверхностных вод по  $\text{CO}_2$  относительно атмосферы. В результате даже такое высокопродуктивное море, как Чукотское [64], может стать в годовом цикле нетто-источником  $\text{CO}_2$  в атмосферу [68]. К сожалению, все оценки баланса обмена  $\text{CO}_2$  в арктических морях выполняются только для летнего сезона, что позволяет рассматривать СЛО в качестве стока избыточного (антропогенного) атмосферного  $\text{CO}_2$ . Так, в работе Бейтса [69] оценки летнего поглощения атмосферного  $\text{CO}_2$ , полученные для высокопродуктивного Чукотского моря, экстраполировались на всю акваторию СЛО, что привело к ложным выводам о роли СЛО как значимого стока антропогенного  $\text{CO}_2$ . Отметим, что в летний сезон также происходит вентиляция парниковых газов в атмосферу за счет сильных штормов во время минимального распространения плавучего льда, вызывающих перемешивание водной толщи до дна в мелководной сильностратифицированной части моря Лаптевых. Это приводит к эффективной вентиляции вод, сильно перенасыщенных растворенным  $\text{CH}_4$  [53].

Ниже будет показано, на основе многолетних высокопрецизионных измерений, что даже в летний период открытой от льда воды различные акватории морей Российской Арктики демонстрируют разнонаправленные потоки  $\text{CO}_2$ , что обусловлено динамическим изменением границ между гетеротрофными (перенасыщенными по  $\text{CO}_2$ ) и автотрофными (недонасыщенными по  $\text{CO}_2$ ) биогеохимическими провинциями, функционирование которых определяется сложным взаимодействием продукционно-деструкционных процессов, наложенных на биогеохимические эффекты, обусловленные характерными особенностями транспорта и трансформации эрозионного углерода и речных вод на мелководном шельфе МВА [70–74].

Известно, что биогенный фактор доминирует в изыпании растворенного  $\text{CO}_2$  в морях Арктики, примыкающих к Северной Атлантике (Баренцево, Гренландское) и Тихому океану (Чукотское), для которых характерна высокая продуктивность, обусловленная высокой прозрачностью вод и относительно высокими концентрациями биогенных элементов [59, 70–75]. Однако на обширном и мелководном шельфе Восточно-Сибирского моря и моря Лаптевых (рис. 4) мощный речной сток и латеральный поток углерода наземного происхождения определяет динамику карбонатной системы и цикла углерода в целом, так как относительно невысокая интенсивность продукционных процессов, обнаруженная в это же время года (сентябрь, максимум первичной продукции – 432 мг-С/м<sup>3</sup>/день и биомассы мезозоопланктона – 890 мг/м<sup>2</sup>) [76], не проявляется в явном виде в изыпании растворенного  $\text{CO}_2$ , утилизируемого при фотосинтезе. Более того, воды МВА летом и зимой характеризуются высокими значениями  $p\text{CO}_2$  и являются источником поступления  $\text{CO}_2$  в атмосферу [65, 66, 71]. Основным фактором, лимитирующим фотосинтез в МВА,

представляется низкая прозрачность воды, которая определяется высоким содержанием гуминовых кислот (интегральные величины CDOM, Colored Dissolved Organic Matter, измеряются с помощью оптических датчиков [74, 77]) и взвешенного терригенного вещества [65–68].

Гетерогенность процессов на арктическом шельфе и в прилегающей части суши [59, 60] приводит к высокой изменчивости величин потоков  $\text{CO}_2$  во времени и пространстве [71–76]. Более того, направление результирующего потока углерода через поверхность раздела воздух–вода (лед) непостоянно во времени и пространстве. Поэтому распространенное допущение о квазипостоянстве среднегодового потока  $\text{CO}_2$  в океан приводит к большим ошибкам и неопределенностям в расчете элементов потока и баланса масс углерода в системе атмосфера–суша–шельф в Арктике.

### 1.2.2. Моря Восточной Арктики как сток атмосферного $\text{CO}_2$

Начиная с 1996 г. исследовалась пространственно-временная динамика элементов карбонатной системы в Чукотском море и обмена  $\text{CO}_2$  в системе атмосфера–океан [64]. Было показано, что акватория Чукотского моря является одним из самых значимых в масштабах СЛО регионов стока атмосферного  $\text{CO}_2$ ; только за сентябрь в среднем поглощается  $\sim 2$  Тг С- $\text{CO}_2$ , что количественно согласуется с оценками С. Калтина и Л. Андерсона [78]. Можно предположить, что за время безледного периода (не менее 2 месяцев) только Чукотское море поглощает около 4–5 Тг С- $\text{CO}_2$ , что в какой-то мере компенсирует эвaziю  $\text{CO}_2$  из прибрежной зоны МВА и Карского моря. Тем не менее вопрос о результирующем направлении потока в системе атмосфера–океан в морях Российской Арктики и Северного Ледовитого океана в целом остается открытым. Далее рассмотрим кратко роль морского льда в региональном балансе  $\text{CO}_2$ .

До недавнего времени существовало мнение о том, что морской лед является непроницаемым барьером для переноса  $\text{CO}_2$  и других газов. Однако на основе экспериментальных исследований Госинка и Келли [79] было сделано предположение о том, что морской лед может играть значимую роль в региональном балансе  $\text{CO}_2$  (сток летом и источник зимой). Наши экспериментальные работы, выполненные на льду Чукотского моря ( $\sim 72^\circ$  с. ш., около мыса Барроу) на основе использования прямых методов измерения потока микрометеорологическим и камерно-динамическим методом, показали, что по крайней мере в летний сезон морской лед проницаем и подледная вода является значимым стоком для атмосферного  $\text{CO}_2$  [68]. Величина турбулентного потока  $\text{CO}_2$  ( $\text{FCO}_2$ ) была направлена вниз и изменялась в пределах (0,01–0,02 мг  $\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{c}$ ), что близко к величинам потоков, измеренным в северной части примыкающей тундры. Прямыми измерениями  $\text{pCO}_2$  в ледовых рассолах и в подледной воде выявлены низкие значения, не более 130–150 натм. Камерно-динамические измерения показали резкое уменьшение равновесной концентрации  $\text{CO}_2$  над углубляющимися снежницами, особенно в последние дни наблюдений, когда среднесуточная температура воздуха выросла до  $0^\circ\text{C}$  и глубина снежниц увеличилась до 20 см. Эти результаты согласуются с увеличением интенсивности проникающей солнечной радиации в снежницах и подо льдом. В масштабе СЛО летом через снежницы возможно поглощение до 40 Тг С- $\text{CO}_2$  (1 Тг =  $10^{12}$  г С- $\text{CO}_2$ ). Это поглощение может быть в какой-то мере скомпенсировано зимним потоком в атмосферу через лед, возможность которого была показана на ограниченном количестве данных [80].

Зимние подледные измерения  $\text{pCO}_2$  *in situ* показали резкое понижение значений  $\text{pCO}_2$  с началом полярного рассвета, что дает основание предположить начало раннего фотосинтеза подо льдом [72]. Эта гипотеза согласуется с перенасыщением подледной воды растворенным кислородом, обнаруженным подо льдом моря Лаптевых в конце февраля–начале марта (неопубликованные данные Тиксинского управления по гидрометеорологии), а также подледным перенасыщением воды растворенным кислородом в Амурском заливе Японского моря [81], где ранее было обнаружено подледное цветение диатомовых водорослей. При полном подтверждении этой гипотезы роль СЛО как стока  $\text{CO}_2$  из атмосферы должна быть пересмотрена.

### 1.2.3. Моря Восточной Арктики как источник атмосферного $\text{CO}_2$

Обнаружение аномально высоких значений  $\text{pCO}_2$  в мелководных районах моря Лаптевых стало основой для создания нового направления исследований биогеохимических последствий деградации берегового ледового комплекса (рис. 5), обогащенного древним ОВ [28, 29, 67]. Согласно многолетним данным (1994–2020 гг.), наиболее высокие значения  $\text{pCO}_2$  в МВА обнаруживаются вблизи сильно эродирующих побережий, сложенных ледовым комплексом [16, 28, 29, 67], что хорошо иллюстрируется на рис. 6, из которого видно, что сопряженные аномалии  $\text{pCO}_2$ , степени насыщения кислородом и суммы нитриты–нитраты наблюдаются в прибрежной зоне, где скорости эрозии берегов максимальны [16].

Мы полагаем, что древнее ОВ, захороненное в мерзлоте, биоактивно и способно быстро вовлекаться в современный биогеохимический цикл, в отличие отрастворенного ОВ, которое окисляется намного медленнее [82]. Подтверждением этому служат данные, полученные на осушке у быстро эродирующего ледового комплекса в прол. Дмитрия Лаптева [76]. Камерно-динамические измерения потоков  $\text{CO}_2$  на пляже и в море показали высокие скорости окисления древнего ОУ до  $\text{CO}_2$  на суше и в море. Суммарный летний поток  $\text{CO}_2$ , обусловленный окислением эрозионного ОУ, превысил 20 млн т в год [83], что более чем в 3 раза вышеразпространенных оценок экспорта эрозионного ОУ на шельф МВА [59]. Это принципиально изменило понимание биогеохимической и климатической роли последствий береговой эрозии, которая оказалась во много раз более значимая, чем вынос взвешенного ОУ и растворенного  $\text{CO}_2$  со стоком р. Лена [84]. В работе [73] было показано, что именно окисление эрозионного ОУ до  $\text{CO}_2$  является основной причиной экстремальной асидификации (подкисления) вод западной гетеротрофной провинции МВА, где экологические и биогеохимические особенности определяются низкой продуктивностью вод и перенасыщением вод по  $\text{CO}_2$  относительно атмосферы.



Рис. 5. Ледовый комплекс о-ва Муостах, Северный мыс, август 2004 г. (фото И.П. Семилетова).

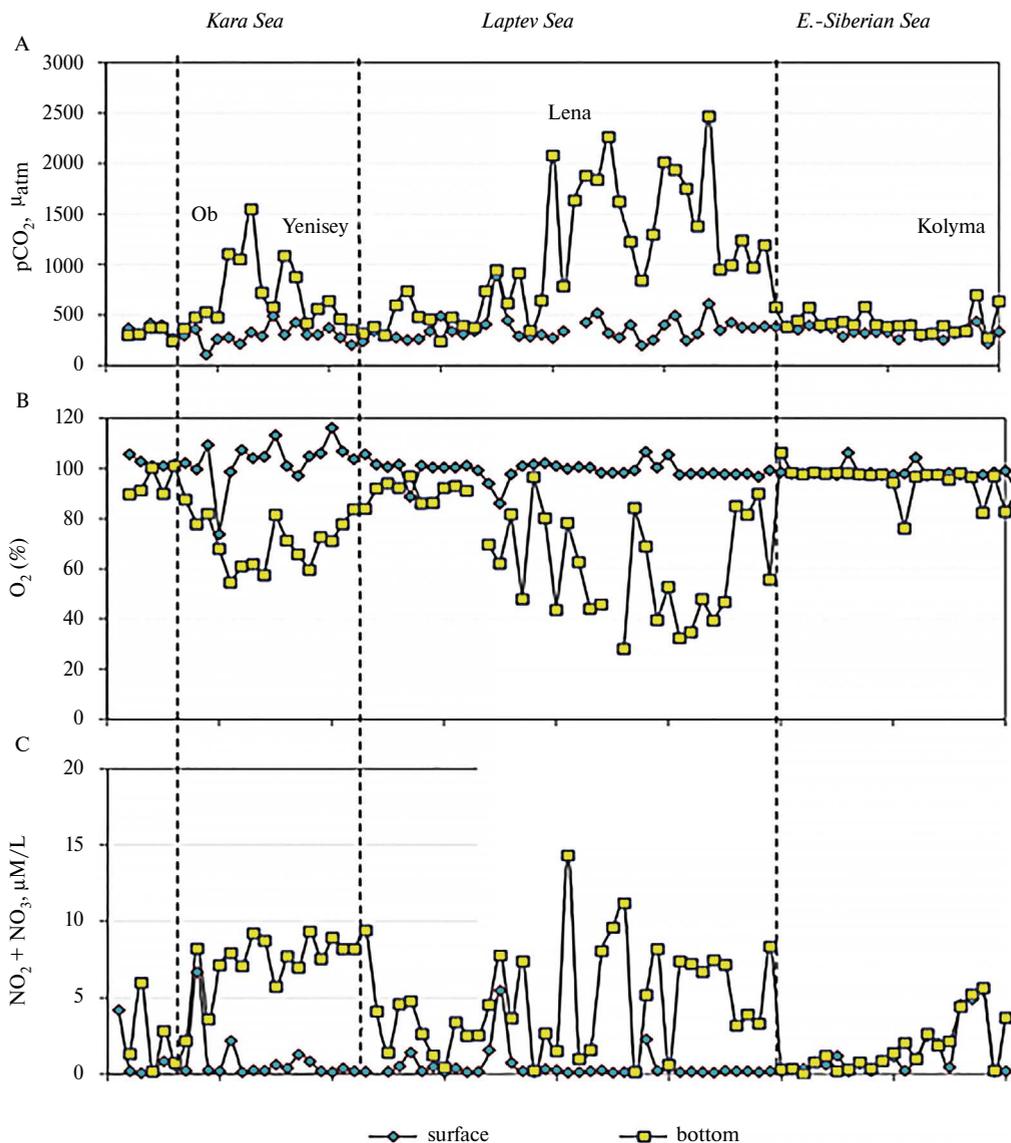


Рис. 6. Распределение величин  $p\text{CO}_2$  (A), степени насыщения растворенным  $\text{O}_2$  (B), суммы нитриты–нитраты (C) в морях Российской Арктики по Северному морскому пути (по маршруту движения в трансарктической экспедиции на борту ГС «Николай Коломейцев» в сентябре 2000 г.).

Молекулярный анализ органической фракции донных отложений показал, что на акватории Северного морского пути при движении с запада на восток возрастал (от 32 до 42%) вклад фурфуролов (furfurals), которые характеризуют *свежесть* (freshness) – малую степень декомпозиции ОВ [85]. В то же время по направлению с запада (приустьевая зона Оби и Енисея) на восток (устье Индигирки) относительный вклад нитрилов (nitriles) снижался, что в сочетании с увеличением относительного вклада фурфуролов (от 32 до 42%), свидетельствуют о том, что в Восточной Арктике древнее ОВ способно к дальнейшей деструкции в большей степени, чем в Западной Арктике (бассейн Карского моря). Другими геохимическими индикаторами, подтверждающими правильность нашей гипотезы о важной роли разрушения берегов арктических морей в биогеохимии арктических морей, являются: определяющий вклад наземного органического вещества (CTOM – contribution of terrestrial organic matter) в формировании донных осадков (до 100% в прол. Дмитрия Лаптева) и «тер-

ригенное» C/N отношение в составе органического вещества в донных отложениях [16, 67, 84, 86]. Аномально высокие значения  $p\text{CO}_2$  и биогенных элементов в прибрежных водах вблизи быстро эродирующих береговых ледовых комплексов и в придонных водах в районах аккумуляции наземного органического вещества также свидетельствуют об определяющей роли эрозионного ОУ в биогидрохимии исследуемого района [76]. Так, на рис. 6 можно увидеть, что аномально высокие значения  $p\text{CO}_2$  могут достигать 2500, а на некоторых станциях 3000–4000  $\mu\text{атм}$  от поверхности до дна [67], что намного выше известных аномалий, когда-либо обнаруженных в Мировом океане.

Как было показано выше, основным источником  $\text{CO}_2$  эрозионного генезиса в МВА являются породы ледового комплекса (рис. 5), обогащенные ОВ, и широко распространенные в Якутии. На севере Якутии протяженность морских берегов с такими породами составляет около 2000 км [59, 83], поэтому процесс разрушения ледового комплекса, содержащего огромные запасы иммобилизованного ОВ, и его окисление до  $\text{CO}_2$  играет важную роль в региональном цикле углерода и экстремальной асидификации вод МВА – важнейшего экологического параметра на акватории СМП.

Карта потоков  $\text{CO}_2$  показывает мозаичную картину пространственного распределения, хотя значения эвазии  $\text{CO}_2$  в 2004 г. существенно превосходят соответствующие величины в 2003 г., что объясняется более высокими значениями  $\Delta p\text{CO}_2$  и скорости ветра в 2004 г. [66, 87]. Средние значения потока  $\text{CO}_2$  в 2004 г. составили 10,4  $\text{мМ/м}^2/\text{день}$  и были на порядок выше, чем в 2003 г. (1,0  $\text{мМ/м}^2/\text{день}$ ). Если предположить, что мелководный шельф МВА и Карского моря (площадь  $\sim 3$  млн  $\text{км}^2$ ) в течение 50 сут (безледный период) является источником  $\text{CO}_2$  в атмосферу (эвазия  $\text{CO}_2 = 1$   $\text{мМ/м}^2/\text{день}$ ), то минимальная оценка летней эмиссии  $\text{CO}_2$  в атмосферу составит  $\sim 4,2$  Тг С- $\text{CO}_2$ , а максимальная оценка  $\sim 42$  Тг С- $\text{CO}_2$ , что соизмеримо с оценкой летнего поглощения атмосферного  $\text{CO}_2$  через снежицы всего СЛО [68].

Согласно результатам исследований, выполненных в 2008 г. в сотрудничестве с Гетеборгским университетом, предполагается, что летне-осенняя эмиссия  $\text{CO}_2$  в атмосферу из МВА (без учета Чукотского моря) составляет примерно 10 Тг С- $\text{CO}_2$  [88, 89], что по порядку величин близко к количеству всего ОУ, которое ежегодно захороняется в морях Российской Арктики [59] и составляет примерно 1/3 от величины, характеризующей увеличение поступления в донные отложения АМР по сравнению с величиной, осредненной для голоцена.

Из вышеизложенного следует, что центральная часть СЛО, скорее всего, является нетто-стоком для атмосферного  $\text{CO}_2$  [65, 69, 72, 75]. Однако вопрос о роли арктического шельфа в общем балансе  $\text{CO}_2$  остается открытым. Основные неопределенности связаны с увеличением роли эмитента  $\text{CO}_2$  в атмосферу – гетеротрофной провинции МВА, граница которой сдвигается на восток [70–73]. Фундаментальным вопросом остается недооценка роли вентилиации придонных (на мелком шельфе) и глубинных, насыщенных  $\text{CO}_2$  вод во время сильных штормов и осенне-зимней конвекции [68, 83–90]. По аналогии с документированной эмиссией метана в атмосферу вследствие вентилиации вод, обусловленной сильными штормами [53], можно прийти к предварительному выводу о том, что абсорбционная роль СЛО в контексте поглощения атмосферного  $\text{CO}_2$ , выполненного на основе крайне ограниченных данных, сильно завышена, и должна быть пересмотрена по мере накопления новых данных.

### **1.3. Обмен метана как недоучтенный элемент баланса и круговорота углерода в российском секторе Арктики**

#### **1.3.1. Климатические изменения на шельфе МВА**

До недавнего времени предполагалось, что в формировании арктического максимума  $\text{CH}_4$  участвуют исключительно наземные северные экосистемы [27–30, 37], в то время как вклад арктических морских экосистем оценивался как незначительный. В то же время известно, что шельф МВА характеризуется уникальными литологическими и седиментологическими условиями, создающими благоприятные условия для продукции и накопления

CH<sub>4</sub> в донных отложениях [18, 19]. С другой стороны, являясь исключительно мелководным, шельф МВА в холодные климатические эпохи обнажается и становится частью наземных северных экосистем [17, 20, 21, 48, 49]. В результате глубокого промерзания на шельфе–суше формируются многолетние мерзлые толщи (мерзлота), которые не только препятствуют восходящему движению CH<sub>4</sub> из донных отложений, но и ограничивают современную продукцию CH<sub>4</sub> областями преимущественного накопления осадков (так называемые депо-центры), а также областями формирования таликов в структуре мерзлоты. При последующей смене холодных климатических периодов на теплые и росте уровня океана происходит обратное затопление обнаженной части МВА, вызывающее изменение термического режима мерзлоты и ее постепенную деградацию [17]. При этом термический режим погруженной мерзлоты, которая становится подводной, изменяется гораздо более существенно по сравнению с наземной мерзлотой, поскольку среднегодовая температура морской воды теплее температуры воздуха холодных эпох более чем на 15–17 °С, в то время как разница температуры холодных и теплых эпох составляет 7–8 °С [1–6]. Согласно палеоклиматическим данным [14, 24, 27, 36], в результате роста температуры эмиссия CH<sub>4</sub> и, соответственно, атмосферные концентрации увеличиваются от 0,3–0,4 ppm (холодные эпохи) до 0,6–0,7 ppm (теплые эпохи). В последние 150 лет наблюдается резкий рост эмиссии метана, который привел к беспрецедентному увеличению атмосферных концентраций CH<sub>4</sub> в целом на планете до 1,7 ppm, а в атмосфере Арктического региона – до 1,85 ppm. К настоящему времени концентрация атмосферного CH<sub>4</sub> в районах Арктики приближается в летний сезон к 2,00 ppm, а на экватории МВА достигает в районах массивной разгрузки CH<sub>4</sub> от 3 ppm [53] до 7–16 ppm [17, 20, 31, 32]. При этом в Арктическом регионе наблюдается потепление климата, которое проявляется в росте среднегодовых температур воздуха и воды, сокращении морского и пресного льда, уменьшении толщины снега, таянии ледников, изменении температурного режима наземной мерзлоты [8]. Очевидно, что потепление оказывает влияние и на состояние подводной мерзлоты, которая и без того претерпевает более значительные климатические изменения термического режима по сравнению с наземной мерзлотой. Согласно данным бурения, в прибрежных районах моря Лаптевых средняя температура верхнего 70 м слоя подводной мерзлоты близка к –1 °С, что уже привело к формированию структуры по типу мерзло-талого сэндвича (которая определяется степенью минерализации поровой воды), в то время как бурение на суше показало, что температура аналогичного слоя мерзлоты близка к –11 °С [18, 19, 57]. В этой связи изучение шельфа МВА как источника поступления CH<sub>4</sub> в атмосферу Арктического региона является чрезвычайно актуальным.

### 1.3.2. Метан в водной толще

На основании полученных данных показано, что по результатам измерений 2003–2006 гг. как придонные, так и поверхностные пробы воды были значительно перенасыщены CH<sub>4</sub>, более 50% изученной акватории являлось источником CH<sub>4</sub> в атмосфере региона (рис. 7). Пространственное распределение концентраций отличалось выраженной мозаичностью и наличием резких пространственных градиентов. Выделялись локализованные области, в которых перенасыщение воды растворенным CH<sub>4</sub> достигало 900–18 000% [31]. Такие области составляли около 10% изученной акватории и были определены как области разгрузки CH<sub>4</sub> в атмосферу.

Ниже рассмотрены особенности вертикального распределения CH<sub>4</sub> в водном столбе [20]. Выделено три типа распределения CH<sub>4</sub> в водном столбе, характерные как для летнего, так и для зимнего периода: первый тип – распределение с наличием придонного максимума растворенного CH<sub>4</sub>; второй тип – распределение с наличием поверхностного максимума, третий тип – распределение с отсутствием градиента концентрации в пределах водного столба (рис. 8).

Показано, что перенос метана в водном столбе осуществляется двумя способами – диффузионным и пузырьковым. В пользу диффузионного переноса свидетельствует первый тип распределения растворенного CH<sub>4</sub> в водном столбе, в пользу пузырькового переноса – второй и третий типы. В пользу пузырькового переноса также свидетельствуют большие скопления пузырей, выявленные с помощью геофизических методов в донных отложениях,

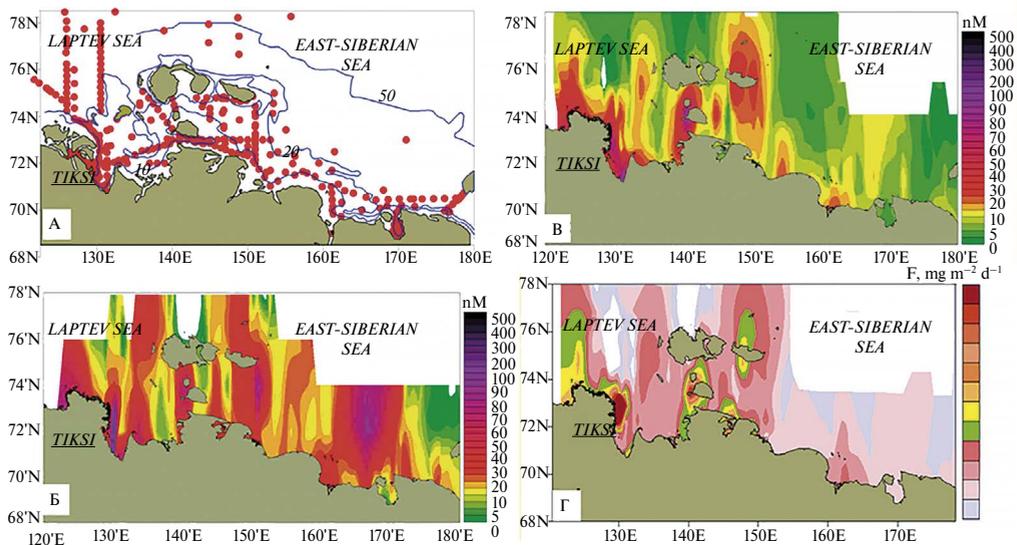


Рис. 7. Положение океанографических станций в районе исследования (А); распределение концентраций растворенного  $\text{CH}_4$  в придонном слое воды (Б); распределение концентраций растворенного  $\text{CH}_4$  в поверхностном слое воды (В); диффузионные потоки  $\text{CH}_4$  (Г).

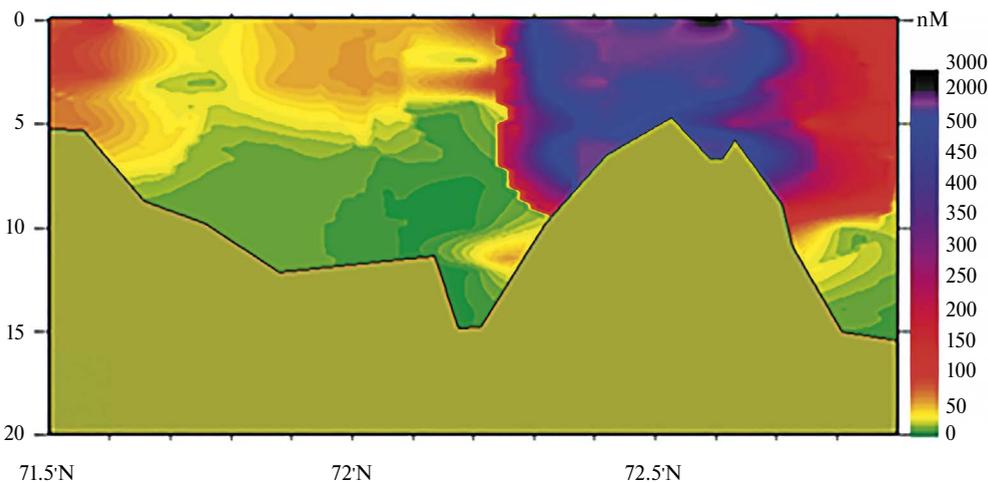


Рис. 8. Вертикальный разрез, совмещающий профили второго и третьего типов распределения  $\text{CH}_4$  в водном столбе. Пробы отобраны подо льдом в апреле 2007 г.

с помощью гидроакустических методов – в толще воды (рис. 9) и визуально обнаруженные в составе морского льда зимой (рис. 10).

Для оценки межгодовой изменчивости был разработан и реализован количественный метод интегральной оценки запаса растворенного метана в водном столбе и потенциальной эмиссии [52, 91]. Показано, что межгодовая изменчивость интегрального запаса растворенного метана может достигать  $>5$  раз, в то время как средние концентрации растворенного метана в поверхностных водах изменялись только на 30%. Анализ сезонных различий интегрального запаса метана выполнен для зал. Буор-Хая на основе летних данных 2005 г. и зимних данных 2007 г. Выявлено, что концентрации растворенного метана в летнее время в этом районе изменялись в придонном слое пределах от 2,1 до 651 nM, а в поверхностном

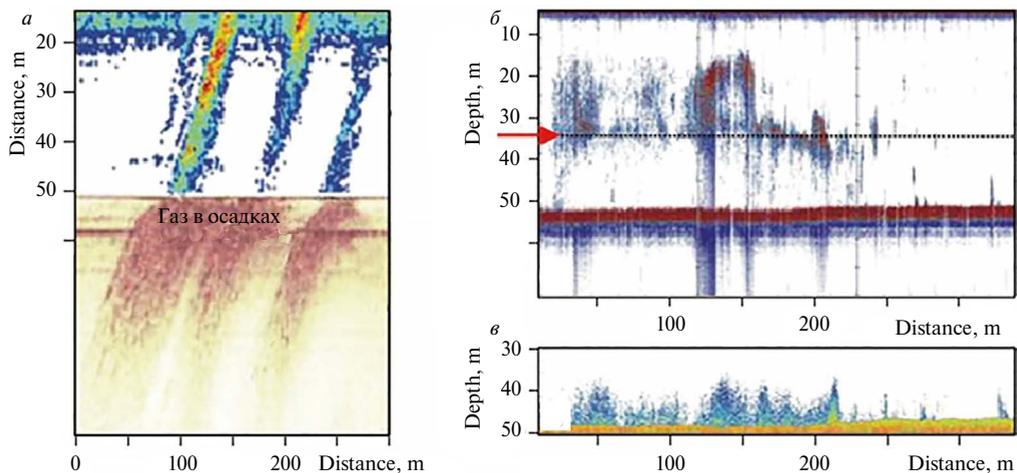


Рис. 9. Результаты обработки первых сейсмических и гидроакустических данных (модифицировано из [31]): а – пузыри в составе осадков и в толще воды; б – скопления пузырей в водной толще, по данным судового эхолота; в – пузыри, выходящие из дна, по данным лоатора бокового обзора.

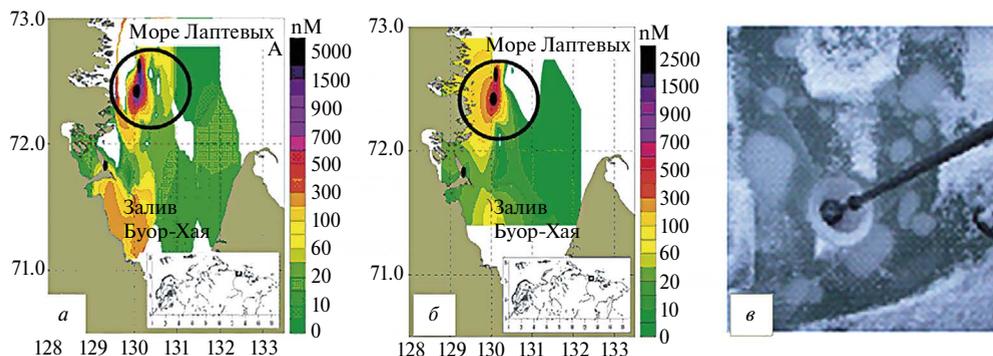


Рис. 10. Распределение концентраций растворенного метана в водном столбе в районе Буор-Хая, измеренное подо льдом в апреле 2007 г.: а – поверхностный слой воды; б – придонный слой воды; в – пузыри, включенные в состав льда (модифицировано из [20, 31]).

слое – от 2,9 до 298 nM (в сентябре 2009 г. – до 370 nM). В зимнее время самые высокие концентрации растворенного метана, измеренные подо льдом в поверхностном слое воды, достигали 5000 nM, а в придонном слое – 2500 nM. Таким образом, сезонная изменчивость концентраций достигала 8–10 раз [20, 31]. При этом в составе морского льда были зарегистрированы пузыри диаметром до 30 см (рис. 10). Расчет интегральных запасов метана в водном столбе изучаемого района (принятой площадью  $10^3 \text{ км}^2$ ) показал, что в летнее время он составил  $7,6 \times 10^7 \text{ г CH}_4$ , в то время как в зимнее время увеличился почти на порядок и достиг  $60,1 \times 10^7 \text{ г CH}_4$  [52, 91].

### 1.3.3. Метан в придонном слое атмосферы

Данные о содержании метана в придонном слое атмосферы по результатам летней экспедиции 2005 г. и вертолетной съемки 2006 г. также свидетельствует о важности эмиссии  $\text{CH}_4$  из шельфа МВА [20, 31]. На основе данных 2005 г. показано, что концентрации метана в придонном слое атмосферы по маршруту движения судна на высоте 3 м от поверхности резко возросли при выходе из Карского моря в море Лаптевых (рис. 11).

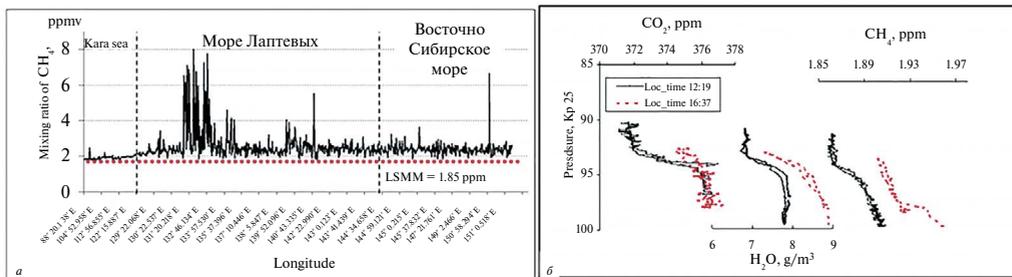


Рис. 11. Динамика концентраций метана в приземном слое атмосферы: *a* – при движении судна по маршруту Северного морского пути (2005 г.); *b* – во время вертолетной съемки до высоты 1800 м от поверхности моря (2006 г.).

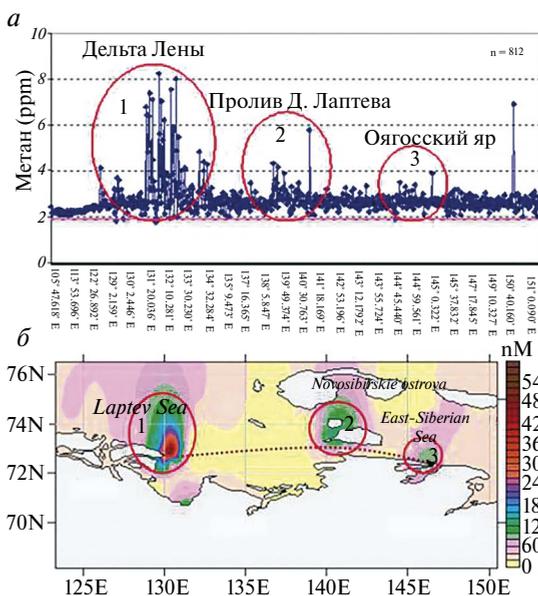


Рис. 12. Концентрации метана в приземном слое атмосферы (*a*) вдоль разреза, показанного в части *b* рисунка в виде пунктирной линии красного цвета; на панели (*b*) представлены концентрации метана в поверхностном слое воды (сентябрь 2005 г.).

Средняя концентрация атмосферного метана в Карском море составляла  $2,1 \pm 0,02$  ppm, в море Лаптевых среднее значение возросло до  $2,97 \pm 0,15$  ppm, а в Восточно-Сибирском море составило  $2,66 \pm 0,09$  ppm. Резкие всплески концентраций достигали в море Лаптевых 8,2 ppm, а в Восточно-Сибирском море – 6,4 ppm [20, 52]. Данные, полученные в результате вертолетной съемки, зарегистрировали увеличение атмосферных концентраций метана до высоты 1800 м; это увеличение достигало 5–10% от величины средней концентрации для данных широт (1,85 ppm). На основе летних измерений 2005 г. было показано, что области повышенных концентраций атмосферного метана коррелируют с областями плюмов растворенного метана [20] (рис. 12).

### 1.3.4. Источники и стоки метана в морях Восточной Арктики

Как было показано выше, высокая несбалансированность цикла углерода в морях Российской Арктики является одной из наиболее ярких особенностей полярного литогенеза и состава захороняющегося ОВ. Согласно оценкам, приведенным в [59], размеры анаэробных

диагенетических потерь ОВ (восстановление идет в микрizonaх скопления ОВ) составляют 5–7%, часть из которого может поступать в воду–атмосферу в форме  $\text{CH}_4$ . Это значит, что при условии трансформации 7% от всего количества ежегодно осажденного ОВ, которое оценивается в 9 млн т С, в воду всех морей Российской Арктики в результате диагенеза может попасть не более чем 0,63 млн т метана, из которых примерно половина приходится на МВА. Здесь важно отметить, что до 70–100% ОВ поверхностных осадков Восточно-Сибирского моря и моря Лаптевых являются наземными по происхождению [16, 84, 86]. Учитывая, что только малая доля (~1%) осажденного терригенного ОВ служит субстратом для метаногенеза, становится очевидным, что потенциальный вклад современных донных отложений морей Российской Арктики в современный цикл метана практически незначим по сравнению с наблюдаемыми потоками: только диффузионный поток метана из водной толщи морей Восточной Арктики в атмосферу оценивается в 5–6 млн т  $\text{C-CH}_4$  [20, 31].

До последнего времени было распространено мнение о том, что одним из важнейших источников  $\text{CH}_4$  на арктическом сибирском шельфе могут быть сибирские реки, которые интегрируют особенности углеродного цикла в их водосборах. В частности, это проявляется в увеличении концентрации растворенного  $\text{CH}_4$  в устьевых районах [20, 52, 92]. Для выявления значимости стока рек в баланс прибрежной зоны МВА нами были рассчитаны интегральные величины запаса растворенного метана, солёности и общего минерального углерода в водном столбе, которые показали высокую положительную корреляцию между собой, свидетельствуя о том, что речные воды не играют значимой роли в динамике растворенного  $\text{CH}_4$  на акватории МВА. Тем не менее для уточнения роли латерального переноса метана речным стоком в сентябре 2006 г. была выполнена специализированная экспедиция, в задачу которой входило проследить, как изменяются концентрации растворенного метана вниз по течению р. Лена до выхода речных вод на шельф. В результате исследования было показано, что концентрации растворенного метана снижаются вниз по течению до фоновых значений в зоне смешения речных и морских вод [16, 20, 76, 84], что связано с высокими скоростями микробиологического окисления  $\text{CH}_4$  в пресноводных экосистемах (рис. 13).

Анаэробная продукция метана в водном столбе МВА маловероятна по целому ряду причин [20]. Во-первых, в изученных районах МВА водная толща является аэробной средой (насыщение  $\text{O}_2 \geq 40\%$ ), поэтому продукция метана может иметь место только в анаэробных линзах, существование которых предполагается на нижней границе пикноклина в морях с нормально высокой первичной продукцией (типичные морские экосистемы). Во-вторых, в изученном гетеротрофном районе первичная продукция резко ограничена недостатком света (светопрозрачность в некоторых районах составляет не более 40 см) и в среднем на 1–2 порядка ниже, чем в типичных морских экосистемах [71, 76]. В-третьих, глубина пикноклина в морях, где обнаруживается феномен анаэробной продукции, обычно составляет 100–150 м. Это позволяет достаточному количеству ОВ аккумулироваться для поддержания

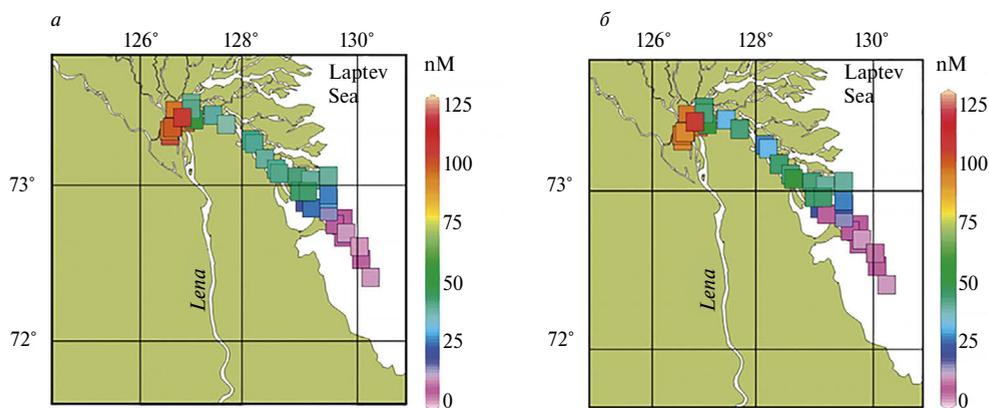


Рис. 13. Динамика растворенного метана вниз по течению р. Лена в Быковской протоке (сентябрь 2006 г.): *a* – придонные концентрации; *b* – поверхностные концентрации.

метаногенеза. В МВА глубина пикноклина изменяется от 0,5 м до 20 м, а на значительной площади МВА после штормов стратификация вообще отсутствует. Это означает, что в условиях МВА создание подходящих условий и накопление достаточного субстрата для продукции в водном столбе маловероятно. Исключение может составлять высокопродуктивное Берингово море, в его глубокой части с глубоко залегающим пикноклином, что требует специального исследования.

Аэробная продукция метана в водном столбе МВА в данной работе не обсуждается, так как до сих пор у микробиологов не сложилось единой точки зрения о самой возможности этого процесса [92, 93]. В любом случае величины концентраций растворенного  $\text{CH}_4$ , которые могут ассоциироваться с продукцией  $\text{CH}_4$  в аэробных условиях СЛО, не превышают 6 нМ. Из этого следует, что данный фактор (при допущении, что он присутствует) пренебрежимо мал при рассмотрении миграции метана в МВА, где концентрации растворенного  $\text{CH}_4$  достигают 970 нМ – летом (2008 г.) и 5000 нМ – зимой (2007 г.). Первые прямые измерения скорости микробного окисления в водной толще МВА оказались невелики, что проявляется в распротранении халоклиновых вод МВА, перенасыщенных по растворенному  $\text{CH}_4$ , в сторону Северного полюса и в восточную часть Чукотского моря [56].

Особенности пространственного и вертикального распределения растворенного  $\text{CH}_4$ , а также сезонная динамика не могут быть объяснены современной продукцией  $\text{CH}_4$  в донных осадках МВА, поскольку территориальное распределение растворенного метана в придонном слое воды в изучаемом районе отличалось высокой степенью мозаичности и не коррелировало с распределением концентраций органического углерода ( $C_{\text{орг}}$ ) в донных осадках [56]. Например, в прол. Дмитрия Лаптева, где концентрация  $C_{\text{орг}}$  минимальна и составляет обычно <0,5%, на протяжении многих лет была зарегистрирована устойчивая аномалия растворенного метана (до 154 нМ), равномерно распределенного в водном столбе. Отметим, что в работе Арэ [94] описаны многочисленные случаи, когда в ходе выполнения работ на российском арктическом шельфе неоднократно наблюдались прорывы газовых струй из дна в воду–воздух. Описан случай, когда при поведении взрывных работ для навигационных целей в прол. Дмитрия Лаптева воздух над льдом загорелся синим пламенем [95], что может свидетельствовать о выбросе природного метана (возможно, гидратов) из донных залежей. Результаты многолетнего мониторинга районов массивированных выбросов пузырькового  $\text{CH}_4$  и кернов донных осадков свидетельствуют о том, что в МВА струи  $\text{CH}_4$  поступают из глубинных источников через газопроводящие каналы, минуя слой сульфатредукции [54–56], который является биогеохимическим фильтром, препятствующим поступлению биогенного  $\text{CH}_4$ , образованного в процессе диагенетических преобразований в осадках Мирового океана [96].

Уникальность МВА заключается в том, что это самый мелководный и широкий шельф Мирового океана, где накоплены гигантские запасы гидратов, дестабилизация которых приводит к массивированной пузырьковой разгрузке из донных отложений в водную толщу–атмосферу. В отличие от глубокого океана значительная часть пузырькового метана достигает атмосферы, что приводит к формированию повышенных концентраций атмосферного метана. Поэтому МВА, где находятся более 80% подводной мерзлоты и гигантские запасы гидратов, рассматривается как единственный регион Мирового океана, который может играть важную климатическую роль [18, 19, 38–40].

Сравнение результатов летних и зимних исследований, выполненных в северо-западной части губы Буор-Хая, море Лаптевых, показали зимнее увеличение концентраций (с максимумом подо льдом) по сравнению с летним на порядок от  $10^2$  до  $10^3$  нМ, что свидетельствует о наличии мощного донного источника [53]. В сентябре 2009 г. в этом районе с помощью многолучевого эхолота (совместная работа с Университетом Калифорния, Санта Барбара) были обнаружены сотни сипов, многие из которых поставляли шлейф пузырей непосредственно в атмосферу, что проявилось в увеличении концентраций атмосферного  $\text{CH}_4$  примерно на 25% выше фоновых при аномалиях растворенного метана до 800 нМ [53]. Этот факт, наряду с результатами, приведенными в разделах 1.3.1–1.3.3 настоящей работы, однозначно свидетельствует о важной роли пузырькового переноса  $\text{CH}_4$  через донные осадки и водную толщу в атмосферу, который является основным механизмом вертикального транспорта, позволяющим избежать микробного окисления [54].

В соответствии с данными моделирования современного состояния подводной мерзлоты в прол. Дмитрия Лаптева [97] устойчиво обнаружение anomalно высоких концентраций растворенного  $\text{CH}_4$  в водном столбе прол. Дмитрия Лаптева, в частности на тех станциях, которые были выполнены в наибольшей близости к юго-восточному побережью о-ва Большой Ляховский. Именно там, согласно [18], был обнаружен керн, полностью состоящий из немерзлых охлажденных пород, что свидетельствует о возможности формирования сквозного талика. Этот и другие примеры, включая обнаружение тектоногенного талика, заверенного электромагнитным профилированием и авторским бурением с припайного льда в губе Буор-Хая [57], указывают на пространственную корреляцию ряда аномалий растворенного  $\text{CH}_4$  с положением рифтовых зон, где геотермический поток может достигать значений  $100 \text{ мВт/м}^2$  и выше, что обеспечивает деградацию подводной мерзлоты также снизу вверх [48, 49].

На первом этапе идентификации возможных источников метана совместно с Университетом Утрехт был выполнен изотопный анализ углерода ( $\delta\text{C}_{13}$ ) и водорода ( $\delta\text{D}$ ) метана [98]. Кроме того, совместно с Музеем естественных наук при Стокгольмском университете был выполнен изотопный анализ благородных газов ( $\text{He}_{3/4}$ ) с целью подтверждения гипотезы о возможности поступления в водную толщу МВА мантийных газов. Данные убедительно показали, что изотопная формула метана в изученном районе наилучшим образом характеризует смесь различных источников, в числе которых могут быть как биогенные, так и термогенные (рис. 14). Диапазон изменчивости  $\delta\text{C}_{13}$  составил  $(-0,9):(-68,3) \text{ ‰}$ , в то время как для  $\delta\text{D}$  он составил  $(-196,1):(-47,5) \text{ ‰}$ . Характерная особенность распределения изотопных характеристик в водном столбе состояла в отсутствии тенденции к утяжелению

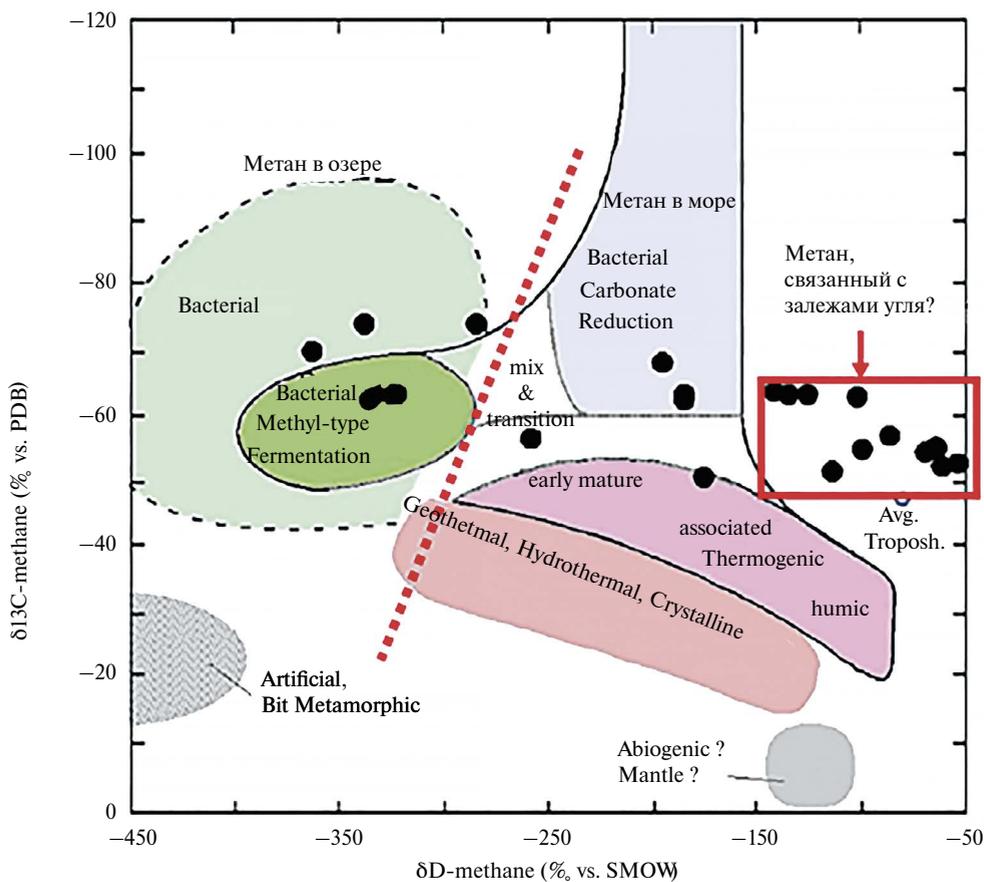


Рис. 14. Диаграмма, характеризующая взаимосвязь  $\delta\text{C}_{13}$  и  $\delta\text{D}$  в изотопной формуле метана в МВА.

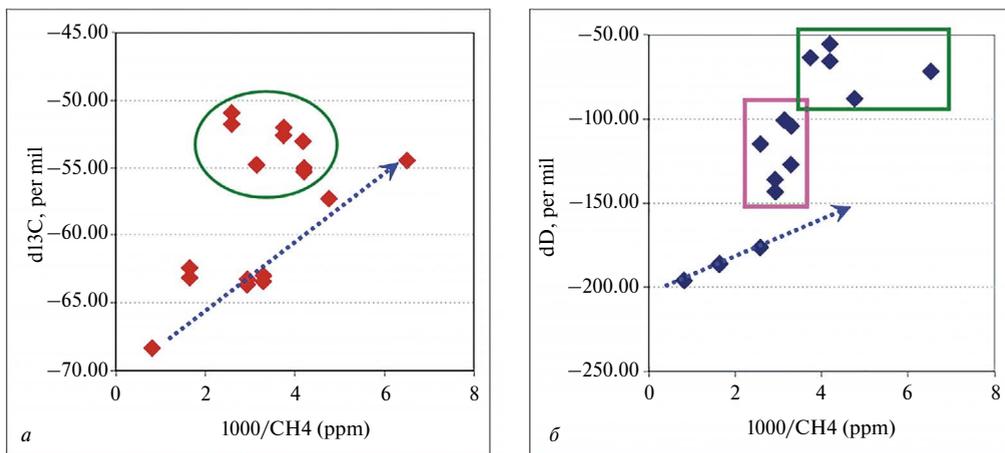


Рис. 15. Изотопная формула растворенного метана, проанализированная с использованием методики “Keeling plot” (соотношение изотопных данных и 1000/концентрация метана в газовой фазе): *a* – данные по  $\delta^{13}\text{C}$  метана; *б* – данные по  $\delta\text{D}$  метана [98].

изотопной формулы метана при его движении к поверхности воды. Напротив, самые легкие значения как для  $\delta^{13}\text{C}$ , так и для  $\delta\text{D}$  регистрировались в поверхностном слое воды, при этом концентрации растворенного метана в поверхностном слое воды на этих станциях были максимальными (до  $5\ \mu\text{M}$ ) и во льду регистрировались массивные включения пузырей (рис. 10). Самым тяжелым значениям  $\delta^{13}\text{C}$  соответствовали самые тяжелые значения  $\delta\text{D}$  и более низкие, хотя и относительно высокие, концентрации растворенного метана.

В результате анализа изотопных данных, выполненных по методике “Keeling plot”, было также показано, что разнообразие полученных данных не может быть достоверно объяснено процессами окисления растворенного метана. В случаях, когда окисление является ведущим процессом, определяющим динамику изотопных характеристик, все разнообразие значений укладывается в линейный тренд. В действительности полученные значения в линейный тренд не укладывались, а выделялись в отдельные группы (рис. 15).

Результаты последних полных изотопных исследований, включая радиоуглеродный возраст метана, свидетельствуют об утяжелении  $\delta^{13}\text{C}$  метана от прибрежной зоны к кромке шельфа от типично биогенных значений [55] до термогенных [99], что предполагает вовлечение гигантских неучтенных запасов глубинного метана в современные климатические и биогеохимические циклы. Предварительные результаты анализа изотопного отношения ( $\text{He}_{3/4}$ ) и неона в водной толще МВА показали наличие мантийного источника (D. Hilton & D. Porcelli, 2009, личное сообщение), что еще раз свидетельствует о достоверности нашей гипотезы, подтвержденной многолетними геофизическими данными, заверенными авторским бурением, о нарушении сплошности и газопроницаемости подводной мерзлоты МВА путем образования сквозных таликов – газовыводящих каналов для разгрузки метана и глубинного флюида [17, 20, 21, 53, 56, 57].

Консервативная оценка эмиссии из мелководной части МВА в атмосферу составляет приблизительно  $17\ \text{Tg}$  [53], что примерно в 3 раза выше оценки для Мирового океана. Однако с учетом более поздних оценок [56] данная величина будет пересмотрена в ближайшее время в сторону значительного увеличения. Это значит, что даже при рассмотрении минимальных оценок шельф МВА может рассматриваться как основной современный морской источник поступления  $\text{CH}_4$  в атмосферу. Эта оценка включает в себя все процессы: поступление  $\text{CH}_4$  из донных источников, а также микробное образование и окисление в осадках и водной толще. Если вернуться к наличию атмосферного максимума  $\text{CH}_4$  над Арктикой (рис. 3), становится очевидным, что исследуемый источник играет более важную роль по сравнению с антропогенным источником, который сконцентрирован в умеренных широтах Северного полушария.

## **2. О роли Арктики (система суша–шельф) в глобальном цикле углерода в ближайшем будущем**

### **2.1. Суша**

Зона распространения многолетней мерзлоты охватывает 58% территории Российской Федерации. В ее пределах расположено большое число населенных пунктов, промышленных предприятий и объектов инфраструктуры. При условии сохранения современной тенденции к потеплению южная граница распространения многолетней мерзлоты может продвинуться к концу XXI в. на 300–400 км на север [8], что вызовет множество геоинженерных проблем, включая ущерб портовой инфраструктуре, обмеление фарватеров и т.д. В климатическом аспекте, это приведет к расконсервации и мобилизации значительных запасов древнего ОБ, что проявится в усилении респирации почв и эмиссии CO<sub>2</sub> в атмосферу, в увеличении стока растворенного ОБ с реками, которые характеризуются низкими значениями рН. Вероятно, что транспорт минерального углерода, включая растворенную двуокись углерода, также увеличится, что наряду с увеличением стока кислотных речных вод может проявиться в увеличении кислотности вод СЛО (acidification). Маловероятно, что роль твердого речного стока возрастет, так как на примере р. Лена показано [84], что основная часть речной взвеси выпадает в дельте (гидродинамическое осаждение) и на маргинальном фильтре. За последние 30–40 лет XX в. средние температуры воздуха над Северной Азией и Аляской увеличились на 1–2 °С, в основном за счет зимнего потепления [8], что привело к меньшему промерзанию активного слоя мерзлоты зимой и более значимому оттаиванию летом, сокращению морозных дней и раннему вскрытию рек при их позднем замерзании и увеличению речного стока [100]. Предполагается, что к концу XXI в. температура воздуха в высоких широтах Северного полушария значительно повысится [9, 14]. Максимальное потепление (до 10–12 °С) ожидается в прибрежной зоне и водосборах рек Восточной Сибири, что может привести к деградации наземной мерзлоты, включая береговой ледовый комплекс, обогащенный древним биологическим ОБ [8].

Основную роль в осадконакоплении и биогеохимии мелкого шельфа МВА играет экспорт эрозионного ОУ (берегового ледового комплекса, рис. 5, 6), а окисление эрозионного ОУ представляется основным фактором, ответственным за экстремальную асидификацию вод МВА [73, 84]. Развитие термокарста может привести к увеличению заозеренности в отдельных районах и соответствующему увеличению эмиссии метана в атмосферу. Однако маловероятно, что динамика этого процесса будет достаточно высока для повышения глобальных оценок потенциальной эмиссии, так как в районах сплошной мерзлоты скорость термокарста невысока из-за низких фоновых температур мерзлоты (примерно –11 °С на севере Якутии [53]) и ее термической инертности. Более того, как показано в [102], увеличение площади озер в области сплошной мерзлоты полностью компенсируется дренажом озер в области несплошной и островной мерзлоты. Тем не менее в масштабе десятков и сотен лет следует ожидать значительного повышения эмиссии CO<sub>2</sub> в атмосферу благодаря возрастающей респирации почв Севера [103], особенно в зимний период, когда респирация не компенсируется продукцией. Повышение температуры приведет к возрастающему грунтовому и подмерзлотному стоку, к еще большему увеличению стока сибирских рек [100, 101] обогащенному CO<sub>2</sub> в СЛО. Эти процессы, включая прогрессирующую эрозию берегового ледового комплекса (рис. 5), приведут к усилению экологического прессинга на экосистемы акватории Северного морского пути, в первую очередь за счет прогрессирующей асидификации вод, что может привести к угнетению функционирования бентосных сообществ – основной кормовой базы крупнейших млекопитающих Арктики – моржей и белых медведей.

### **2.2. Шельф**

Как было показано выше, в холодные климатические эпохи, когда уровень океана падает на 100–120 м, обширный ( $2,1 \times 10^6$  км<sup>2</sup>) и мелководный (средняя глубина <50 м) шельф МВА обнажается и становится частью сибирской приморской низменности. В результате глубокого промерзания здесь формируется мерзлота и создаются благоприятные условия

для формирования мелкозалегающей зоны стабильности арктических газгидратов [18, 19], которые, в отличие от океанических газгидратов, характеризуются: высокой концентрацией в пространстве, мощностью залегания пластов, высоким процентом порового насыщения (20–80% в отличие от 1–2% в океанических газгидратах), высокой нестабильностью (для дестабилизации газгидрата, образованного при температуре  $<0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , требуется в 3 раза меньше энергии, чем для газгидрата, образованного при температуре  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) [104]. Кроме того, зона стабильности арктических газгидратов определяется стабильностью мерзлоты [17, 21]. При смене субэкринной обстановки на субмаринную происходит закономерное изменение термического режима мерзлоты, которая переходит в подводное положение, что приводит к ее деградации в условиях последующей дестабилизации зоны устойчивости стабильности газгидратов. За 5–6 тыс. лет подводная мерзлота приходит в равновесие с придонной водой (среднегодовая температура воды изменяется от близкой к  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  вблизи устьев крупных рек, до  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  в зонах заприпайных полыней), что приводит к потеплению подводной мерзлоты на  $12\text{--}17\text{ }^{\circ}\text{C}$ , т.е. к температуре, близкой к фазовому переходу (таянию). По сравнению со стабильной сплошной наземной мерзлотой, температура которой до сих пор не поднялась выше  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ , подводная мерзлота находится в транзите – вблизи фазового перехода [53, 57]. При нарушении целостности мерзлоты свободный газ из разрушенных газгидратов поступает в водную толщу и далее в атмосферу [17, 21]. Показано, что МВА являются уникальным регионом, поскольку  $>80\%$  предполагаемой подводной мерзлоты и мелководных арктических газгидратов находится в МВА (рис. 16).

Учитывая, что на шельфе МВА содержится примерно 1750 Гт углерода в форме газовых гидратов (750 Гт), природного газа (500 Гт) и собственно ОВ мерзлоты (500 Гт), а в современной атмосфере содержится примерно 750 Гт С-СО<sub>2</sub> и 4 Гт С-СН<sub>4</sub> [8, 9, 17–21], становится очевидным что вовлечение в круговорот углерода из подводной мерзлоты, даже в малых долях процентов от общего объема углеродного резервуара мерзлоты, может привести к существенному увеличению общего содержания СН<sub>4</sub> в атмосфере [17, 21]. Предполагая, что под сквозными таликами гидраты уже дестабилизированы, и полагая, что площадь сквозных таликов на шельфе МВА составляет 5–10% [49], потенциальная эмиссия в атмосферу может составить от 37,5 до 75 Гт, что при различных сценариях кинетики поступления в атмосферу [105] может вызвать потепление климата, по крайней мере сопоставимое с эффектом от предполагаемого удвоения содержания СО<sub>2</sub> в атмосфере до конца 2100 г. [9]. Дополнительное воздействие на нарушение сплошности подводной мерзлоты и формирование каналов выброса метана может играть повышенная сейсмостектоническая активность на границе Евро-Азиатской и Северо-Американской тектонических плит и в рифтовой зоне МВА [106].

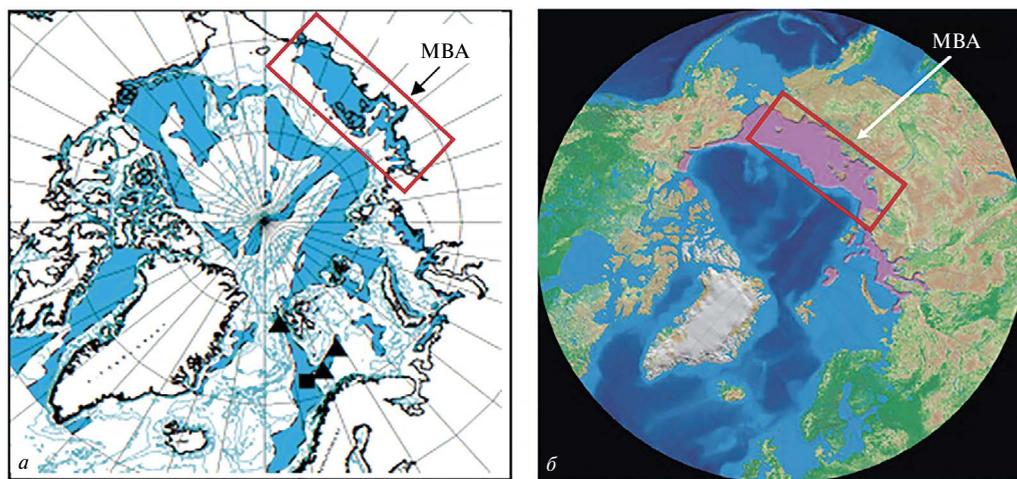


Рис. 16. Предполагаемые области распространения мелководных арктических газгидратов (а) и подводной мерзлоты (б).

Более того, последняя оценка вклада  $\text{CH}_4$  в потенциал глобального потепления (рекомендованный Киотским протоколом), рассчитанная для ближайших 100 лет с включением ранее неучитываемых обратных связей в климатической системе, показала, что ранние оценки [9] недоучитывали климатическую роль  $\text{CH}_4$  примерно на 20–40%. Это значит, что суммарный радиационный форсинг от 1 кг  $\text{CH}_4$  превышает аналогичную величину для  $\text{CO}_2$  примерно в 35 раз, а не в 25, как было принято считать недавно. Данная величина пока не учитывает положительную обратную связь, выявленную между потеплением–деградацией подводной мерзлоты [17, 21] и дополнительной эмиссией  $\text{CH}_4$  (и  $\text{CO}_2$  как продукта окисления  $\text{CH}_4$ ) в атмосферу, обусловленных вовлечением гигантских ранее недоступных пулов гидратов, ОВ и природных газов в современный биогеохимический цикл.

### 2.3. Геополитические аспекты

Исходя из вышеизложенного становится понятной обеспокоенность ученых и политических деятелей, которые планируют пересмотр Киотского протокола и Парижского соглашения, одним из недостатков которого является недоучет биогеохимических и климатических последствий прогрессирующей деградации мерзлоты в арктической системе суша–шельф, способных привести к серьезным социальным и экономическим проблемам глобального масштаба.

Роль выбросов основных парниковых газов, двуокиси углерода и метана, в результате деградации наземной мерзлоты, оценивается в сумму «только» в US\$43 трлн до конца следующего столетия (2200 г.), что составляет примерно 8% от ожидаемого интегрального ущерба, вызванного антропогенным потеплением [107], т.е. ежегодный экономический ущерб от относительно медленной (“gradual”) деградации наземной мерзлоты оценивается величиной примерно на два порядка ниже, чем от дезинтеграции подводной мерзлоты и выбросов метана из шельфа МВА [108]. В этом контексте важно отметить, что, согласно последним работам американских ученых, последствия деградации только наземной мерзлоты проявляются в увеличении эмиссии  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в атмосферу за счет микробиальных процессов трансформации мобилизованного древнего ОВ [109]. Авторы указанной работы приходят к выводу о том, что этот неучтенный источник парниковых газов может привести к полному пересмотру Киотского и Парижского протоколов, основанных исключительно на парадигме доминирующей роли антропогенного фактора – без учета соответствующих изменений в природном цикле углерода, которые проявляются в массивных выбросах  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  из деградирующей мерзлоты (сезонно-талого слоя, озер, рек и болот) в атмосферу. Зимняя эмиссия из почв Севера в начале 1990-х была оценена в 1 Гт С- $\text{CO}_2$ , что соизмеримо с антропогенным годовым выбросом со всей территории СССР – на то время [103]. Однако этот результат, полученный российскими учеными, так и не был включен в рассмотрение ИРСС (2001) и не был востребован климатическим сообществом в России. Недоучетом этого фактора может стать значительная переоценка роли лесов как поглотителей атмосферного  $\text{CO}_2$ , что может существенно откорректировать экономический эффект от «зеленой революции» в терминах международной торговли квотами на чистый воздух.

Наибольшее беспокойство у мирового сообщества вызывает *возрастающая роль метанового фактора, обусловленного массивными выбросами метана из деградирующего шельфа морей Восточной Арктики, в предполагаемых «быстрых» изменениях климата.* Одно из первых обсуждений в этом направлении (открытом и развитом авторами данной работы с партнерами из ведущих университетов и институтов) состоялось 9 декабря 2009 г. в Копенгагене (M. Sommerkorn, November 2009, личное сообщение). Для иллюстрации глобальной важности этой темы исследования на современном этапе приведем фрагмент стратегического плана развития арктических исследований в рамках ЕС (октябрь 2021 г): “Joint Communication on a stronger EU engagement for a peaceful, sustainable and prosperous Arctic” ([https://eeas.europa.eu/headquarters/headquarters-homepage/105481/joint-communication-stronger-eu-engagement-peaceful-sustainable-and-prosperous-arctic\\_en](https://eeas.europa.eu/headquarters/headquarters-homepage/105481/joint-communication-stronger-eu-engagement-peaceful-sustainable-and-prosperous-arctic_en)).

Экономический негативный эффект, обусловленный выбросом в атмосферу незначительной доли (1–5%) от предполагаемого метанового гидратного потенциала (консервативная оценка) шельфа МВА, оценивается авторитетными международными организациями

от US\$80 млрд в год, начиная с 2030 г., с основным ущербом на территории Российской Федерации ([go.nature.com/vnlzax](https://go.nature.com/vnlzax), <https://www.nature.com/articles/500529c>), и до US\$60 трлн (экстремальный сценарий) – в случае выброса примерно 50 Гт метана в течение 10 лет, что приведет через 15–35 лет после такого массивного выброса к дополнительному потеплению климата примерно на 2 °C [108]. Основной экономический ущерб связывается с усилением атмосферной циркуляции и циклогенеза, повышением уровня океана, наводнениями и потерей традиционных промыслов коренных народов Севера. На Климатическом саммите в Глазго ученые пришли к выводу, что данный процесс невозможно остановить, но необходимо искать пути адаптации [110]. Из этого следует, что в долгосрочной перспективе ущерб от дестабилизации только предполагаемого потенциала гидратов МВА, который контролируется состоянием подводной мерзлоты, может быть весьма существенным для социально-экономического развития не только России, но и в планетарном масштабе. Вышеприведенные результаты экономических расчетов Бизнес-школы Университета Кембридж [109] были выполнены на основе оценок авторов данного доклада (<https://www.cam.ac.uk/research/news/cost-of-arctic-methane-release-could-be-size-of-global-economy-warn-experts>), опубликованного в 2010 г. [32], из анализа которого следует, что это направление исследований является приоритетным в области наук о Земле.

Расширенные результаты, изложенные в этой статье, были представлены Министерством иностранных дел РФ в качестве вклада Российской Федерации в Арктический совет для совместной экспертизы и развития взаимовыгодного сотрудничества; в середине февраля 2022 г. получена поддержка Шведского полярного научного секретариата, уполномоченных представителей Швеции и Норвегии для включения темы данного проекта в приоритеты международного комитета АМАР. К сожалению, сотрудничество с Арктическим советом было прервано по инициативе западных стран-участников после начала СВО. После завершения председательства РФ в АС в мае 2023 г. ситуация по сотрудничеству с зарубежными партнерами еще более усложняется за счет ряда ограничений, введенных на время СВО. Однако фундаментальные исследования по теме проекта продолжают в рамках совместных публикаций со стратегическими партнерами из Швеции (группа профессора Стокгольмского университета Орьяна Густафсона, академика Шведской Королевской академии наук, члена Нобелевского совета по химии), Италии (профессор Томассо Тези из Болонского университета) и США (профессор Янек Мартенс, обсерватория Ламонт Догерти), что после окончания СВО может стать научной платформой для возобновления полномасштабных совместных исследований и являться залогом успеха в решении сложнейших научных проблем человечества, связанных с функционированием арктической климатической системы. Мировое научное сообщество проявляет большое беспокойство в этом отношении, что частично изложено в редакторской статье в журналах *Nature* (607, 422, 21 July 2022), и *Science of the Total Environment* (902, 4 August 2023). Представляется перспективным рассмотреть на уровне Правительства и Президента РФ возможность создания Международного арктического сибирского научного центра, в который бы могли войти заинтересованные ученые из стран БРИКС. Создание такого Центра могло бы стать началом новой парадигмы обеспечения климатической безопасности нашей планеты, при лидерской роли Российской Федерации, – путем повышения достоверности климатической теории, что является необходимым условием для устойчивого социально-экономического развития Арктики и других регионов.

## Заключение

Полученные результаты позволяют сделать ряд выводов.

- Баланс CO<sub>2</sub> в арктической системе суша–шельф–атмосфера определяется темпами деградации мерзлоты и характерными особенностями транспорта и трансформации органического вещества, мобилизованного в современные биогеохимические циклы вследствие деградации наземной мерзлоты.
- Экологическое состояние акватории Северного морского пути определяется ростом речного стока и прогрессирующим транспортом и трансформацией эрозионного углерода с окислением до CO<sub>2</sub>, что приводит к экстремальной асидификации (подкислению) толщи вод;

это может привести к труднопредсказуемым биогеохимическим последствиям, включая ущерб бентосным сообществам – основной пищевой базы для крупных млекопитающихся (моржи, белые медведи).

- МВА являются источником поступления метана в атмосферу Арктического региона и важной составной частью морского цикла метана, поскольку ежегодная эмиссия метана в атмосферу Арктического региона из МВА значительно превышает ежегодную эмиссию метана из акваторий всех морей Мирового океана.

- Метан поступает в придонную воду из донных отложений в форме струй пузырьков и в виде растворенного газа (растворение пузырьков, латеральный и диффузионный транспорт), о чем свидетельствуют характер вертикального распределения концентраций в водном столбе, наличие областей экстремально высоких концентраций, превышение зимних концентраций над летними, превышение поверхностных концентраций над придонными, а также геофизические данные, с помощью которых были зарегистрированы массивированные выбросы пузырей в водную толщу–атмосферу.

- Мощность современной эмиссии метана в МВА, а также ее будущий прирост зависят от степени вовлечения в современный биогеохимический цикл метана и органического углерода, накопленного в донных отложениях в предыдущие климатические эпохи, и не зависят от современной продукции в осадках, в водном столбе и от латерального переноса из наземных источников. Количественные характеристики современных потоков метана в МВА и их пространственно-временная изменчивость зависят от наличия газопроводящих путей в структуре осадочной толщи.

- Результаты моделирования подводной мерзлоты с включением ранее неучтенных факторов, таких как засоленность осадков и связанное с этим наличие в структуре мерзлых осадков незамерзшей воды, предшествующее затоплению развитие процессов термокарста, в частности подоцерных таликов, а также структуры донных отложений, включающих слои слабоминерализованных и сильноминерализованных осадков, и их тестирование данными натурных наблюдений показали, что развитие газовыводящих каналов в форме сквозных или глубоких таликов допускается в районах не только прямого, но также и непрямого влияния рифтовых зон.

- Состояние подводной мерзлоты служит ведущим фактором геологического контроля потоков метана в водную толщу и определяет пространственно-временную изменчивость потоков метана в атмосферу. В результате дестабилизации подводной мерзлоты формируются газопроводящие пути, по которым метан поступает в водную толщу. Основным механизмом формирования таких путей является развитие восходящих, нисходящих и комбинированных таликов. Особую роль играют талики тектоногенного происхождения, что связано с аномально высокими значениями геологического теплового потока.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Barnola J.M., Raynaud D., Korotkevich Ye.S., Lorius C. Vostok ice core provides 160,000 year record of atmospheric CO<sub>2</sub> // Nature. 1987. Vol. 329. P. 408–414.
2. Chappellaz J., Barnola J.M., Raynaud D., Korotkevich Ye.S., Lorius C. Ice core record of atmospheric methane over the past 160,000 years // Nature. 1990. Vol. 345. P. 127–131.
3. Jouzel J., Lorius C., Petit J.R., Genthon C., Barkov N.I., Kotlyakov V.M., Petrov V.M. Vostok ice core: a continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160,000) // Nature. 1987. Vol. 329, N6138. P. 403–408.
4. Jouzel J., Barkov N.I., Barnola J.M., Bender M., Chappelaz J., Genthon G., Kotlyakov V.M., Lipenkov V., Lorius C., Petit J.R., Raynaud D., Raisbeck G., Ritz C., Sowers T., Stivenard M., Yiou F., Yiou P. Extending the Vostok ice-core record of paleoclimate to the penultimate glacial period // Nature. 1993. Vol. 364. P. 407–412.
5. Lorius C., Barkov N.I., Jouzel J., Korotkevich Ye.S., Kotlyakov V.M., Raynaud D. Antarctic Ice Core: CO<sub>2</sub> and climatic change over the last climatic cycle // EOS. 1988. Vol. 69, N26. P. 681–684.
6. Lorius C., Jouzel J., Raynaud D., Hansen J., Letret H. The ice-core record: climate sensitivity and future greenhouse warming // Nature. 1990. Vol. 347. P. 139–145.

7. Serreze M. C., Francis J. The Arctic amplification debate // *Climatic Change*. 2006. Vol. 76 (3/4). P. 241–264. DOI: 10.1007/s10584-005-9017.
8. ACIA (Arctic Climate Impact Assessment): Overview report. Cambridge Univ. Press, 2004. 140 p.
9. IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2001. 881 p.
10. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 351 с.
11. Имбри Дж., Имбри К.П. Тайны ледниковых эпох. М.: Прогресс, 1988. 263 с.
12. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. 373 с.
13. Lewis S. L., Maslin M. A. Defining the Anthropocene // *Nature*. 2015. Vol. 519. P. 171–180.
14. IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / eds. H. Lee, J. Romero; Core Writing Team; IPCC. Geneva, Switzerland, 2023. P. 35–115. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
15. Tarnocai C., Canadell J. G., Schuur E. A. G., Kuhry P., Mazhitova G., Zimov S. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region // *Global Biogeochemical Cycles*. 2009. Vol. 23. GB2023. DOI: 10.1029/2008GBO3327.
16. Semiletov I. P., Shakhova N. E., Sergienko V. I., Pipko I. I., Dudarev O. On Carbon Transport and Fate in the East Siberian Arctic Land-Shelf-Atmosphere System // *Environment Research Letters*. 2012. N7. DOI: 10.1088/1748-9326/7/1/015201.
17. Shakhova N., Semiletov I., Chuvilin E. Understanding the Permafrost–Hydrate System and Associated Methane Releases in the East Siberian Arctic Shelf // *Geosciences*. 2019. Vol. 9 (6).
18. Криотермия и натуральные газгидраты в Северном Ледовитом океане / под ред. В. А. Соловьева. Л.: Севморгеология, 1987. 150 с.
19. Gramberg I. S., Kulakov Yu. N., Pogrebitsky Yu. E., Sorokov D. S. Arctic oil and gas super basin // X World Petroleum Congress. London, 1983. P. 93–99.
20. Shakhova N., Semiletov I., Leifer I., Salyuk A., Rekant P., Kosmach D. Geochemical and geophysical evidence of methane release over the East Siberian Arctic Shelf // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2010. Vol. 115 (C8).
21. Shakhova N. E., Semiletov I. P. Methane Hydrate Feedbacks // *Arctic Climate Feedbacks: Global Implications* / eds. Martin Sommerkorn, Susan Joy Hassol. Published by WWF International Arctic Programme August, 2009. P. 81–92. ISBN: 978-2-88085-305-1.
22. Заварзин Г. А., Кларк У. Биосфера и климат: взгляд биолога // *Природа*. 1987. № 6. С. 65–77.
23. Canadell J. G., Raupach M. R. Land Carbon Cycle Feedbacks // *Arctic Climate Feedbacks: Global Implications* / eds. Martin Sommerkorn, Susan Joy Hassol. Published by WWF International Arctic Programme August, 2009. P. 69–80. ISBN: 978-2-88085-305-1.
24. Genthon C., Barnola J. M., Raynaud D., Lorius C., Jouzel J., Barkov N. I., Korotkevich Ye. S., Kotlyakov V. M. Vostok ice core : climatic response to CO<sub>2</sub> and orbital forcing changes over the last climatic cycle // *Nature*. 1987. Vol. 329, N6138. P. 414–418.
25. Petit J., Jouzel J., Raynaud D. et al. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica // *Nature*. 1999. Vol. 399. P. 429–436. DOI:10.1038/20859.
26. Rigby M., Prinn R. G., Fraser P. J. et al. Renewed growth of atmospheric methane // *Geophys. Res. Lett.* 2008. Vol. 35. L22805. DOI: 10.1029/2008GL036037.
27. Semiletov I. P., Zimov S. A., Voropaev Yu. V., Davydov S. P., Barkov N. I., Gusev A. N., Lipenkov V. Ya. Atmospheric methane in past and present // *Trans. (Doklady) Russian Acad. Sci.* 1994. Vol. 339, N2. P. 253–256.
28. Semiletov I. P., Pipko I. I., Pivovarov N. Ya., Popov V. V., Zimov S. A., Voropaev Yu. V., Davydov S. P. Atmospheric carbon emission from North Asian Lakes: a factor of global significance // *Atmospheric Environment*. 1996. Vol. 30, N10/11. P. 1657–1671.
29. Semiletov I. P. On aquatic sources and sinks of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in the Polar Regions // *J. Atmos. Sci.* 1999. Vol. 56. P. 286–306.
30. Zimov S. A., Voropaev Yu. V., Semiletov I. P. et al. North Siberian Lakes: a methane source fueled by Pleistocene carbon // *Science*. 1997. Vol. 277. P. 800–802.
31. Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Yusupov V., Kosmach D., Gustafsson Ö. Extensive Methane Venting to the Atmosphere from Sediments of the East Siberian Arctic Shelf // *Science*. 2010. Vol. 327 (5970). P. 1246–1250.

32. Shakhova N.E., Alekseev V.A., Semiletov I.P. Predicted methane emission on the East Siberian shelf // *Doklady Earth Sciences*. 2010. Vol. 430 (2). 190–193.
33. Seneviratne S.I., Nicholls N., Easterling D. et al. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment // *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* / eds. C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker et al. Cambridge, UK; New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2012. P. 109–230.
34. Dutton A., Carlson A.E., Long A.J., Milne G.A., Clark P.U., DeConto R., Horton B.P., Rahmstorf S., Raymo M.E. Sea-level rise due to polar ice-sheet mass loss during past warm periods // *Science*. 2015. Vol. 349. aaa4019. DOI: 10.1126/science.aaa4019.
35. Solomon S., Plattner G.-K., Knutti R., Friedlingstein P. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions // *PNAS*. 2009. Vol. 106 (6). P. 1704–1709.
36. Semiletov I.P. Ancient Ice Air Content of the Vostok Ice Core // *Biogeochemistry of Trace Gases* / ed. S. Oremland. New York: Chapman and Hall Inc., 1993. P. 46–59.
37. Семилетов И.П. Углеродный цикл и глобальные изменения в прошлом и настоящем // *Химия морей и океанов* / ред. О.К. Бордовский. М.: Наука, 1995. С. 130–154.
38. Kennett J.P., Cannariato K.G., Hendy I.L., Behl R.J. Methane hydrates in Quaternary Climate Change. Washington, D.C.: AGU, 2003. 317 p.
39. Kvenvolden K.A. Gas hydrates: Geological perspective and global change // *Rev. Geophys.* 1993. Vol. 31. P. 173–187.
40. Голицын Г.С., Гинзбург А.С. Оценка возможности быстрого метанового потепления 55 млн лет назад // *Доклады Академии наук*. 2007. Т. 413 (6).
41. Chappellaz J., Blunier T., Raynaud D., Barnola J.M., Schwander J., Stauffer B. Synchronous changes in atmospheric CH<sub>4</sub> and Greenland climate between 40 and 8 kyr BP // *Nature*. 1993. Vol. 336. P. 443–445.
42. Etheridge D.M., Steele L.P., Francey R.J., Langenfelds R.L. Atmospheric methane between 1000 A. D. and present: Evidence of anthropogenic emissions and climatic variability // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 1998. Vol. 103 (D13). P. 15979–15993.
43. Sapart C.J., Monteil G., Prokopiou M., van de Wal R.S.W., Kaplan J.O., Sperlich P. et al. Natural and anthropogenic variations in methane sources during the past two millennia // *Nature*. 2012. Vol. 490 (7418). P. 85–89.
44. Rasmussen R.A., Khalil M.A.K. Atmospheric methane in the recent and ancient atmospheres: concentrations, trends and interhemispheric gradient // *J. Geophys. Res.* 1984. Vol. 89, N D7. P. 11599–11605.
45. Chappellaz J. et al. Changes in atmospheric CH<sub>4</sub> gradient between Greenland and Antarctica during Holocene // *J. Geophys. Res.* 1997. Vol. 102 (D13). P. 15987–15997.
46. Dallenbach A., Blunier T., Fluckiger J., Stauffer B. Changes in the atmospheric CH<sub>4</sub> gradient between Greenland and Antarctica during the Last Glacial and the transition to the Holocene // *Geophys. Res. Lett.* 2000. Vol. 27 (7). P. 1005–1008.
47. Cuffey K.M., Clow G.D., Alley R.B., Stuiver M., Waddington E.D., Saltus R.W. Large Arctic Temperature Change at the Wisconsin-Holocene Glacial Transition // *Science*. 1995. Vol. 270. P. 455–458.
48. Романовский Н.Н., Гаврилов А.В., Тумской В.Е. Озерный термокарст и его роль в формировании прибрежной зоны шельфа моря Лаптевых // *Криосфера Земли*. 1999. Т. 3, № 3. С. 79–91.
49. Romanovskii N.N., Hubberten H.W., Gavrilov A.V., Eliseeva A.A., Tipenko G.S. Offshore permafrost and gas hydrate stability zone on the shelf of East Siberian Seas // *Geo-Marine Letters*. 2005. Vol. 25 (2). P. 167–182.
50. Feely R.A., Sabine C.L., Takahashi T., Wanninkhof R. Uptake and Storage of Carbon Dioxide in the Ocean: the Global CO<sub>2</sub> Survey // *Oceanography*. 2001. Vol. 14, N4. P. 18–32.
51. Takahashi T., Sutherland S.C., Sweeney C., Poisson A., Metz N., Tillbrook B., Bates N., Wanninkhof R., Feely R.A., Sabine C., Olafsson J., Nojiri Y. Global sea-air CO<sub>2</sub> flux based on climatological surface ocean pCO<sub>2</sub>, and seasonal biological and temperature effects // *Deep-Sea Res.* 2002. Vol. 2, N49. P. 1601–1622.
52. Shakhova N., Semiletov I., Pantelev G. The distribution of methane on the Siberian Arctic shelves: Implications for the marine methane cycle // *Geophysical Research Letters*. 2005. Vol. 32 (9).
53. Shakhova N., Semiletov I., Leifer I., Sergienko V., Salyuk A., Kosmach D. et al. Ebullition and storm-induced methane release from the East Siberian Arctic Shelf // *Nature Geoscience*. 2014. Vol. 7 (1). P. 64–70.
54. Wild B., Shakhova N., Dudarev O., Semiletov I. et al. Organic matter composition and greenhouse gas production of thawing subsea permafrost in the Laptev Sea // *Nature Communications*. 2022. Vol. 13. P. 50–57. DOI:10.1038/s41467-022-32696-0.

55. Sapart C.J., Shakhova N., Semiletov I., Jansen J., Szidat S., Kosmach D., Dudarev O., van der Veen C., Egger M., Sergienko V., Salyuk A., Tumskoy V., Tison J.L., Rockmann T. The origin of methane in the East Siberian Arctic Shelf unraveled with triple isotope analysis // *Biogeosciences*. 2017. Vol. 14, N9. P. 2283–2292.
56. Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V., Lobkovsky L., Yusupov V., Salyuk A. et al. The East Siberian Arctic Shelf: towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2015. Vol. 373 (2052). 20140451.
57. Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O., Sergienko V., Lobkovsky L., Dudarev O. et al. Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf // *Nature Communications*. 2017. Vol. 8 (1). 15872.
58. Романкевич Е. А. Геохимия органического вещества в океане. М.: Наука, 1977. 256 с.
59. Романкевич Е. А., Ветров А. А. Цикл углерода в арктических морях России. М.: Наука, 2001. 302 с.
60. Романкевич Е. А., Ветров А. А. Углерод в Мировом океане. М.: ГЕОС, 2021. 352 с. ISBN: 978-5-89118-835-8. DOI: 10.34756/GEOS.2021.16.37857.
61. Арктика на пороге третьего тысячелетия / под ред. И. С. Грамберга и др. СПб.: Наука, 2000. 247 с.
62. The organic carbon cycle in the Arctic ocean / eds. R. Stein, R. W. Macdonald. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 2003. 363 p.
63. Бордовский О. К., Семилетов И. П. Обмен углеродом между придонной водой и донными осадками Охотского моря // *Доклады АН СССР*. 1989. Т. 306, № 3. С. 697–700.
64. Pipko I., Semiletov I., Tishchenko P., Pugach S., Christensen J. Carbonate Chemistry dynamics in Bering Strait and the Chukchi Sea // *Progress in Oceanography*. 2002. Vol. 55. P. 77–94.
65. Pipko I. I., Pugach S. P., Semiletov I. P., Anderson L. G., Shakhova N. E., Gustafsson Ö., Repina I. A., Spivak E. A., Charkin A. N., Salyuk A. N., Shcherbakova K. P., Panova E. V., Dudarev O. V. The dynamics of the carbon dioxide system in the outer shelf and slope of the Eurasian Arctic Ocean // *Ocean Sci*. 2017. Vol. 13. P. 997–1016.
66. Пипко И., Семилетов И., Пугач С. О карбонатной системе вод Восточно-Сибирского моря // *Доклады Академии наук*. 2005. Т. 402, № 3. С. 398–401.
67. Semiletov I. P. Destruction of the coastal permafrost ground as an important factor in biogeochemistry of the Arctic Shelf waters // *Trans. (Doklady) Russian Acad. Sci*. 1999. Vol. 368. P. 679–682. (Translated into English).
68. Semiletov I. P., Makshtas A. P., Akasofu S., Andreas E. Atmospheric CO<sub>2</sub> balance: The role of Arctic sea ice // *Geophysical Research Letters*. 2004. Vol. 31, N5. L05121. DOI: 10.1029/2003GL017996.
69. Bates N. Marine Carbon Cycle Feedbacks // *Arctic Climate Feedbacks: Global Implications* / eds. Martin Sommerkorn, Susan Joy Hassol. Published by WWF International Arctic Programme August, 2009. P. 55–68. ISBN: 978-2-88085-305-1.
70. Semiletov I., Dudarev O., Luchin V., Charkin A., Shin K., Tanaka N. The East-Siberian Sea as a transition zone between the Pacific origin water and local shelf water // *Geophysical Research Letters*. 2005. Vol. 32. L10614. DOI: 10.1029/2005GL022490.
71. Rusanov I. I., Savvichev A. S., Zasko D. N., Sigalevich P. A., Pipko I. I., Pugach S. P., Pimenov N. V., Semiletov I. P. Primary production and microbial heterotrophy in the Siberian arctic seas, Bering Strait, and Gulf of Anadyr, Bering Sea // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2024. Vol. 299. 108673.
72. Semiletov I., Pipko I. I., Repina I. A., Shakhova N. Carbonate dynamics and carbon dioxide fluxes across the atmosphere-ice-water interfaces in the Arctic Ocean Pacific sector of the Arctic // *Journal of Marine Systems*. 2007. Vol. 66. P. 204–226.
73. Semiletov I., Pipko I., Gustafsson Ö., Anderson L. G., Sergienko V., Pugach S., Dudarev O., Charkin A., Gukov A., Bröder L., Andersson A., Spivak E., Shakhova N. Extreme acidification in the East Siberian Arctic Shelf driven by a permafrost-released carbon translocation and seawater freshening // *Nature Geoscience*. 2016. Vol. 9. P. 361–365. DOI: 10.1038/NGeo2695.
74. Pugach S. P., Pipko I. I., Shakhova N. E., Shirshin E. A., Perminova I. V., Gustafsson Ö. et al. Dissolved organic matter and its optical characteristics in the Laptev and East Siberian seas: spatial distribution and interannual variability (2003–2011) // *Ocean Sci*. 2018. Vol. 14 (1). P. 87–103.
75. Macdonald R. W., Anderson L. G., Christensen J. P., Miller L. A., Semiletov I. P., Stein R., The Arctic Ocean: budgets and fluxes // *Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins: A Global Synthesis* / eds. K.-K. Liu, L. Atkinson, R. Quinones, L. Talaue-McManus. Springer-Verlag, 2008. P. 291–303.

76. Semiletov I.P., Shakhova N.E., Pipko I.I., Pugach S.P., Charkin A.N., Dudarev O.V., Kosmach D.A., Nishino S. Space-time dynamics of carbon stocks and environmental parameters related to carbon dioxide emissions in the Buor-Khaya Bay of the Laptev Sea // *Biogeosciences*. 2013. Vol. 10. P. 5977–5996. DOI: 10.5194/bg-10-5977-2013.
77. Belzil C., Roesler C.S., Christensen J.P., Shakhova N., Semiletov I. Fluorescence measured using the WETStar DOM fluorometer as a proxy for dissolved matter absorption // *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 2006. Vol. 67. P. 41–449.
78. Kaltin S., Anderson L.G. Uptake of atmospheric carbon dioxide in Arctic shelf seas: evaluation of the relative importance of processes that influence pCO<sub>2</sub> in water transported over the Bering-Chukchi Sea shelf // *Mar. Chem.* 2005. Vol. 94. P. 67–79.
79. Gosink T.A., Pearson J.G., Kelley J.J. Gas movement through sea ice // *Nature*. 1976. Vol. 263. P. 41–42.
80. Kelley J.J., Gosink T.A. Gases in Sea Ice. Final Report: Contract N000 14-76C-0331, Institute of Marine Science, University of Alaska. Fairbanks, Alaska, 1979. 107 p.
81. Semiletov I.P. On seasonal variability of hydrocarbon gases and dissolved oxygen in the Uglovoye Bay, the Japan Sea // *Proc. Far-Eastern Hydrometeorological Institute*. 1987. Vol. 131. P. 80–84. (In Russ.).
82. Alling V., Sanchez-Garcia L., Porcelli D., Pugach S., Vonk J., van Dongen B., Mörth C.M., Anderson L.G., Sokolov A., Andersson P., Humborg C., Semiletov I., Gustafsson Ö. Non-conservative behavior of dissolved organic carbon across the Laptev and East Siberian seas // *Global Biogeochemical Cycles*. 2010. Vol. 24. GB4033.
83. Vonk J.E., Sánchez-García L., van Dongen B.E., Alling V., Kosmach D., Charkin A., Semiletov I.P., Dudarev O.V., Shakhova N., Roos P., Eglinton T.I., Andersson A., Gustafsson Ö. Activation of old carbon by erosion of coastal and subsea permafrost in Arctic Siberia // *Nature*. 2012. Vol. 489 (7414). P. 137–140.
84. Semiletov I.P., Pipko I.I., Shakhova N.E., Dudarev O.V., Pugach S.P., Charkin A.N., McRoy C.P., Kosmach D., Gustafsson Ö. Carbon transport by the Lena River from its headwaters to the Arctic Ocean, with emphasis on fluvial input of terrestrial particulate organic carbon vs. carbon transport by coastal erosion // *Biogeosciences*. 2011. Vol. 8. P. 2407–2426.
85. Guo L., Semiletov I., Gustafsson O., Ingri J., Anderson P., Dudarev O., White D. Characterization of Siberian Arctic coastal sediments: Implications for terrestrial carbon export // *Global Biogeochemical Cycles*. 2004. Vol. 18. GB1036. DOI: 10.1029/2003 GBO 02087.
86. Vetrov A.A., Semiletov I.P., Dudarev O.V., Peresipkin V.I., Charkin A.N. Study of composition and origin of organic matter in the East-Siberian Sea bottom sediments // *Geokhimiya (Geochemistry)*. 2008. Vol. 3. P. 183–195. (Translated in English).
87. Pipko I.I., Semiletov I.P., Tischenko P. Ya., Pugach S.P., Savelieva N.I. Carbon System Parameters Variability in the East-Siberian Sea Coastal-Shelf Zone during Fall Season // *Okeanologiya (Oceanology)*. 2008. Vol. 48 (1). P. 59–72. (Translated in English).
88. Pipko I.I., Semiletov I.P., Pugach S.P., Wahlström I., Anderson L.G. Interannual variability of air-sea CO<sub>2</sub> fluxes and carbon system in the East Siberian Sea // *Biogeosciences*. 2011. Vol. 8. P. 1987–2007. DOI: 10.5194/bg-8-1987-2011.
89. Anderson L.G., Jutterström S., Hjalmarsson S., Wahlström I., Semiletov I.P. Out-gassing of CO<sub>2</sub> from Siberian Shelf seas by terrestrial organic matter decomposition // *Geophysical Research Letters*. 2009. Vol. 36. L20601. DOI: 10.1029/2009GL040046.
90. Semiletov I.P., Pipko I.I. Sinks and sources of carbon dioxide in the Arctic Ocean // *Transactions of Russian Academy of Sciences*. 2007. Vol. 414 (3). (Translated in English by Springer).
91. Shakhova N., Semiletov I. Methane release and coastal environment in the East Siberian Arctic shelf // *Journal of Marine Systems*. 2007. Vol. 66 (1/4). P. 227–243.
92. Savvichev A.S., Rusanov I.I., Pimenov N.V., Zakharova E.E., Veslopolova E.F., Lein A.Y., Crane K., Ivanov M.V. Microbial processes of the carbon and sulfur cycles in the Chukchi Sea // *Microbiology*. 2007. Vol. 76. P. 603–613. DOI: 10.1134/S0026261707050141.
93. Namsaraev B.B., Rusanov I.I., Mitskevich I.N., Veslopolova E.F., Bolshakov A.M., Egorov A.V. Bacterial methane oxidation rates in waters and sediments of the Kara Sea and the Yenisey River estuary. Supplement to: Namsaraev B.B. et al. Bacterial oxidation of methane in the Yenisey River estuary and the Kara Sea // *Oceanology*. 1995. Vol. 35 (1). P. 80–85.
94. Are F.E. The problem of the emission of deep-buried gases to the atmosphere // *Permafrost Response on Economic Development, Environmental Security and Natural Resources* / eds. R. Paepé., V.P. Melnikov, E. van Overloop, V.D. Gorokhov. Dordrecht, Netherlands: Springer, 2001. P. 497–509.

95. Зубов Н.Н. Морские воды и льды. Л.: Гидрометеиздат, 1938. 454 с.
96. Reeburg W.S. Oceanic methane biogeochemistry // *Chem. Rev.* 2007. Vol. 107. P. 486–513.
97. Shakhova N.E., Nicolsky D., Semiletov I.P. On the current state of sub-sea permafrost in the East-Siberian Shelf: testing of modeling results by observational data // *Transactions of Russian Academy of Sciences.* 2009. Vol. 429 (5). (Translated in English by Springer).
98. Shakhova N.E., Semiletov I.P. Characteristic features of carbon cycle in the shallow shelf of the eastern sector of Russian Arctic // *Environmental and Climate Changes and catastrophes* / eds. N.P. Laverov et al. Moscow: A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics Russian Academy of Sciences, 2008. Vol. 4. P. 167–181.
99. Steinbach J., Holmstrand H., Scherbakova K., Kosmach D., Bruchr V., Shakhova N., Salyuk A., Sapart C., Chernikh D., Noormets R., Semiletov I., Gustafsson O. Source Apportionment of Methane Escaping the Subsea Permafrost System in the Outer Eurasian Arctic Shelf // *Proceedings National Academy of Sciences (PNAS).* 2021. Vol. 118 (10). e2019672118. DOI: 10.1073/pnas.2019672118.
100. Savelieva N.I., Semiletov I.P., Vasilevskaya L.N., Pugach S.P. A climate shift in seasonal values of meteorological and hydrological parameters for Northeastern Asia // *Progress in Oceanography.* 2000. Vol. 47 (2/4). P. 279–297.
101. Semiletov I.P., Savelieva N.I., Weller G.E., Pipko I.I., Pugach S.P., Gukov A. Yu., Vasilevskaya L.N. The Dispersion of Siberian River Flows into Coastal Waters: Meteorological, Hydrological and Hydrochemical Aspects // *The Freshwater Budget of the Arctic Ocean, NATO Meeting* / ed. E.L. Lewis; NATO ASI Series. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000. P. 323–367.
102. Smith L.C., Sheng Y., MacDonald G.M., Hinzman L.D. Disappearing Arctic Lakes // *Science.* 2005. Vol. 308 (5727). 1429.
103. Zimov S.A., Semiletov I.P., Daviodov S.P., Voropaev Yu. V., Prosyannikov S.F., Wong C.S., Chan Y.-H. Wintertime CO<sub>2</sub> emission from soils of Northeastern Siberia // *Arctic.* 1993. Vol. 46. P. 197–204.
104. Makogon Y.F., Holditch S.A., Makogon T.Y. Natural gas-hydrates – A potential energy source for the 21st Century // *Journal of Petroleum Science and Engineering.* 2007. Vol. 56 (1). P. 14–31.
105. Shakhova N.E., Sergienko V.I., Semiletov I.P. Modern state of the role of the East Siberian Shelf in the methane cycle // *Herald of the Russian Academy of Sciences.* 2009. Vol. 79, N6. P. 507–518.
106. Imaev V.S., Imaeva L.P., Koz'min B.M. Seismotectonics of Yakutia. Moscow: GEOS, 2000. (In Russ.).
107. Hope C., Schaefer K. Economic impacts of carbon dioxide and methane released from thawing permafrost // *Nature Climate Change.* 2016. Vol. 6. P. 56–59. DOI: 10.1038/nclimate2807.
108. Whitman G., Hope C., Wadhams P. Climate science: Vast costs of Arctic change // *Nature.* 2013. Vol. 449. P. 401–403.
109. Natali S.M., Holdren J.P., Rogers B.M., Treharne R., Duffy P.B., Pomerance R. et al. Permafrost carbon feedbacks threaten global climate goals // *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2021. Vol. 118 (21). e2100163118.
110. Barnard P.E., Moomaw W.R., Fioramonti L., Laurance W.F., Mahmoud M.I., O'Sullivan J., Rapley C.G., Rees W.E., Rhodes C.J., Ripple W.J., Semiletov I.P., Talberth J., Tucker C., Wysham D., Ziervogel G. World Scientists' Warnings Into Action, Local to Global // *Science Progress.* 2021. Vol. 104, N4. P. 1–32.

## REFERENCES

1. Barnola J.M., Raynaud D., Korotkevich Ye.S., Lorius C. Vostok ice core provides 160,000 year record of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature.* 1987;329:408–414.
2. Chappellaz J., Barnola J.M., Raynaud D., Korotkevich Ye.S., Lorius C. Ice core record of atmospheric methane over the past 160,000 years. *Nature.* 1990;345:127–131.
3. Jouzel J., Lorius C., Petit J.R., Genthon C., Barkov N.I., Kotlyakov V.M., Petrov V.M. Vostok ice core: a continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160,000). *Nature.* 1987;329(6138):403–408.
4. Jouzel J., Barkov N.I., Barnola J.M., Bender M., Chappellaz J., Genthon G., Kotlyakov V.M., Lipenkov V., Lorius C., Petit J.R., Raynaud D., Raisbeck G., Ritz C., Sowers T., Stievenard M., Yiou F., Yiou P. Extending the Vostok ice-core record of paleoclimate to the penultimate glacial period. *Nature.* 1993;364:407–412.
5. Lorius C., Barkov N.I., Jouzel J., Korotkevich Ye.S., Kotlyakov V.M., Raynaud D. Antarctic Ice Core: CO<sub>2</sub> and climatic change over the last climatic cycle. *EOS.* 1988;69(26):681–684.

6. Lorius C., Jouzel J., Raynaud D., Hansen J., Letret H. The ice-core record: climate sensitivity and future greenhouse warming. *Nature*. 1990;347:139–145.
7. Serreze M.C., Francis J. The Arctic amplification debate. *Climatic Change*. 2006;76:241–264. DOI: 10.1007/s10584-005-9017.
8. ACIA (Arctic Climate Impact Assessment): Overview report. Cambridge Univ. Press; 2004. 140 p.
9. IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom; New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2001. 881 p.
10. Bydiko M.I. Climate in the past and present, Leningrad: Hydromet Press; 1980. 351 p. (In Russ.).
11. Imbri J., Imbri K.P. Mystery of ice epochs. Moscow: Prohress Press; 1988. 263 p. (In Russ.).
12. Vernadsky V.I. Chemical structure of the Earth biosphere and surrounding planets. Moscow: Nauka Press; 1965. 373 p. (In Russ.).
13. Lewis S.L., Maslin M.A. Defining the Anthropocene. *Nature*. 2015;519:171–180.
14. IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. Geneva, Switzerland; 2023. P. 35–115. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
15. Tarnocai C., Canadell J.G., Schuur E.A.G., Kuhry P., Mazhitova G., Zimov S. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region. *Global Biogeochemical Cycle*. 2009;23. GB2023. DOI: 10.1029/2008GBO03327.
16. Semiletov I.P., Shakhova N.E., Sergienko V.I., Pipko I.I., Dudarev O. On Carbon Transport and Fate in the East Siberian Arctic Land-Shelf-Atmosphere System. *Environment Research Letters*. 2012;7. DOI: 10.1088/1748-9326/7/1/015201.
17. Shakhova N., Semiletov I., Chuvilin E. Understanding the Permafrost–Hydrate System and Associated Methane Releases in the East Siberian Arctic Shelf. *Geosciences*. 2019;9(6).
18. Soloviev V.A. (ed.). Cryothermy and natural hydrates in the Arctic Ocean. Leningrad: Sevmorgeologiya Press; 1987. 150 p.
19. Gramberg I.S., Kulakov Yu.N., Pogrebitsky Yu.E., Sorokov D.S. Arctic oil and gas super basin. In: *X World Petroleum Congress*. London; 1983. P. 93–99.
20. Shakhova N., Semiletov I., Leifer I., Salyuk A., Rekant P., Kosmach D. Geochemical and geophysical evidence of methane release over the East Siberian Arctic Shelf. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2010;115(C8).
21. Shakhova N.E., Semiletov I.P. Methane Hydrate Feedbacks. In: Martin Sommerkorn & Susan Joy Hassol (eds.). Arctic Climate Feedbacks: Global Implications, Published by WWF International Arctic Programme August; 2009. P. 81–92. ISBN: 978-2-88085-305-1.
22. Zavarzin G.A., Clark U. Biosphere and climate: biologist's view. *Privoda*. 1987;(6):65–77. (In Russ.).
23. Canadell J.G., Raupach M.R. Land Carbon Cycle Feedbacks. In: Martin Sommerkorn & Susan Joy Hassol (eds.). Arctic Climate Feedbacks: Global Implications, Published by WWF International Arctic Programme August; 2009. P. 69–80. ISBN: 978-2-88085-305-1.
24. Genthon C., Barnola J.M., Raynaud D., Lorius C., Jouzel J., Barkov N.I., Korotkevich Ye.S., Kotlyakov V.M. Vostok ice core: climatic response to CO<sub>2</sub> and orbital forcing changes over the last climatic cycle. *Nature*. 1987;329(6138):414–418.
25. Petit J., Jouzel J., Raynaud D. et al. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*. 1999;399:429–436. DOI: 10.1038/20859.
26. Rigby M., Prinn R.G., Fraser P.J. et al. Renewed growth of atmospheric methane. *Geophys. Res. Lett.* 2008;35. L22805. DOI: 10.1029/2008GL036037.
27. Semiletov I.P., Zimov S.A., Voropaev Yu.V., Davydov S.P., Barkov N.I., Gusev A.N., Lipenkov V. Ya. Atmospheric methane in past and present. *Trans. (Doklady) Russian Acad. Sci.* 196;345(5): 155–159.
28. Semiletov I.P., Pipko I.I., Pivovarov N. Ya., Popov V.V., Zimov S.A., Voropaev Yu.V., Davydov S.P. Atmospheric carbon emission from North Asian Lakes: a factor of global significance. *Atmospheric Environment*. 1996;30(10/11):1657–1671.
29. Semiletov I.P. On aquatic sources and sinks of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in the Polar Regions. *J. Atmos. Sci.* 1999;56:286–306.
30. Zimov S.A., Voropaev Yu. V., Semiletov I.P. et al. North Siberian Lakes: a methane source fueled by Pleistocene carbon. *Science*. 1997;277:800–802.

31. Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Yusupov V., Kosmach D., Gustafsson Ö. Extensive Methane Venting to the Atmosphere from Sediments of the East Siberian Arctic Shelf. *Science*. 2010;327(5970):1246–1250.
32. Shakhova N.E., Alekseev V.A., Semiletov I.P. Predicted methane emission on the East Siberian shelf. *Doklady Earth Sciences*. 2010;430(2):190–193.
33. Seneviratne S.I., Nicholls N., Easterling D. et al. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge, UK; New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2012. P. 109–230.
34. Dutton A., Carlson A.E., Long A.J., Milne G.A., Clark P.U., DeConto R., Horton B.P., Rahmstorf S., Raymo M.E. Sea-level rise due to polar ice-sheet mass loss during past warm periods. *Science*. 2015;349:aaa4019. DOI: 10.1126/science.aaa4019.
35. Solomon S., Plattner G.-K., Knutti R., Friedlingstein P. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *PNAS*. 2009;106(6):1704–1709.
36. Semiletov I.P. Ancient Ice Air Content of the Vostok Ice Core. In: Oremland S. (ed.). *Biogeochemistry of Trace Gases*. New York: Chapman and Hall Inc.; 1993. P. 46–59.
37. Semiletov I.P. Carbon cycle and global changes in the past and present. In: *Chemistry of seas and oceans*. Moscow: Nauka Press; 1995. P. 130–154. (In Russ.).
38. Kennett J.P., Cannariato K.G., Hendy I.L., Behl R.J. Methane hydrates in Quaternary Climate Change. Washington, D.C.: AGU; 2003. 317 p.
39. Kvenvolden K.A. Gas hydrates: Geological perspective and global change. *Rev. Geophys.* 1993;31:173–187.
40. Golytsin G.S., Ginsburg A.S. Estimation of possible abrupt methane warming 55 mln years in the past. *Doklady Academy of Sciences*. 2007;413(6). (In Russ.).
41. Chappellaz J., Blunier T., Raynaud D., Barnola J.M., Schwander J., Stauffer B. Synchronous changes in atmospheric CH<sub>4</sub> and Greenland climate between 40 and 8 kyr BP. *Nature*. 1993;336:443–445.
42. Etheridge D.M., Steele L.P., Francey R.J., Langenfelds R.L. Atmospheric methane between 1000 A.D. and present: Evidence of anthropogenic emissions and climatic variability. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 1998;103(D13):15979–15993.
43. Sapart C.J., Monteil G., Prokopiou M., van de Wal R.S.W., Kaplan J.O., Sperlich P. et al. Natural and anthropogenic variations in methane sources during the past two millennia. *Nature*. 2012;490(7418):85–89.
44. Rasmussen R.A., Khalil M.A.K. Atmospheric methane in the recent and ancient atmospheres: concentrations, trends and interhemispheric gradient. *J. Geoph. Res.* 1984;89(D7):11599–11605.
45. Chappellaz J. et al. Changes in atmospheric CH<sub>4</sub> gradient between Greenland and Antarctica during Holocene. *J. Geophys. Res.* 1997;102(D13):15987–15997.
46. Dallenbach A., Blunier T., Fluckiger J., Stauffer B. Changes in the atmospheric CH<sub>4</sub> gradient between Greenland and Antarctica during the Last Glacial and the transition to the Holocene. *Geophys. Res. Lett.* 2000;27(7):1005–1008.
47. Cuffey K.M., Clow G.D., Alley R.B., Stuiver M., Waddington E.D., Saltus R.W. Large Arctic Temperature Change at the Wisconsin-Holocene Glacial Transition. *Science*. 1995;270:455–458.
48. Romanovskii N.N., Gavrilov A.V., Tumskey V.E. Lake thermokarst and its role in formation of the coastal zone of the Laptev Sea shelf. *Earth Cryosphere*. 1999;3(3):79–91. (In Russ.).
49. Romanovskii N.N., Hubberten H.W., Gavrilov A.V., Eliseeva A.A., Tipenko G.S. Offshore permafrost and gas hydrate stability zone on the shelf of East Siberian Seas. *Geo-Marine Letters*. 2005;25(2):167–182.
50. Feely R.A., Sabine C.L., Takahashi T., Wanninkhof R. Uptake and Storage of Carbon Dioxide in the Ocean: the Global CO<sub>2</sub> Survey. *Oceanography*. 2001;14(4):18–32.
51. Takahashi T., Sutherland S.C., Sweeney C., Poisson A., Metz N., Tillbrook B., Bates N., Wanninkhof R., Feely R.A., Sabine C., Olafsson J., Nojiri Y. Global sea-air CO<sub>2</sub> flux based on climatological surface ocean pCO<sub>2</sub>, and seasonal biological and temperature effects. *Deep-Sea Res.* 2002;2(49):1601–1622.
52. Shakhova N., Semiletov I., Panteleev G. The distribution of methane on the Siberian Arctic shelves: Implications for the marine methane cycle. *Geophysical Research Letters*. 2005;32(9).
53. Shakhova N., Semiletov I., Leifer I., Sergienko V., Salyuk A., Kosmach D. et al. Ebullition and storm-induced methane release from the East Siberian Arctic Shelf. *Nature Geoscience*. 2014;7(1):64–70.
54. Wild B., Shakhova N., Dudarev O., Semiletov I. et al. Organic matter composition and greenhouse gas production of thawing subsea permafrost in the Laptev Sea. *Nature Communications*. 2022;13. 5057. DOI: 10.1038/s41467-022-32696-0.

55. Sapart C.J., Shakhova N., Semiletov I., Jansen J., Szidat S., Kosmach D., Dudarev O., van der Veen C., Egger M., Sergienko V., Salyuk A., Tumskey V., Tison J.L., Rockmann T. The origin of methane in the East Siberian Arctic Shelf unraveled with triple isotope analysis. *Biogeosciences*. 2017;14(9): 2283–2292.
56. Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V., Lobkovsky L., Yusupov V., Salyuk A. et al. The East Siberian Arctic Shelf: towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2015;373(2052). 20140451.
57. Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O., Sergienko V., Lobkovsky L., Dudarev O. et al. Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf. *Nature Communications*. 2017;8(1). 15872.
58. Romankevich E.A. Geochemistry of organic matter in the ocean. Moscow: Nauka Press; 1977. 256 p. (In Russ.).
59. Romankevich E.A., Vetrov A.A. Carbon cycle in the Russian arctic seas. Moscow: Nauka Press; 2001. 302 p. (In Russ.).
60. Romankevich E.A., Vetrov A.A. Carbon in the World Ocean. Moscow: GEOS; 2021. 352 p. ISBN978-5-89118-835-8. DOI 10.34756/GEOS.2021.16.37857.
61. Gramberg I.S. et al. (eds.). Arctic on the threshold of the third millennium. Sankt Petersburg: Nauka Press; 2000. 247 p. (In Russ.).
62. Stein R., Macdonald R.W. (eds.). The organic carbon cycle in the Arctic ocean, Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag; 2003. 363 p.
63. Bordovsky O.K., Semiletov I.P. Carbon exchange between the bottom water and sediments in the Sea of Okhotsk. *Doklady AN SSSR*. 1989;306(3):697–700. (In Russ.).
64. Pipko I., Semiletov I., Tishchenko P., Pugach S., Christensen J. Carbonate Chemistry dynamics in Bering Strait and the Chukchi Sea. *Progress in Oceanography*. 2002;55:77–94.
65. Pipko I.I., Pugach S.P., Semiletov I.P., Anderson L.G., Shakhova N.E., Gustafsson Ö., Repina I.A., Spivak E.A., Charkin A.N., Salyuk A.N., Shcherbakova K.P., Panova E.V., Dudarev O.V. The dynamics of the carbon dioxide system in the outer shelf and slope of the Eurasian Arctic Ocean. *Ocean Sci*. 2017;13:997–1016.
66. Pipko I.I., Semiletov I.P., Pugach S.P. On the carbonate system of the East Siberian Sea. *Doklady Akademii Nauk*. 2005;402(3):398–401. (In Russ.).
67. Semiletov I.P. Destruction of the coastal permafrost ground as an important factor in biogeochemistry of the Arctic Shelf waters. *Trans. (Doklady) Russian Acad. Sci*. 1999;368:679–682.
68. Semiletov I.P., Makshtas A.P., Akasofu S., Andreas E. Atmospheric CO<sub>2</sub> balance: The role of Arctic sea ice. *Geophysical Research Letters*. 2004;1(5). L05121. DOI: 10.1029/2003GL017996.
69. Bates N. Marine Carbon Cycle Feedbacks. In: Martin Sommerkorn & Susan Joy Hassol (eds.). Arctic Climate Feedbacks: Global Implications, Published by WWF International Arctic Programme August; 2009. P. 55–68. ISBN: 978-2-88085-305-1.
70. Semiletov I., Dudarev O., Luchin V., Charkin A., Shin K., Tanaka N. The East-Siberian Sea as a transition zone between the Pacific origin water and local shelf water. *Geophysical Research Letters*. 2005;32. L10614. DOI: 10.1029/2005GL022490.
71. Rusanov I.I., Savvichev A.S., Zasko D.N., Sigalevich P.A., Pipko I.I., Pugach S.P., Pimenov N.V., Semiletov I.P. Primary production and microbial heterotrophy in the Siberian arctic seas, Bering Strait, and Gulf of Anadyr, Bering Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2024;299. 108673.
72. Semiletov I., Pipko I., Repina I., Shakhova N. Carbonate dynamics and carbon dioxide fluxes across the atmosphere-ice-water interfaces in the Arctic Ocean Pacific sector of the Arctic. *Journal of Marine Systems*. 2007;66:204–226.
73. Semiletov I., Pipko I., Gustafsson Ö., Anderson L.G., Sergienko V., Pugach S., Dudarev O., Charkin A., Gukov A., Bröder L., Andersson A., Spivak E., Shakhova N. Extreme acidification in the East Siberian Arctic Shelf driven by a permafrost-released carbon translocation and seawater freshening. *Nature Geoscience*. 2016;9:361–365. DOI: 10.1038/NGEO2695.
74. Pugach S.P., Pipko I.I., Shakhova N.E., Shirshin E.A., Perminova I.V., Gustafsson Ö. et al. Dissolved organic matter and its optical characteristics in the Laptev and East Siberian seas: spatial distribution and interannual variability (2003–2011). *Ocean Sci*. 2018;14(1):87–103.
75. Macdonald R.W., Anderson L.G., Christensen J.P., Miller L.A., Semiletov I.P., Stein R. The Arctic Ocean: budgets and fluxes. In: K.-K. Liu, L. Atkinson, R. Quinones, L. Talaue-McManus (eds.). Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins: A Global Synthesis. Springer-Verlag; 2008. P. 291–303.

76. Semiletov I.P., Shakhova N.E., Pipko I.I., Pugach S.P., Charkin A.N., Dudarev O.V., Kosmach D.A., Nishino S. Space-time dynamics of carbon stocks and environmental parameters related to carbon dioxide emissions in the Buor-Khaya Bay of the Laptev Sea. *Biogeosciences*. 2013;10:5977–5996. DOI: 10.5194/bg-10-5977-2013.
77. Belzil C., Roesler C.S., Christensen J.P., Shakhova N., Semiletov I. Fluorescence measured using the WETStar DOM fluorometer as a proxy for dissolved matter absorption. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 2006;67:441–449.
78. Kaitin S., Anderson L.G. Uptake of atmospheric carbon dioxide in Arctic shelf seas: evaluation of the relative importance of processes that influence pCO<sub>2</sub> in water transported over the Bering-Chukchi Sea shelf. *Mar. Chem.* 2005;94:67–79.
79. Gosink T.A., Pearson J.G., Kelley J.J. Gas movement through sea ice. *Nature*. 1976;263:41–42.
80. Kelley J.J., Gosink T.A. Gases in Sea Ice. Final Report: Contract N000 14-76C-0331, Institute of Marine Science, University of Alaska, Fairbanks, Alaska; 1979. 107 p.
81. Semiletov I.P. On seasonal variability of hydrocarbon gases and dissolved oxygen in the Uglovoe Bay, the Japan Sea Proc. *Far-Eastern Hydrometeorological Institute*. 1987;131:80–84. (In Russ.).
82. Alling V., Sanchez-Garcia L., Porcelli D., Pugach S., Vonk J., van Dongen B., Mörrh C.M., Anderson L.G., Sokolov A., Andersson P., Humborg C., Semiletov I., Gustafsson Ö. Non-conservative behavior of dissolved organic carbon across the Laptev and East Siberian seas. *Global Biogeochemical Cycles*. 2010;24. GB4033.
83. Vonk J.E., Sánchez-García L., van Dongen B.E., Alling V., Kosmach D., Charkin A., Semiletov I.P., Dudarev O.V., Shakhova N., Roos P., Eglinton T.I., Andersson A., Gustafsson Ö. Activation of old carbon by erosion of coastal and subsea permafrost in Arctic Siberia. *Nature*. 2012;489(7414):137–140.
84. Semiletov I.P., Pipko I.I., Shakhova N.E., Dudarev O.V., Pugach S.P., Charkin A.N., McRoy C.P., Kosmach D., Gustafsson Ö. Carbon transport by the Lena River from its headwaters to the Arctic Ocean, with emphasis on fluvial input of terrestrial particulate organic carbon vs. carbon transport by coastal erosion. *Biogeosciences*. 2011;8:2407–2426.
85. Guo L., Semiletov I., Gustafsson O., Ingri J., Anderson P., Dudarev O., White D., Characterization of Siberian Arctic coastal sediments: Implications for terrestrial carbon export. *Global Biogeochemical Cycles*. 2004;18. GB1036. DOI: 10.1029/2003 GBO 02087.
86. Vetrov A.A., Semiletov I.P., Dudarev O.V., Peresipkin V.I., Charkin A.N. Study of composition and origin of organic matter in the East-Siberian Sea bottom sediments. *Geokhimiya (Geochemistry)*. 2008;3:183–195. (Translated in English).
87. Pipko I.I., Semiletov I.P., Tischenko P. Ya., Pugach S.P., Savelieva N.I. Carbon System Parameters Variability in the East-Siberian Sea Coastal-Shelf Zone during Fall Season. *Okeanologiya (Oceanology)*. 2008;48(1):59–72. (Translated in English).
88. Pipko I.I., Semiletov I.P., Pugach S.P., Wählström I., Anderson L.G. Interannual variability of air-sea CO<sub>2</sub> fluxes and carbon system in the East Siberian Sea. *Biogeosciences*. 2011;8:1987–2007. DOI: 10.5194/bg-8-1987-2011.
89. Anderson L.G., Jutterström S., Hjalmarsson S., Wahlström I., Semiletov I.P. Out-gassing of CO<sub>2</sub> from Siberian Shelf seas by terrestrial organic matter decomposition. *Geophysical Research Letters*. 2009;36. L20601. DOI: 10.1029/2009GL040046.
90. Semiletov I.P., Pipko I.I. Sinks and sources of carbon dioxide in the Arctic Ocean. *Transactions of Russian Academy of Sciences*. 2007;414(3). (Translated in English by Springer).
91. Shakhova N., Semiletov I. Methane release and coastal environment in the East Siberian Arctic shelf. *Journal of Marine Systems*. 2007;66(1/4):227–243.
92. Savvichev A.S., Rusanov I.I., Pimenov N.V., Zakharova E.E., Veslopolova E.F., Lein A.Y., Crane K., Ivanov M.V. Microbial processes of the carbon and sulfur cycles in the Chukchi Sea. *Microbiology*. 2007;76:603–613. DOI: 10.1134/S0026261707050141.
93. Namsaraev B.B., Rusanov I.I., Mitskevich I.N., Veslopolova E.F., Bolshakov A.M., Egorov A.V. Bacterial methane oxidation rates in waters and sediments of the Kara Sea and the Yenisey River estuary. Supplement to: Namsaraev B.B. et al. Bacterial oxidation of methane in the Yenisey River estuary and the Kara Sea. *Oceanology*. 1995;35(1):80–85. (PANGAEA; 1995).
94. Are F.E. The problem of the emission of deep-buried gases to the atmosphere. In: Paeppe R., Melnikov V.P., van Overloop E., Gorokhov V.D. (eds.). Permafrost Response on Economic Development, Environmental Security and Natural Resources. Dordrecht, Netherlands: Springer; 2001. P. 497–509.

95. Zubov N.N. Sea waters and ice. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1938. 454 p. (In Russ.).
96. Reeburg W.S. Oceanic methane biogeochemistry. *Chem. Rev.* 2007;107:486–513.
97. Shakhova N.E., Nicolsky D., Semiletov I.P. On the current state of sub-sea permafrost in the East-Siberian Shelf testing of modeling results by observational data. *Transactions of Russian Academy of Sciences.* 2009;429(5). (Translated in English by Springer).
98. Shakhova N.E., Semiletov I.P. Characteristical features of carbon cycle in the shallow shelf of the eastern sector of Russian Arctic. In: N.P. Laverov et al. (eds.). *Environmental and Climate Changes and catastrophes.* Moscow: A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics Russian Academy of Sciences; 2008. Vol. 4. P. 167–181.
99. Steinbach J., Holmstrand H., Scherbakova K., Kosmach D., Bruchrt V., Shakhova N., Salyuk A., Sapart C., Chernikh D., Noormets R., Semiletov I., Gustafsson O. Source Apportionment of Methane Escaping the Subsea Permafrost System in the Outer Eurasian Arctic Shelf. *Proceedings National Academy of Sciences (PNAS).* 2021;118(10). DOI: 10.1073/pnas.2019672118.
100. Savelieva N.I., Semiletov I.P., Vasilevskaya L.N., Pugach S.P. A climate shift in seasonal values of meteorological and hydrological parameters for Northeastern Asia. *Progress in Oceanography.* 2000;47(2/4):279–297.
101. Semiletov I.P., Savelieva N.I., Weller G.E., Pipko I.I., Pugach S.P., Gukov A. Yu., Vasilevskaya L.N. The Dispersion of Siberian River Flows into Coastal Waters: Meteorological, Hydrological and Hydrochemical Aspects. In: *The Freshwater Budget of the Arctic Ocean, NATO Meeting / NATO ASI Series.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 2000. P. 323–367.
102. Smith L.C., Sheng Y., MacDonald G.M., Hinzman L.D. Disappearing Arctic Lakes. *Science.* 2005;308(5727):1429.
103. Zimov S.A., Semiletov I.P., Daviodov S.P., Voropaev Yu. V., Prosyannikov S.F., Wong C.S., Chan Y.-H. Wintertime CO<sub>2</sub> emission from soils of Northeastern Siberia. *Arctic.* 1993;46:197–204.
104. Makogon Y.F., Holditch S.A., Makogon T.Y. Natural gas-hydrates – A potential energy source for the 21st Century. *Journal of Petroleum Science and Engineering.* 2007;56(1):14–31.
105. Shakhova N.E., Sergienko V.I., Semiletov I.P. Modern state of the role of the East Siberian Shelf in the methane cycle. *Herald of the Russian Academy of Sciences.* 2009;79(6):507–518.
106. Imaev V.S., Imaeva L.P., Koz'min B.M. Seismotectonics of Yakutia. Moscow: GEOS; 2000. (In Russ.).
107. Hope C., Schaefer K. Economic impacts of carbon dioxide and methane released from thawing permafrost. *Nature Climate Change.* 2015;6:56–59. DOI: 10.1038/nclimate2807.
108. Whitman G., Hope C., Wadhams P. Climate science: Vast costs of Arctic change. *Nature.* 2013;449:401–403.
109. Natali S.M., Holdren J.P., Rogers B.M., Treharne R., Duffy P.B., Pomerance R. et al. Permafrost carbon feedbacks threaten global climate goals. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2021;118(21). e2100163118.
110. Barnard P.E., Moomaw W.R., Fioramonti L., Laurance W.F., Mahmoud M.I., O'Sullivan J., Rapley C.G., Rees W.E., Rhodes C.J., Ripple W.J., Semiletov I.P., Talberth J., Tucker C., Wysham D., Ziervogel G. World Scientists' Warnings Into Action. *Local to Global. Science Progress.* 2021;104(4):1–32.

Научная статья  
УДК 550.344.385  
DOI: 10.31857/S0869769824040022  
EDN: IRKHNM

## Трудности обоснования антропогенной концепции глобального потепления и сейсмогенно-триггерный механизм климатических изменений

Л.И. Лобковский, И.П. Семилетов, А.А. Баранов<sup>✉</sup>, И.С. Владимирова

*Леопольд Исаевич Лобковский*

академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия  
Международный Центр Дальневосточных и Арктических морей им. адмирала С.О. Макарова,  
Сахалинский государственный университет-СахалинГЕСН, Южно-Сахалинск, Россия  
Lobkovsky@ocean.ru  
<http://orcid.org/0000-0002-8033-8452>

*Игорь Петрович Семилетов*

член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор  
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия  
Международный Центр Дальневосточных и Арктических морей им. адмирала С.О. Макарова,  
Сахалинский государственный университет-СахалинГЕСН, Южно-Сахалинск, Россия  
ipsemiletov@gmail.com  
<http://orcid.org/0000-0003-1741-6734>

*Алексей Андреевич Баранов*

кандидат физико-математических наук  
Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, Россия  
aabanov@gmail.com  
<http://orcid.org/0000-0002-7793-5555>

*Ирина Сергеевна Владимирова*

кандидат физико-математических наук  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия  
vladis@gsras.ru  
<http://orcid.org/0000-0002-7301-7183>

**Аннотация.** Обсуждаются трудности обоснования антропогенной концепции глобального потепления и предлагается сейсмогенно-триггерный механизм климатических изменений. Суть этого механизма состоит в том, что метан, содержащийся в микропорах мерзлых пород в запертом состоянии, может быть освобожден в результате разрушения микроструктуры среды из-за добавочных напряжений, вызванных триггерным эффектом деформационных волн, проходящих через газонасыщенные области осадочных толщ. Сами волны генерируются сильнейшими землетрясениями, происходящими в зонах субдукции. При характерной скорости деформационных волн порядка 100 км/год они

проходят расстояние около 2000–2500 км от Алеутской и Курило-Камчатской зон субдукции до Арктической зоны примерно за 20–25 лет. Это соответствует разнице во времени между серией наиболее мощных землетрясений с магнитудой больше 8,5, произошедших в этих зонах в интервале 1952–1965 гг., и началом резкого потепления климата в 1980 г. После запуска процесса фильтрации газа в результате разрушения микроструктуры пор и резкого повышения проницаемости геосреды вследствие воздействия деформационной волны процесс эмиссии метана может продолжаться автономно в течение десятков и даже сотен лет в зависимости от толщины нарушенного газонасыщенного слоя. Этим объясняется продолжающаяся эмиссия метана на арктическом шельфе последние сорок с лишним лет после инициировавших ее сильнейших землетрясений середины прошлого века.

**Ключевые слова:** сильнейшие землетрясения, потепление климата, Арктика, газгидраты, эмиссия метана, триггерный механизм, деформационные волны

**Для цитирования:** Лобковский Л. И., Семилетов И. П., Баранов А. А., Владимирова И. С. Трудности обоснования антропогенной концепции глобального потепления и сейсмогенно-триггерный механизм климатических изменений // Вестн. ДВО РАН. 2024. № 4. С. 44–59.  
<http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040022>

**Финансирование.** Работа выполнена частично в рамках госзадания Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН № FMWE-2021-0004, частично при поддержке РФФ, грант № 21-77-3001, частично при поддержке Минобрнауки в рамках Программы развития «Приоритет-2030» Сахалинскому государственному университету, и частично в рамках госзадания Института теории прогноза землетрясений РАН № АААА-А19-119011490131-3.

Original article

## Difficulties in the anthropogenic concept of global warming and the seismogenic trigger mechanism of climate change

L. I. Lobkovsky, I. P. Semiletov, A. A. Baranov, I. S. Vladimirova

*Leopold I. Lobkovsky*

Academician of RAS, Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Professor Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
International Center of the Far-Eastern and Arctic Seas (named by admiral S.O. Makarov), Sakhalin State University/SakhTECH, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia  
[llobkovsky@ocean.ru](mailto:llobkovsky@ocean.ru)  
<http://orcid.org/0000-0002-8033-8452>

*Igor P. Semiletov*

Corresponding Member of RAS, Doctor of Sciences in Geology and Mineralogy, Professor V. I. Il'yichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia  
International Center of the Far-Eastern and Arctic Seas (named by admiral S.O. Makarov), Sakhalin State University/SakhTECH, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia  
[ipseiletov@gmail.com](mailto:ipseiletov@gmail.com)  
<http://orcid.org/0000-0003-1741-6734>

*Alexey A. Baranov*

Candidate of Sciences in Physics and Mathematics  
Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics, RAS, Moscow, Russia  
[aabaranov@gmail.com](mailto:aabaranov@gmail.com)  
<http://orcid.org/0000-0002-7793-5555>

Irina S. Vladimirova

Candidate of Sciences in Physics and Mathematics

Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

vladis@gsras.ru

<http://orcid.org/0000-0002-7301-7183>

**Abstract.** Difficulties in the anthropogenic concept of global warming are discussed and a seismogenic trigger mechanism for climate change is proposed. The essence of this mechanism is that methane contained in the micropores of frozen rocks in a locked state can be released as a result of the destruction of the microstructure of the environment due to additional stresses caused by the trigger effect of deformation waves passing through gas-saturated areas of sedimentary strata. The waves themselves are generated by the strongest earthquakes that occur in subduction zones. With a characteristic speed of deformation waves of the order of 100 km/year, they travel a distance of about 2000–2500 km from the Aleutian and Kuril-Kamchatka subduction zones to the Arctic zone in approximately 20–25 years. This corresponds to the time difference between a series of the most powerful earthquakes with a magnitude greater than 8.5, which occurred in these zones in the interval 1952–1965, and the beginning of a sharp climate warming in 1980. After the start of the gas filtration process as a result of the destruction of the pore microstructure and a sharp increasing the permeability of the geomedium due to the impact of a deformation wave, the process of methane emission can continue autonomously for tens and even hundreds of years, depending on the thickness of the disturbed gas-saturated layer. This explains the ongoing emission of methane on the Arctic shelf for the last forty-odd years after the strongest earthquakes of the middle of the last century that initiated it.

**Keywords:** large earthquakes, climate warming, Arctic, gas hydrates, methane emission, trigger mechanism, deformation waves

**For citation:** Lobkovsky L.I., Semiletov I.P., Baranov A.A., Vladimirova I.S. Difficulties in the anthropogenic concept of global warming and the seismogenic trigger mechanism of climate change. *Vestnik of the FEB RAS*. 2024;(4):44–59. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040022>

**Funding.** The work was carried out partially within the framework of the state assignment of the Institute of Oceanology named after. P.P. Shirshov RAS N FMWE-2021-0004, partially with the support of the Russian Science Foundation, grant N 21-77-3001, partially supported by the Ministry of Education and Science within the framework of the Priority-2030 Development Program to Sakhalin State University and partly within the framework of the state task of the Institute of Earthquake Forecast Theory of the Russian Academy of Sciences N AAAA-A19-119011490131-3.

## Введение

Согласно доминирующей в международном климатическом сообществе точке зрения о причинах современного потепления климата, данное явление вызвано в основном парниковым эффектом от промышленных выбросов углекислого газа в атмосферу. Взятое за аксиому, такое представление привело к ряду международных соглашений (Киотский протокол, Парижское соглашение и др.) по ограничению выбросов углекислого газа и заключению о необходимости быстрого перехода мирового сообщества к низкоуглеродной «зеленой» экономике. Однако, как показано в работе [1], такой односторонний подход к климатической проблеме является контрпродуктивным, так как не признает приоритета социально-экономических аспектов устойчивого развития общества. Наряду с этим все больше вопросов возникает при анализе исходных данных, положенных в основу антропогенной концепции потепления климата. Так, большую роль в обосновании данной концепции сыграла представленная одним из ее главных апологетов американским климатологом М. Манном картина изменения средней температуры Земли за последнюю тысячу лет в форме так называемой хоккейной клюшки, демонстрирующая резкий подъем температуры начиная с 1980 г. на фоне тысячелетнего периода относительно постоянного температурного уровня (рис. 1).

На рис. 1 показаны температуры за последние 2 тысячелетия (синий цвет) по отношению к средним значениям температуры 1850–1900 гг. (черный цвет). Заштрихованная область содержит доверительный интервал 68% [3, 4]. Эта картина фигурировала как одно из главных доказательств справедливости продвигаемой антропогенной концепции в нескольких

отчетах Международной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) начиная с конца 90-х годов предыдущего столетия. Однако широко разрекламированную среди различных слоев общества картину «хоккейной клюшки» нельзя признать адекватной, поскольку она игнорирует хорошо задокументированный средневековый температурный оптимум, а именно: в период X–XIII вв. температура Земли была сопоставима с сегодняшней при практически полном отсутствии в средние века промышленных выбросов углекислого газа в атмосферу (рис. 2).

На рис. 2 показаны графики реконструированной средней температуры Земли за последнюю тысячу лет: красным цветом показана глобальная температура из отчета МГЭИК 1990 г. [5] на основе температур центральной Англии [8], синим цветом показана глобальная температура из отчета МГЭИК 2001 г. [6] на основе работы [9], черным цветом показана глобальная температура из работы [7]. Хорошо видна существенная разница температурных кривых, опубликованных в отчетах МГЭИК за 1990 г. (красная кривая) и за 2001 г. (синяя кривая),

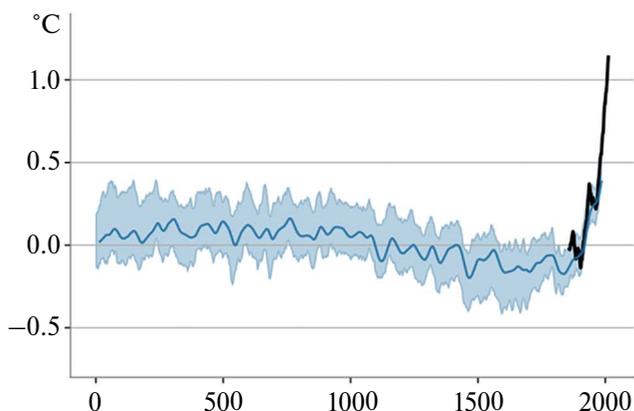


Рис. 1. Картина изменения средней температуры Земли за последние две тысячи лет. Синяя кривая – восстановленный по различным данным график температуры, синяя область – доверительный интервал, черным показана температура в инструментальный период [2], модифицировано.

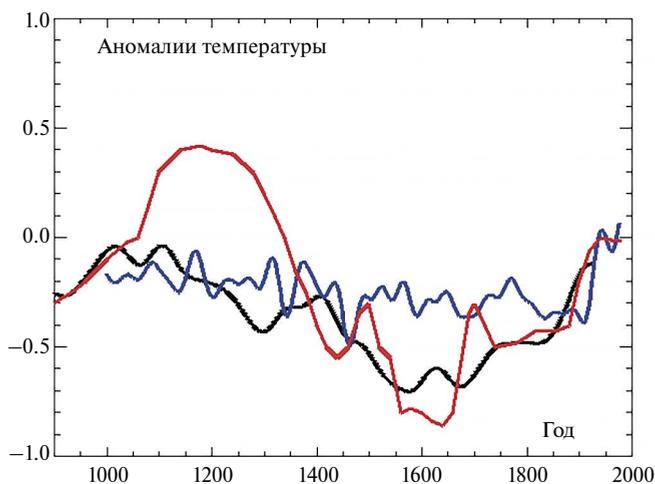


Рис. 2. Изменение средней температуры Земли за последнюю тысячу лет. Красный график – глобальная температура из отчета МГЭИК 1990 г. [5], модифицировано; синий график – глобальная температура из отчета 2001 г. [6], модифицировано; черный график – глобальная температура из работы [7], модифицировано.

а именно: в более позднем отчете исчезло значительное потепление, отвечающее уже упомянутому средневековому оптимуму. В дальнейшем выяснилось, что такая «модернизация» температурной кривой была сделана специально, чтобы убедить мировую общественность в абсолютной уникальности современного потепления климата и получить таким образом якобы неопровержимые доказательства справедливости утверждения об антропогенной природе глобального потепления. Отмеченная фальсификация данных, произведенная американским климатологом М. Манном и некоторыми его коллегами, получившая название «Климатгейт», была устранена в более позднем докладе МГЭИК 2013 г., где признается реальность теплой средневековой климатической аномалии (Medieval Climate Anomaly) в период с 950 по 1250 г. [10]. Однако доверие к аргументам активных сторонников антропогенной концепции потепления этим эпизодом было серьезно подорвано.

Другие сомнения в справедливости антропогенной концепции возникают при сопоставлении временного хода изменения средней температуры и объемов выброса углекислого газа в современную эпоху в XX и XXI вв. Исходя из этой концепции, естественно было бы ожидать, что должна наблюдаться прямая корреляция между объемами выбросов углекислого газа и изменениями температуры среды. Однако, как видно на рис. 3, имеет место фактически антикорреляция этих параметров для центральной части графика за период с 1940 по 1975 г. На нем показаны фазы потепления и похолодания климата в XX–XXI вв. в сравнении с изменениями объемов промышленных выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу. В частности, периоду 1945–1975 г. наиболее быстрого увеличения объемов выбросов  $\text{CO}_2$  отвечает период относительного похолодания Земли, что находится в явном противоречии с антропогенной концепцией. Далее, начавшемуся резко потеплению климата в районе 1980 г. соответствует локальный спад выбросов. Наконец, периоду подъема температуры 1920–1938 г. отвечает примерно одинаковый уровень выбросов  $\text{CO}_2$ . Показанное на рис. 3 отсутствие ожидаемой хотя бы качественной корреляции между средней температурой и объемами промышленных выбросов  $\text{CO}_2$  на существенных отрезках временной шкалы вряд ли может свидетельствовать в пользу антропогенной концепции потепления климата.

Отмеченные трудности в обосновании этой концепции предопределяют поиск альтернативных подходов к объяснению феномена потепления климата в короткопериодных масштабах времени порядка первых десятков лет. Если обратиться к быстрым крупномасштабным природным процессам геодинамического характера, обладающим большой мощностью, способным потенциально влиять на глобальную климатическую систему, то возможными

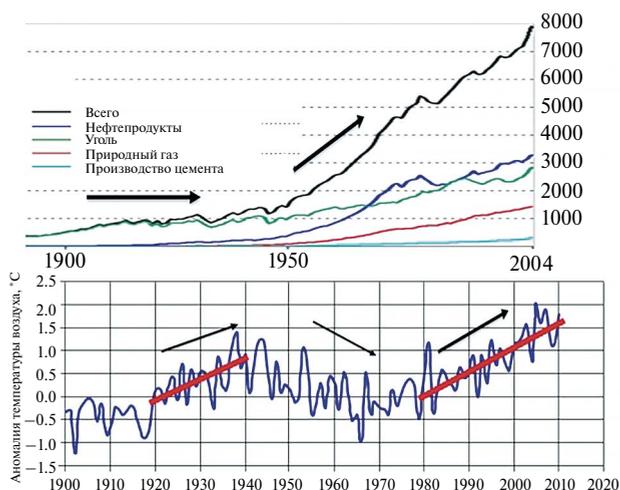


Рис. 3. Сопоставление графика объемов выбросов  $\text{CO}_2$  [11] и графика изменения средней температуры в Арктике на протяжении XX и начала XXI в. (исследования Арктического и Антарктического научно-исследовательского института), модифицировано. Красными жирными линиями показаны фазы быстрого потепления.

кандидатами предположительно могли бы выступить крупнейшие вулканические извержения или серии сильнейших землетрясений, происходящие в основном в зонах субдукции. Следует, однако, отметить, что крупнейшие вулканические извержения, как правило, приводят к похолоданию климата из-за выбросов огромных масс пепла в атмосферу, закрывающего большие площади поверхности Земли от солнечной инсоляции. Поэтому для объяснения потепления климата с позиций современной геодинамики остается версия возможного воздействия на климат сильнейших землетрясений. Такая точка зрения была впервые предложена в 2020 г. одним из авторов данной работы в виде сейсмогенно-триггерной гипотезы о генерации массивированной эмиссии метана из мерзлых пород арктического шельфа и прилегающих сухопутных областей мерзлоты, вызванной деформационными волнами, идущими от наиболее близко расположенных к Арктике зон субдукции, Алеутской и Курило-Камчатской, где иногда происходят сильнейшие землетрясения с магнитудами больше 8,5 [12–14]. В этих работах было показано, что начало современного резкого потепления в 1979–1980 г. можно объяснить деформационными волнами, пришедшими в Арктическую зону примерно через 20–25 лет после возникновения серии сильнейших землетрясений с магнитудами больше 8,5 в Алеутской зоне и северной части Курило-Камчатской зоны субдукции, которые произошли в интервале 1952–1965 гг. Деформационные волны, вызванные серией сильнейших землетрясений в указанных островных дугах, прошли расстояние 2000–2500 км между ними и Арктической зоной при средней скорости 100 км/год за 20–25 лет, приведя, благодаря триггерному механизму добавочных напряжений, к массивированным выбросам метана из осадочной толщи в атмосферу и соответствующему парниковому эффекту. Аналогичные сейсмогенно-триггерные процессы предположительно имеют место в Антарктике и окружающих ее зонах субдукции, результатом которых также стало разрушение подледных газгидратов, ускорение движения и разрушения ледников, начавшееся в 70-х годах прошлого столетия. В настоящей работе приводятся фактические данные и геодинамические оценки, развивающие и дополняющие сейсмогенно-триггерную гипотезу в приложении в основном к Арктическому региону.

### **Корреляция между уровнем сейсмической активности, интенсивностью эмиссии метана и климатическими изменениями**

Как отмечалось выше, в основе альтернативной концепции потепления лежит представление о массивированных выбросах метана из мерзлых осадочных пород арктического шельфа и прилегающих областей суши в результате триггерного механизма деформационных волн, идущих от очагов сильнейших землетрясений в Алеутской и Курило-Камчатской зонах субдукции. Наблюдается временной сдвиг на 20–25 лет между максимальной сейсмической активностью Земли в XX в., приходящейся на интервал 1952–1965 гг., и началом резкого потепления климата в 1979–1980 гг. (рис. 4).

Этот сдвиг связан с временем пробега деформационных волн от зон субдукции до Арктической зоны с характерной скоростью порядка 100 км/год. На рис. 5 показаны очаги серии сильнейших землетрясений в Алеутской и Курило-Камчатской островных дугах и условные траектории движения деформационных волн в сторону Арктики.

Как уже отмечалось, собственно механизм потепления климата в Арктике связан с парниковым эффектом от повышенной эмиссии метана из осадочных пород шельфа и суши Арктической зоны, содержащих большое количество скоплений газа в свободной форме и в виде частично диссоциированных метастабильных газгидратов. Эта гипотеза была предложена на основе открытия экстремально высоких концентраций атмосферного и растворенного метана в морях Восточной Арктики (Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское), которые представляют самый широкий и мелководный шельф Мирового океана, где находится более 80% всей подводной мерзлоты и гигантские запасы мелкозалегающих арктических гидратов [17, 18]. На протяжении последних лет было документировано нарушение сплошности подводной мерзлоты, что привело к формированию каналов пузырьковой газовой разгрузки с расходом, значительно превышающим эмиссию метана из всего Мирового океана [19–21]. Авторский обзор основных исследований, выполненных в этом направлении, приведен в [22].

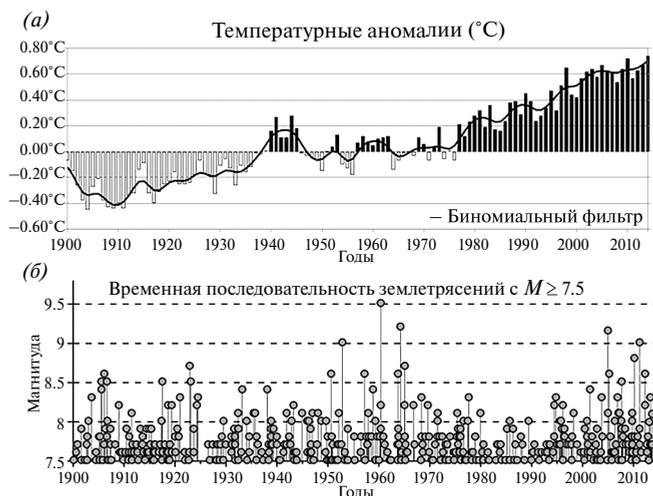


Рис. 4. Сопоставление графиков: *а* – изменения средней температуры в Арктике на протяжении XX и начала XXI в. [15], модифицировано; *б* – временной последовательности сильнейших землетрясений согласно [16], модифицировано.

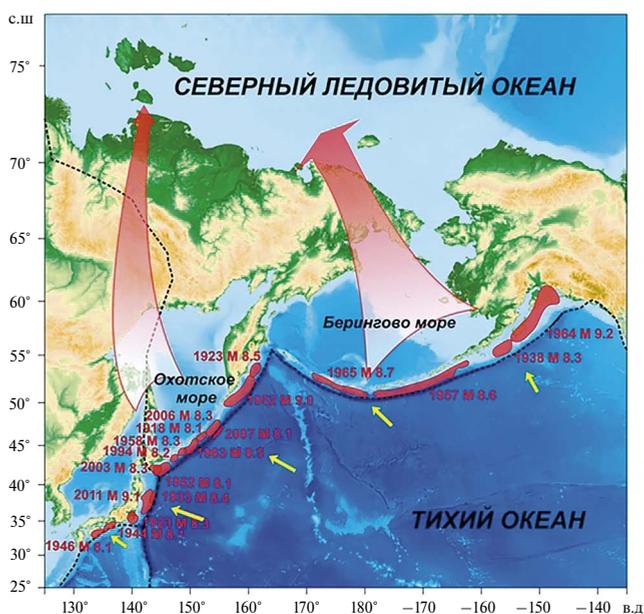


Рис. 5. Распространение деформационных волн в Арктический регион, вызванных сильнейшими землетрясениями в Алеутской и Курило-Камчатской зонах субдукции.

Эмиссия, происходящая как на суше, так и на шельфе, – следствие разрушения слабопроницаемой структуры мерзлых пород и общего повышения уровня трещиноватости осадочных толщ за счет дополнительных напряжений, возникающих в результате прихода деформационных волн литосферы в Арктическую зону из области их генерации в очагах мегаземлетрясений. Таков альтернативный по отношению к антропогенной точке зрения геодинамический механизм современного резкого потепления климата в Арктике.

На рис. 6 показано, как изменение уровня моря влияет на стабильность арктических газидратов: в последний ледниковый период уровень моря был понижен примерно

на 100 м [6, 17], и дно мелководного арктического шельфа выходило на поверхность, при этом среднегодовая температура была около  $-17^{\circ}\text{C}$ . После окончания ледникового периода наступило потепление, ледяные щиты на суше в Северном полушарии растаяли (исключая Гренландию) и уровень моря повысился примерно до современного, затопив мелководный шельф, при этом среднегодовая температура морской воды в рассматриваемом районе составила  $-1^{\circ}\text{C}$  [19]. Таким образом, температурные граничные условия сверху повысились примерно на 16 град. [22, 23].

Существует точка зрения, что современные выбросы метана связаны с деградацией подводной мерзлоты вследствие нагрева шельфа и разложением газгидратов в ходе голоценовой трансгрессии, которая началась примерно 10000–12000 лет назад [24, 25]. Восходящий геотермальный поток является другим фактором, влияющим на формирование каналов метановой разгрузки [17, 22]. По мере приближения мерзлоты к тепловому равновесию сверху и снизу ее температура приближается к температуре таяния, составляющей для солесодержащих пород чуть менее  $0^{\circ}\text{C}$ .

Кроме того, следует еще учитывать повышенную температуру в подкорковой мантии и повышенный тепловой поток, идущий из верхней мантии в области восточно-сибирской части шельфа от моря Лаптевых до Берингова пролива [26], по сравнению с западной частью шельфа от Баренцева моря до п-ова Таймыр, где эмиссия пузырькового метана малозначима [18]. Этот долгоиграющий фактор подогрева мерзлых пород снизу также может способствовать их нестабильности и распаду реликтовых газгидратов на шельфе восточной части российской Арктики.

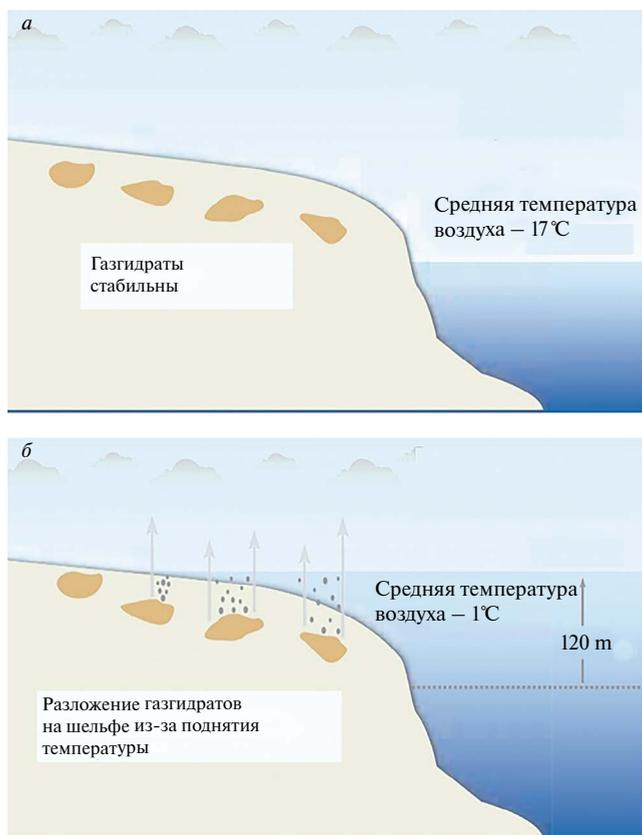


Рис. 6. Влияние изменения уровня моря на стабильность арктических газгидратов: *а* – холодный период, уровень моря понижен, дно мелководного арктического шельфа выходит на поверхность, среднегодовая температура  $-17^{\circ}\text{C}$ ; *б* – теплый период, уровень моря повышен, шельф затоплен, среднегодовая температура воды  $-1^{\circ}\text{C}$  [17].

Однако при объяснении современной эмиссии метана на арктическом шельфе вследствие разогрева гидратсодержащих пород из-за голоценовой трансгрессии встает вопрос о времени наступления интенсивной фазы эмиссии, приводящей к началу резкого потепления климата примерно в 1980 г. Данный вопрос связан с разными временными масштабами двух процессов: 1) процесса постепенного нагрева осадочных пород шельфа в течение приблизительно 10 тыс. лет вследствие трансгрессии и 2) процесса быстрого развития эмиссии метана в течение нескольких лет, с которой предположительно связано современное потепление климата. Разница в три порядка между характерными временами этих процессов заставляет думать, что должен существовать дополнительный триггерный механизм, быстро запускающий процесс эмиссии метана на фоне уже достаточно прогретых осадочных породах шельфа. Таким триггерным механизмом запуска эмиссии метана на шельфе могут быть вышеупомянутые деформационные волны, приходящие от очагов сильнейших землетрясений в Алеутской и Курило-Камчатской островных дугах.

В рассматриваемом здесь геодинамическом подходе известная концепция деформационных волн, первоначально придуманная для интерпретации процессов миграции сейсмической активности, используется в новом качестве – как возможный триггерный механизм воздействия на газонасыщенные осадочные породы, приводящий к эмиссии метана. Существенная особенность нашей модели деформационных волн состоит в учете не только механических возмущений литосферы, но и тепловых эффектов, связанных с фазовым переходом на границе литосфера–астеносфера, что позволяет объяснить возможность распространения деформационных волн на большие расстояния (порядка нескольких тысяч километров) со слабым затуханием, обеспечивая заметные добавочные напряжения в литосфере [27–29].

При обосновании *сейсмогенно-триггерной гипотезы* потепления климата важное значение имеют прямые измерения концентрации метана в атмосфере, проводимые учеными из США с начала 1980-х годов (NOAA Global Monitoring Laboratory measurements) [30]. На рис. 7, а, б отражены ежегодные измерения средней концентрации метана в атмосфере начиная с 1984 г. по настоящее время. Характерная особенность изменения во времени концентрации газа – различия в скорости ее роста для четырех временных интервалов: 1) интервал 1984–1992 гг. характеризуется относительно быстрым ростом концентрации метана; 2) интервал 1992–1999 гг. – замедлением роста концентрации; 3) интервал 1999–2007 гг. демонстрирует почти полное прекращение роста концентрации; 4) интервал 2007–2022 гг. вновь характеризуется быстрым ростом концентрации метана. На рис. 7, б показаны ежегодные приращения средней концентрации метана в атмосфере.

Для подтверждения сейсмогенно-триггерной гипотезы резкого потепления климата необходимо прежде всего убедиться в наличии пространственно-временной корреляции между сильнейшими землетрясениями и наблюдаемыми климатическими изменениями. Рассмотрим возможную корреляцию сильных событий и концентрации метана в атмосфере. Возникает вопрос: с чем могут быть связаны разные темпы роста содержания метана на протяжении последних 40 с лишним лет?

Исходя из сейсмогенно-триггерной гипотезы, следовало бы ожидать, что изменения темпа роста концентрации этого газа в атмосфере должны коррелировать с изменениями уровня выделения сейсмической энергии Земли (с учетом временного сдвига порядка 20 лет, связанного с временем пробега деформационных волн от очагов больших землетрясений до мест скопления метана, запятого в осадочных породах прежде всего Арктической зоны). Такую корреляцию иллюстрирует рис. 8: две огибающие кривые отражают изменение среднегодовых приращений концентрации метана в атмосфере в период 1984–2022 гг. и вариации уровня сейсмической активности Земли, определяемой сильнейшими землетрясениями с магнитудой больше 8 за период 1964–2002 гг. (с учетом упоминавшегося временного сдвига). Корреляционное подобие двух кривых, на наш взгляд, свидетельствует в пользу рассматриваемой нами гипотезы потепления климата.

Вместе с тем для некоторых временных интервалов на рис. 8 наблюдаются нарушения корреляции между кривыми изменения сейсмической активности и концентрации метана в атмосфере. К таким интервалам плохой корреляции относятся следующие временные отрезки: 1984–1985 гг., 1995–1998 гг., 2001–2004 гг., 2009–2013 гг., 2017–2021 гг. Такие расхождения между кривыми находят естественное объяснение в рамках рассматриваемого

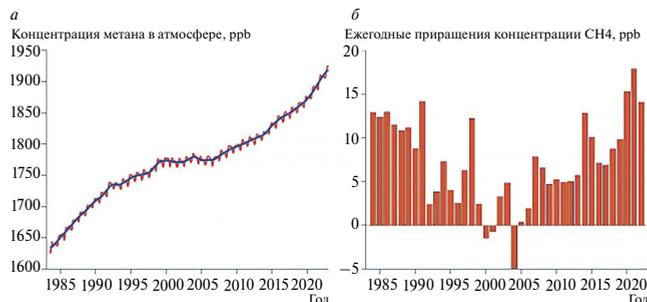


Рис. 7. Средняя концентрация метана в атмосфере: *a* – графики, демонстрирующие глобально осредненное среднемесячное значение метана в атмосфере [30]; *б* – график годовых приращений атмосферного  $\text{CH}_4$  на основе глобально усредненных данных о морской поверхности [31].

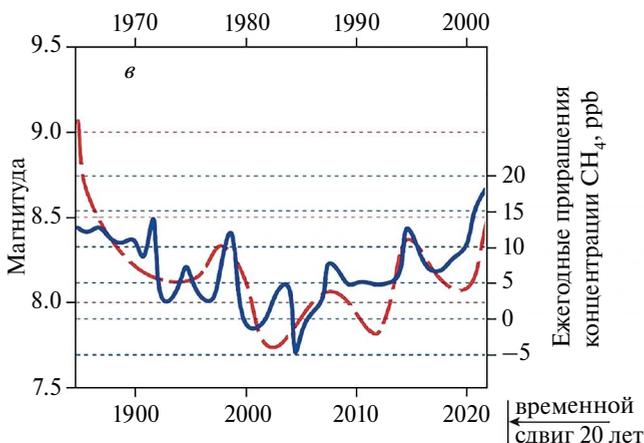


Рис. 8. Сопоставление изменений сейсмической активности Земли и вариаций концентрации метана в атмосфере. Сплошной линией показана огибающая кривая, отражающая изменение среднегодовых приращений концентрации метана в атмосфере в период 1984–2022 гг. Пунктиром дана кривая вариации уровня сейсмической активности Земли, определяемой крупными землетрясениями с магнитудой больше 8 за период 1964–2002 гг. [32].

триггерного механизма эмиссии метана из осадочной толщи в атмосферу. По смыслу этого механизма добавочные напряжения, связанные с деформационными волнами, разрушают микроструктуру пор в мерзлых породах и метастабильных газгидратах, в которых находится метан, и последний начинает фильтроваться через осадочные породы с определенной скоростью, зависящей от проницаемости и других параметров среды. По оценкам из работы [13], характерная скорость фильтрации может составлять порядка 1 м/год. Экспериментально было установлено, что скорость подъема газового (метанового) фронта к поверхности осадков может достигать 5–7 м/год [25]. Отсюда следует, что эмиссия метана будет продолжаться определенное время после запуска процесса триггерным механизмом разрушения геосреды [33, 34]. Это время будет зависеть от глубины и толщины затронутого разрушением газонасыщенного слоя. Например, если затронутый разрушением газонасыщенный слой начнется почти от поверхности и имеет толщину около 150 м, то при скорости вертикальной фильтрации порядка 1 м/год эмиссия метана может продолжаться еще около 150 лет после ее запуска сейсмогенно-триггерным механизмом (рис. 9).

Этим объясняется факт продолжения и даже некоторого усиления эмиссии метана на арктическом шельфе в наши дни, хотя после серии сильнейших землетрясений середины прошлого века, запустивших массивную эмиссию метана около 1979–1980 г., давшую старт современному потеплению климата, сейсмическая активность очень заметно снизилась

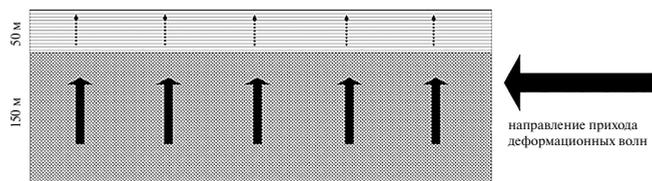


Рис. 9. Вертикальная фильтрация метана, вызванная триггерным эффектом деформационных волн (жирные сплошные стрелки), поднятие пузырьков метана в воде – силы (прерывистые стрелки).

и находилась на сравнительно низком уровне вплоть до настоящего времени. Таким образом, однажды запущенный сейсмогенно-триггерным механизмом процесс эмиссии метана способен продолжаться десятки и даже первые сотни лет без какой-либо внешней подпитки.

Помимо объяснения упомянутого выше нарушения корреляции между концентрацией метана в атмосфере и более ранними периодами сейсмической активности Земли этот вывод имеет важное значение для прогноза периода продолжающегося глобального потепления с точки зрения рассматриваемой здесь сейсмогенно-триггерной концепции изменения климата. По нашей гипотезе получается, что независимо от усилий мирового сообщества по сокращению выбросов  $\text{CO}_2$  природная эмиссия метана и связанное с ней потепление климата, возможно, будут продолжаться большую часть XXI в. В пользу такого неутешительного сценария говорит, в частности, развитие средневекового периода потепления (рис. 2), если его интерпретировать в рамках сейсмогенно-триггерной гипотезы, т.е. считать, что возникновение средневекового оптимума связано с серией мегаземлетрясений с магнитудой больше 8,5, произошедших в зонах субдукции в начале X в., аналогичной рассмотренной выше серии сильнейших землетрясений середины XX в. Судя по оценкам повторяемости подобных мегасобытий, такое предположение кажется вполне реалистичным.

Получение прямых оценок периодов повторяемости мегаземлетрясений является крайне сложной задачей в силу того, что период инструментальных наблюдений, как правило, во много раз короче характерного времени накопления упругих напряжений, необходимых для реализации сейсмических событий подобной силы. Приведем конкретные оценки периодов повторяемости мегаземлетрясений для некоторых зон субдукции. Оценки периода повторяемости для мегаземлетрясения с  $M \sim 9$  в Японской зоне субдукции по результатам недавних исследований палеоцунами составляют приблизительно 800–1100 лет [35]. По другим оценкам, упругий сейсмогенный потенциал, необходимый для реализации события подобной силы в рассматриваемом регионе, может накопиться за период порядка 350–700 лет [36]. Для субдукционной зоны Каскадия в Тихом океане период повторяемости мегаземлетрясений по палеосейсмологическим и геологическим данным составляет от 215 до 1488 лет, при этом среднее значение периода повторяемости за последние 7700 лет составляет 600 лет [37]. В Суматра-Андаманской зоне субдукции нижняя граница периода повторяемости мегаземлетрясений, подобных землетрясению 2004 г. с  $M = 9,2$ , оценивается по результатам расчетов в 600 лет [38]. Аналогичные оценки, полученные по палеосейсмологическим и геологическим данным, достигают 960–1200 лет [39]. Перуанско-Чилийская зона субдукции характеризуется более коротким периодом повторяемости мегаземлетрясений, который по оценкам [38] составляет 300–400 лет. В Алеутской зоне субдукции период повторяемости мегаземлетрясений с протяженными очагами, захватывающими сразу несколько смежных сегментов субдукционной зоны, составляет 800–950 лет [40].

Исходя из приведенных оценок можно предположить, что начало периода средневекового потепления, так же, как и в современной ситуации, связано с возникновением в X в. серии сильнейших мегаземлетрясений с магнитудами больше 8,5 в Алеутской и Курило-Камчатской островных дугах и действием того же сейсмогенно-триггерного механизма эмиссии метана и потепления климата. Интересно отметить, что на примере эволюции средневекового оптимума видно, что быстрый рост температуры продолжался несколько сотен лет, после чего температура стала понижаться, перейдя затем в малый ледниковый период в XIV–XVIII вв. (рис. 2). Не исключено, что такой же неутешительный климатический сценарий будет реализован и в грядущие века

современного исторического периода. Поэтому человечеству следует уделять большее внимание вопросам адаптации к длительному периоду потепления климата, чем пытаться остановить природный процесс глобального потепления путем уменьшения выбросов углекислого газа, сокращая и в перспективе ликвидируя основные отрасли добывающей промышленности.

## Заключение

В работе дается критический анализ доминирующей сегодня в мире антропогенной концепции глобального потепления климата. Показано серьезное несоответствие между наблюдаемыми и ожидаемыми (по антропогенной концепции) вариациями хода изменения температуры и объемов выбросов углекислого газа в XX в. Предложенная альтернативная сейсмогенно-триггерная концепция потепления климата объясняет наблюдаемые климатические изменения и их связь с сильнейшими землетрясениями, генерирующими деформационные волны, которые за счет триггерного воздействия на газонасыщенные осадочные слои приводят к усилению эмиссии метана и неантропогенному парниковому эффекту. Если применить аналогию между современным изменением климата в XX и XXI вв. и наиболее близким по времени средневековым оптимумом, то, исходя из хода кривой потепления климата в средние века и сейсмогенно-триггерной концепции потепления, можно с определенной осторожностью и без экологического алармизма высказать предположение о достаточно длительном периоде продолжающейся фазы современного потепления климата по крайней мере на протяжении более 100 лет, т.е. заведомо до конца нынешнего столетия. Такой пессимистический сценарий эволюции климата должен уточняться и тщательно обосновываться в будущих исследованиях. В практическом плане он ставит в приоритет прежде всего разработку различных мер адаптации к возможным природным явлениям катастрофического характера, связанным с климатическими изменениями.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Данилов-Данильян В.И., Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Экология и климат: где мы сейчас и где будем через два-три десятилетия. Ситуация в России // Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93, № 11. С. 1032–1046.
2. Neukom R., Barboza L.A., Erb M.P., Shi Feng, Emile-geay J., Evans M.N. et al. Global mean temperature reconstructions over the Common Era. figshare. Collection. 2019. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.4507043.v2>
3. AGES2k Consortium. A global multiproxy database for temperature reconstructions of the Common Era. Scientific Data 4. 2017. 170088 EP. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.88>.
4. PAGES2k Consortium. Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era // Nat. Geosci. 2019. Vol. 12. P. 643–649. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0400-0>
5. IPCC Scientific Assessment 1990: Climate Change 1990 / eds. J. T. Houghton, G. J. Jenkins, J. J. Ephraums. Cambridge, Great Britain; New York, NY, USA; Melbourne, Australia: Cambridge University Press, 1990. 410 p.
6. IPCC, 2001: Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / eds. R. T. Watson, and the Core Writing Team. Cambridge, United Kingdom; New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2001. 398 p.
7. Moberg A., Sonechkin D., Holmgren K. et al. Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data // Nature. 2005. Vol. 433. P. 613–617. <https://doi.org/10.1038/nature03265>.
8. Lamb H. H. The early medieval warm epoch and its sequel // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 1965. Vol. 1. P. 13–37.

9. Mann M.E., Bradley R.S., Hughes M.K. Global-Scale Temperature Patterns and Climate Forcing Over the Past Six Centuries // *Nature*. 1998. Vol. 392. P. 779–787.
10. Masson-Delmotte V., Schulz M., Abe-Ouchi A., Beer J., Ganopolski A., González Rouco J.F., Jansen E., Lambeck K., Luterbacher J., Naish T., Osborn T., Otto-Bliesner B., Quinn T., Ramesh R., Rojas M., Shao X., Timmermann A. Information from Paleoclimate Archives. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / eds. T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley. Cambridge, United Kingdom; New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013.
11. Friedlingstein P., O’Sullivan M., Jones M.W. et al. Global Carbon Budget 2022 // *Earth Syst. Sci. Data*. 2022. Vol. 14. P. 4811–4900. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>.
12. Lobkovsky L.I. Seismogenic-triggering mechanism of gas emission activations on the Arctic shelf and associated phases of abrupt warming // *Geosciences*. 2020. Vol. 10. P. 428.
13. Lobkovsky L.I., Baranov A.A., Ramazanov M.M., Vladimirova I.S., Gabsatarov Y.V., Semiletov I.P., Alekseev D.A. Trigger Mechanisms of Gas Hydrate Decomposition, Methane Emissions, and Glacier Breakups in Polar Regions as a Result of Tectonic Wave Deformation // *Geosciences*. 2022. Vol. 12. P. 372.
14. Lobkovsky L.I., Baranov A.A., Garagash I.A., Ramazanov M.M., Vladimirova I.S., Gabsatarov Y.V., Alekseev D.A., Semiletov I.P. Large Earthquakes in Subduction Zones around the Polar Regions as a Possible Reason for Rapid Climate Warming in the Arctic and Glacier Collapse in West Antarctica // *Geosciences*. 2023. Vol. 13. P. 171.
15. *Climate at a Glance: Global Time Series* // NOAA National Centers for Environmental Information. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/cag/> (дата обращения: 15.09.2022).
16. Lay T. The surge of great earthquakes from 2004 to 2014 // *Earth and Planetary Science Letters*. 2015. Vol. 409. P. 133–146.
17. Shakhova N.E., Semiletov I.P. Methane Hydrate Feedbacks // *Arctic Climate Feedbacks: Global Implications* / eds. Martin Sommerkorn, Susan Joy Hassol. Published by WWF International Arctic Programme August, 2009. P. 81–92. ISBN: 978-2-88085-305-1.
18. Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Yusupov V., Kosmach D., Gustafsson O. Extensive Methane Venting to the Atmosphere from Sediments of the East Siberian Arctic Shelf // *Science*. 2010. Vol. 327, N5970. P. 1246–1250. DOI: 10.1126/science.1182221.
19. Shakhova N., Semiletov I., Leifer I., Sergienko V., Salyuk A., Kosmach D., Chernikh D., Stubbs C., Nicolsky D., Tumskey V., Gustafsson O. Ebullition and storm-induced methane release from the East Siberian Arctic Shelf // *Nat. Geosci.* 2014. Vol. 7, N1. P. 64–70. DOI: 10.1038/ngeo2007, 2014.
20. Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V., Lobkovsky L., Yusupov V., Salyuk A., Salomatin A., Chernikh D., Kosmach D., Panteleev G., Nicolsky D., Samarkin V., Joye S., Charkin A., Dudarev O., Meluzov A., Gustafsson Ö. The East Siberian Arctic Shelf: towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice // *Phil. Trans. R. Soc. A*. 2015. Vol. 373. 20140451. DOI: 10.1098/rsta.2014.0451.
21. Chernikh D., Shakhova N., Yusupov V., Gershelis E., Morgunov B., Semiletov I. First Calibrated Methane Bubble Wintertime Observations in the Siberian Arctic Seas: Selected Results from the Fast Ice // *Geosciences*. 2023. Vol. 13. 228. <https://doi.org/10.3390/geosciences13080228>.
22. Shakhova N., Semiletov I., Chuvilin E. Understanding the permafrost–hydrate system and associated methane releases in the East Siberian Arctic Shelf // *Geosciences*. 2019. Vol. 9. 251. DOI: 10.3390/geosciences9060251.
23. Nicolsky D.J., Romanovsky V.E., Romanovskii N.N., Kholodov A.L., Shakhova N.E., Semiletov I.P. Modeling sub-sea permafrost in the East Siberian Arctic Shelf: The Laptev Sea region // *J. Geophys. Res.* 2012. Vol. 117. F03028. DOI: 10.1029/2012JF002358, 2012.
24. Romanovskii N.N., Hubberten H.-W., Gavrilov A.V., Eliseeva A.A., Tipenko G.S. Offshore permafrost and gas hydrate stability zone on the shelf of East Siberian Seas // *Geo-Mar. Lett.* 2005. Vol. 25. P. 167–182.
25. Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O., Sergienko V., Lobkovsky L., Dudarev O., Tumskey V., Grigoriev M., Mazurov A., Salyuk K. et al. Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf // *Nat. Commun.* 2017. Vol. 8. 15872.
26. Лобковский Л.И., Баранов А.А., Бобров А.М., Чуваев А.В. Глобальная геодинамическая модель современной Земли и ее приложение для Арктического региона // *Доклады Российской академии наук*. 2024. DOI: 10.1134/S1028334X23603000.

27. Гарагаш И.А., Лобковский Л.И. Деформационные тектонические волны как возможный триггерный механизм активизации эмиссии метана в Арктике // Арктика: экология и экономика. 2021. Т. 11, № 1. С. 42–50.
28. Лобковский Л.И., Рамазанов М.М. Термомеханические волны в системе упругая литосфера – вязкая астеносфера // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2021. № 6. С. 4–18.
29. Лобковский Л.И., Баранов А.А., Владимирова И.С., Габсагаров Ю.В., Алексеев Д.А. Возможный сейсмогенно-триггерный механизм эмиссии метана, разрушения ледников и потепления климата в Арктике и Антарктике // Физика Земли. 2023. № 3. С. 33–47.
30. Lan X., Thoning K. W., Dlugokencky E.J. Trends in globally-averaged CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, and SF<sub>6</sub> determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. 2015. Version 2023-02. <https://doi.org/10.15138/P8XG-AA10>.
31. Dlugokencky E.J., Steele L.P., Lang P.M., Masarie K.A. The growth rate and distribution of atmospheric methane // J. Geophys. Res. 1994. Vol. 99. P. 17021–17043. <https://doi.org/10.1029/94JD01245>.
32. Лобковский Л.И., Баранов А.А., Владимирова И.С., Алексеев Д.А. Сильнейшие землетрясения и деформационные волны как возможные триггеры потепления климата в Арктике и разрушения ледников в Антарктике // Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93, № 6. С. 526–538.
33. Лобковский Л.И., Рамазанов М.М. К теории фильтрации с двойной пористостью // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2019. Т. 484, № 3. С. 348–351.
34. Лобковский Л.И., Рамазанов М.М. Обобщенная модель фильтрации в трещиновато-пористой среде с низкопроницаемыми включениями и ее возможные приложения // Физика Земли. 2022. № 2. С. 144–154.
35. Minoura K., Imamura F., Sugawara D., Kono Y., Iwashita T. The 869 Jogan tsunami deposit and recurrence interval of large-scale tsunamis on the Pacific coast of northeastern Japan // J. Nat. Disaster Sci. 2001. Vol. 23, N2. P. 83–88.
36. Ozawa S., Nishimura T., Suito H., Kobayashi T., Tobita M., Imakiire T. Coseismic and postseismic slip of the 2011 magnitude-9 Tohoku-Oki earthquake // Nature. 2011. Vol. 475. P. 373–377.
37. McCaffrey R. Global frequency of magnitude 9 earthquakes // Geology. 2008. Vol. 36, N3. P. 263–266.
38. Satake K., Atwater B.F. Long-term perspectives on giant earthquakes and tsunamis at subduction zones // Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 2007. Vol. 35. P. 349–374.
39. Rajendran K. On the recurrence of great subduction zone earthquakes // Current Science. Special section: Earth Sciences. 2013. Vol. 104, N7. P. 880–892.
40. Shennan I., Barlow N., Carver G., Davies F., Garrett E., Hocking E. Great tsunamigenic earthquakes during the last 1000 years on the Alaska megathrust // Geology. 2014. Vol. 42, N8. P. 687–690.

#### REFERENCES

1. Danilov-Danilyan V.I., Kattsov V.M., Porfiryev B.N. Ecology and climate: where we are now and where we will be in two or three decades. The situation in Russia. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2023;93(11):1032–1046. (In Russ.).
2. Neukom R., Barboza L.A., Erb M.P., Shi Feng, Emile-geay J., Evans M.N. et al. 2019. Global mean temperature reconstructions over the Common Era. figshare. Collection. 4507043.v2. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare>.
3. AGES2k Consortium. A global multiproxy database for temperature reconstructions of the Common Era. *Scientific Data* 4. 2017. 170088 EP. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.88>.
4. PAGES2k Consortium. Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era. *Nat. Geosci.* 2019;12:643–649. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0400-0>.
5. Houghton J.T., Jenkins G.J., Ephraums J.J. (eds.). IPCC Scientific Assessment 1990: Climate Change 1990. Cambridge, Great Britain; New York, NY, USA; Melbourne, Australia: Cambridge University Press; 1990. 410 p.
6. Watson R.T. and the Core Writing Team (eds.). IPCC, 2001: Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom; New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2001. 398 p.

7. Moberg A., Sonechkin D., Holmgren K. et al. Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data. *Nature*. 2005;433:613–617. <https://doi.org/10.1038/nature03265>.
8. Lamb H.H. The early medieval warm epoch and its sequel. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 1965;1:13–37.
9. Mann M.E., Bradley R.S., Hughes M.K. Global-Scale Temperature Patterns and Climate Forcing Over the Past Six Centuries. *Nature*. 1998;392:779–787.
10. Masson-Delmotte V., Schulz M., Abe-Ouchi A., Beer J., Ganopolski A., González Rouco J.F., Jansen E., Lambeck K., Luterbacher J., Naish T., Osborn T., Otto-Bliesner B., Quinn T., Ramesh R., Rojas M., Shao X., Timmermann A. Information from Paleoclimate Archives. In: Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2013. Cambridge, United Kingdom; New York, NY, USA: Cambridge University Press.
11. Friedlingstein P., O’Sullivan M., Jones M.W. et al. Global Carbon Budget 2022. *Earth Syst. Sci. Data*. 2022;14:4811–4900. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>.
12. Lobkovsky L.I. Seismogenic-triggering mechanism of gas emission activations on the Arctic shelf and associated phases of abrupt warming. *Geosciences*. 2020;10:428.
13. Lobkovsky L.I., Baranov A.A., Ramazanov M.M., Vladimirova I.S., Gabsatarov Y.V., Semiletov I.P., Alekseev D.A. Trigger Mechanisms of Gas Hydrate Decomposition, Methane Emissions, and Glacier Breakups in Polar Regions as a Result of Tectonic Wave Deformation. *Geosciences*. 2022;12:372.
14. Lobkovsky L.I., Baranov A.A., Garagash I.A., Ramazanov M.M., Vladimirova I.S., Gabsatarov Y.V., Alekseev D.A., Semiletov I.P. Large Earthquakes in Subduction Zones around the Polar Regions as a Possible Reason for Rapid Climate Warming in the Arctic and Glacier Collapse in West Antarctica. *Geosciences*. 2023;13:171.
15. Climate at a Glance: Global Time Series. *NOAA National Centers for Environmental Information*. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/cag/> (date of application: 15.09.2022).
16. Lay T. The surge of great earthquakes from 2004 to 2014. *Earth and Planetary Science Letters*. 2015;409:133–146.
17. Shakhova N.E., Semiletov I.P. Methane Hydrate Feedbacks. In: Martin Sommerkorn, Susan Joy Hassol (eds.). *Arctic Climate Feedbacks: Global Implications*. Published by WWF International Arctic Programme August, 2009. P. 81–92. ISBN: 978-2-88085-305-1.
18. Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Yusupov V., Kosmach D., Gustafsson O. Extensive Methane Venting to the Atmosphere from Sediments of the East Siberian Arctic Shelf. *Science*. 2010;327(5970):1246–1250. DOI: 10.1126/science.1182221.
19. Shakhova N., Semiletov I., Leifer I., Sergienko V., Salyuk A., Kosmach D., Chernikh D., Stubbs C., Nicolsky D., Tumskoy V., Gustafsson O. Ebullition and storm-induced methane release from the East Siberian Arctic Shelf. *Nat. Geosci.* 2014;7(1):64–70. DOI: 10.1038/ngeo2007, 2014.
20. Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V., Lobkovsky L., Yusupov V., Salyuk A., Salomatin A., Chernykh D., Kosmach D., Pantelev G., Nicolsky D., Samarkin V., Joye S., Charkin A., Dudarev O., Meluzov A., Gustafsson Ö. The East Siberian Arctic Shelf: towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice. *Phil. Trans. R. Soc. A*. 2015;373. 20140451. DOI: 10.1098/rsta.2014.0451.
21. Chernykh D., Shakhova N., Yusupov V., Gershelis E., Morgunov B., Semiletov I. First Calibrated Methane Bubble Wintertime Observations in the Siberian Arctic Seas: Selected Results from the Fast Ice. *Geosciences*. 2023;13. 228. <https://doi.org/10.3390/geosciences13080228>.
22. Shakhova N., Semiletov I., Chuvilin E. Understanding the permafrost–hydrate system and associated methane releases in the East Siberian Arctic Shelf. *Geosciences*. 2019;9:251. DOI: 10.3390/geosciences9060251.
23. Nicolsky D.J., Romanovsky V.E., Romanovskii N.N., Kholodov A.L., Shakhova N.E., Semiletov I.P. Modeling sub-sea permafrost in the East Siberian Arctic Shelf: The Laptev Sea region. *J. Geophys. Res.* 2012;117. F03028. DOI: 10.1029/2012JF002358, 2012.
24. Romanovskii N.N., Hubberten H.-W., Gavrillov A.V., Eliseeva A.A., Tipenko G.S. Offshore permafrost and gas hydrate stability zone on the shelf of East Siberian Seas. *Geo-Mar. Lett.* 2005;25:167–182.
25. Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O., Sergienko V., Lobkovsky L., Dudarev O., Tumskoy V., Grigoriev M., Mazurov A., Salyuk K. et al. Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf. *Nat. Commun.* 2017;8. 15872.

26. Lobkovsky L.I., Baranov A.A., Bobrov A.M., Chuvaev A.V. Global geodynamic model of the modern Earth and its application for the Arctic region. *Reports of the Russian Academy of Sciences*. 2024. (In Russ.). DOI: 10.1134/S1028334X23603000.
27. Garagash I.A., Lobkovsky L.I. Deformation tectonic waves as a possible trigger mechanism for intensifying methane emissions in the Arctic. *Arctic: Ecology and Economics*. 2021;1(1):42–50. (In Russ.).
28. Lobkovsky L.I., Ramazanov M.M. Thermomechanical waves in the system elastic lithosphere–viscous asthenosphere. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Mechanics of Liquid and Gas*. 2021;(6):4–18. (In Russ.).
29. Lobkovsky L.I., Baranov A.A., Vladimirova I.S., Gabsatarov Yu. V., Alekseev D.A. Possible seismogenic trigger mechanism for methane emission, glacier destruction and climate warming in the Arctic and Antarctic. *Physics of the Earth*. 2023;(3):33–47.
30. Lan X., Thoning K.W., Dlugokencky E.J. Trends in globally-averaged CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, and SF<sub>6</sub> determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. 2015. Version 2023-02. <https://doi.org/10.15138/P8XG-AA10>.
31. Dlugokencky E.J., Steele L.P., Lang P.M., Masarie K.A. The growth rate and distribution of atmospheric methane. *J. Geophys. Res.* 1994;99:17021–17043. <https://doi.org/10.1029/94JD01245>.
32. Lobkovsky L.I., Baranov A.A., Vladimirova I.S., Alekseev D.A. Strong earthquakes and deformation waves as possible triggers of climate warming in the Arctic and destruction of glaciers in the Antarctic. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2023;93(6):526–538. (In Russ.).
33. Lobkovsky L.I., Ramazanov M.M. On the theory of filtration with double porosity. *Reports of the Russian Academy of Sciences. Geosciences*. 2019;484(3):348–351. (In Russ.).
34. Lobkovsky L.I., Ramazanov M.M. Generalized model of filtration in a fractured-porous medium with low-permeability inclusions and its possible applications. *Physics of the Earth*. 2022;(2):144–154. (In Russ.).
35. Minoura K., Imamura F., Sugawara D., Kono Y., Iwashita T. The 869 Jogan tsunami deposit and recurrence interval of large-scale tsunamis on the Pacific coast of northeastern Japan. *J. Nat. Disaster Sci.* 2001;23(2):83–88.
36. Ozawa S., Nishimura T., Suito H., Kobayashi T., Tobita M., Imakiire T. Coseismic and postseismic slip of the 2011 magnitude-9 Tohoku-Oki earthquake. *Nature*. 2011;475:373–377.
37. McCaffrey R. Global frequency of magnitude 9 earthquakes. *Geology*. 2008;36(3):263–266.
38. Satake K., Atwater B.F. Long-term perspectives on giant earthquakes and tsunamis at subduction zones. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 2007;35:349–374.
39. Rajendran K. On the recurrence of great subduction zone earthquakes. *Current Science. Special section: Earth Sciences*. 2013;104(7):880–892.
40. Shennan I., Barlow N., Carver G., Davies F., Garrett E., Hocking E. Great tsunamigenic earthquakes during the last 1000 years on the Alaska megathrust. *Geology*. 2014;42(8):687–690.

Научная статья

УДК 633.1:631.526(571.63)

DOI: 10.31857/S0869769824040035

EDN: IRJDMJ

## Селекция зерновых и крупяных культур в условиях муссонного климата

А.Г. Клыков, Г.А. Муругова, И.В. Коновалова<sup>✉</sup>, О.А. Тимошинова

*Алексей Григорьевич Клыков*

академик РАН, доктор биологических наук

Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока

им. А.К. Чайки, Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия

[alex.klykov@mail.ru](mailto:alex.klykov@mail.ru)

<http://orcid.org/0000-0002-2390-3486>

*Галина Александровна Муругова*

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока

им. А.К. Чайки, Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия

[gal.murugova@yandex.ru](mailto:gal.murugova@yandex.ru)

<http://orcid.org/0000-0003-4203-851X>

*Инна Витальевна Коновалова*

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока

им. А.К. Чайки, Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия

[konovalovainna@list.ru](mailto:konovalovainna@list.ru)

<http://orcid.org/0000-0003-1836-5342>

*Оксана Анатольевна Тимошинова*

научный сотрудник

Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока

им. А.К. Чайки, Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия

[timoshinova1981@mail.ru](mailto:timoshinova1981@mail.ru)

<http://orcid.org/0000-0002-7649-3513>

**Аннотация.** Создание высокоурожайных сортов пшеницы, ячменя и гречихи, устойчивых к полеганию, с высокими технологическими и биохимическими качествами зерна является одной из важнейших задач в селекции. В статье представлены результаты оценки сортов конкурсного испытания яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) и гречихи (*Fagopyrum esculentum* Moench) в условиях муссонного климата Приморского края. Исследования проведены в ФГБНУ «ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» в 2021–2023 гг. Объектом исследований являлись 11 сортов яровой мягкой пшеницы, 11 сортов ярового ячменя и 10 сортов гречихи. По итогам комплексного изучения по хозяйственно ценным признакам (высота растения, длина колоса, число зерен в колосе, урожайность, устойчивость к полеганию и др.), биохимическим показателям (белок, клейковина, крахмал, жир) и технологическим (стекловидность, натура зерна, масса

1000 зерен) выделены сорта: яровая пшеница – Приморская 219, Приморская 269, Приморская 274; яровой ячмень – Приморский 100 и Приморский 153; гречиха – Приморская 442 и Приморская 437, представляющие интерес для дальнейшего изучения. В результате многолетней селекционной работы созданы новые высокопродуктивные сорта яровой мягкой пшеницы – Приморская 274 (Океанская) и яровой ячмень Приморский 153 (Уссуриец), которые в 2023 г. переданы в государственное сортоиспытание по 12 региону в РФ.

**Ключевые слова:** яровая пшеница, яровой ячмень, гречиха, элементы продуктивности, жир, белок, крахмал, пленчатость, урожайность

**Для цитирования:** Клыков А. Г., Муругова Г. А., Коновалова И. В., Тимошинова О. А. Селекция зерновых и крупяных культур в условиях муссонного климата // Вестн. ДВО РАН. 2024. № 4. С. 60–71. <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040035>

Original article

## Breeding of grain and cereal crops under the conditions of monsoon climate

A. G. Klykov, G. A. Murugova, I. V. Konovalova, O. A. Timoshinova

*Aleksei G. Klykov*

Academician of RAS, Doctor of Sciences in Biology  
Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Far East named after A. K. Chaika,  
Ussuriysk, Timiryazevsky stl., Russia  
[alex.klykov@mail.ru](mailto:alex.klykov@mail.ru)  
<http://orcid.org/0000-0002-2390-3486>

*Galina A. Murugova*

Candidate of Sciences in Agriculture, Senior Researcher  
Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Far East named after A. K. Chaika,  
Ussuriysk, Timiryazevsky stl., Russia  
[gal.murugova@yandex.ru](mailto:gal.murugova@yandex.ru)  
<http://orcid.org/0000-0003-4203-851X>

*Inna V. Konovalova*

Candidate of Sciences in Agriculture, Senior Researcher  
Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Far East named after A. K. Chaika,  
Ussuriysk, Timiryazevsky stl., Russia  
[konovalovainna@list.ru](mailto:konovalovainna@list.ru)  
<http://orcid.org/0000-0003-1836-5342>

*Oksana A. Timoshinova*

Researcher  
Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Far East named after A. K. Chaika,  
Ussuriysk, Timiryazevsky stl., Russia  
[timoshinova1981@mail.ru](mailto:timoshinova1981@mail.ru)  
<http://orcid.org/0000-0002-7649-3513>

**Abstract.** Creating high-yielding varieties of wheat, barley, and buckwheat with resistance to lodging and high technological and biochemical parameters of grain is one of the most important challenges for breeding. The paper evaluates some varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.), spring barley (*Hordeum vulgare* L.), and buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) from a competitive variety trial under the conditions of the monsoon climate of Primorsky kray. The research was conducted at FSBSI “FSC of Agrobiotechnology of the Far East named after A. K. Chaika”

in 2021–2023. Eleven soft spring wheat varieties, eleven spring barley varieties, and ten buckwheat varieties were used as the research object. The following varieties were selected based on the results of the complex study on economically important traits (plant height, ear length, the number of grains per ear, yield, and resistance to lodging), biochemical (protein, gluten, starch, oil, and cereal yield) and technological parameters (grain hardness, bulk density, and TKW): wheat – Primorskaya 219, Primorskaya 269, and Primorskaya 274; spring barley – Primorskii 100 and Primorskii 153; buckwheat – Primorskaya 442 and Primorskaya 437. Many years of breeding work resulted in the creation of new highly productive varieties of soft spring wheat Primorskaya 274 (Okeanskaya) and spring barley Primorskii 153 (Ussuriets), which were submitted to the State variety testing in 2023.

**Keywords:** spring wheat, spring barley, buckwheat, components of productivity, oil, protein, starch, husk content, yield

**For citation:** Klykov A. G., Murugova G. A., Konovalova I. V., Timoshinova O. A. Breeding of grain and cereal crops under the conditions of monsoon climate. *Vestnik of the FEB RAS*. 2024;(4):60–71. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040035>

Зерновые и крупяные культуры – важнейшая группа возделываемых сельскохозяйственных растений в мире, это основное сырье для получения продуктов питания [1]. В современных условиях необходимость увеличения производства собственного зерна в России, в том числе в Дальневосточном регионе, для обеспечения продовольственной безопасности становится особенно актуальной. Важным фактором повышения продуктивности зерновых культур является широкое внедрение в производство высокоурожайных сортов, обладающих комплексом устойчивости к неблагоприятным условиям среды [2, 3].

Дальний Восток России характеризуется муссонным климатом с высокой влажностью воздуха, с частыми туманами, способствующими усилению развитию болезней растений, снижению качества зерна и устойчивости к полеганию [4, 5]. Поэтому в настоящее время получение новых конкурентоспособных сортов, адаптированных к абиотическим и биотическим стрессам, одна из приоритетных задач селекции [6].

Цель исследований – создание и оценка новых высокопродуктивных генотипов яровой мягкой пшеницы, ярового ячменя и гречихи, обеспечивающих формирование качественного зерна в условиях муссонного климата.

## Материалы и методы исследований

Исследования выполнены в лаборатории селекции зерновых и крупяных культур ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» в 2021–2023 гг. Объектом исследования являлись сорта конкурсного сортоиспытания: яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) – Приморская 40 (WW 1551 × Приморская 21), Никольская (Латона × Эритроспермум 51/5), Прима (Приморская 50 × Кума), Приморская 219 (Long 07-0012 × Спартак), Приморская 223 (Зимница × Приморская 14), Приморская 257 (Long 15 × Long 01-0072), Приморская 268 (Приморская 50 × Toronit), Приморская 269 (FengQiang 7 × Приморская 50), Приморская 271 (Безостая 1 × Приморская 39), Приморская 274 (Афина × Toronit), Приморская 275 (Станичная × Приморская 50); ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) – Приморский 98 (K-19362 Sumerimoti (Япония) × Приморский 3474) (K-2938 Shikokunadaka № 1 (Япония) × Приморский 3541)), Тихоокеанский ([Черниговский 90 × (Усурийский 8 × Union) × Trebi]), Приморец (Приморский 5021 × Криничный), Приморский 100 (Приморский 128 × Morex), Приморский 153 (Приморский 44 × Patty), Приморский 190 (Приморский 98 × Новичок), Приморский 197 (Приморский 4699 × Kimberly), Приморский 221 ((Приморский 98 × Новичок) × Новичок), Приморский 228 (Приморский 101 × K 29317); гречихи (*Fagopyrum esculentum* Moench) – Приморская 432 (Изумруд ПДК 4 Zn), Приморская 434 (Изумруд × Китаваэ), Приморская 435 (При 7 × Дизайн), Приморская 436 (Изумруд × Башкирская красностебельная), Приморская 437 (При 7 × Молва), Приморская 439 и Приморская 442 (Изумруд × Девятка), При 7 (Приморская местная × смесь семян крупноплодных сортов, устойчивых к полеганию, обработанных гамма-лучами дозой

180 Гр), Уссурочка (Изумруд × Черноплодная) × (Изумруд × Китаваеэ *in vitro* на селективной среде с ионами меди). В качестве стандартов взяты районированные сорта в Дальневосточном регионе: Изумруд (гречиха), Восточный (яровой ячмень) и Приморская 39 (яровая мягкая пшеница).

Площадь делянок в конкурсном сортоиспытании 15 м<sup>2</sup>, в 3-кратной повторности. Норма высева яровой пшеницы и ярового ячменя 5,5 млн, гречихи – 2,0 млн всхожих зерен на 1 га. Посев осуществлялся сеялкой СКС 6-10. Уборка проводилась комбайном «Хере-125». Фенологические наблюдения и учеты проводились по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур и методическим указаниям по изучению коллекционных образцов кукурузы, сорго и крупяных культур<sup>1</sup>. Масса 1000 зерен, пленчатость, белок, жир определялись по ГОСТам. Статистическая обработка данных проведена по методике Б. А. Доспехова<sup>2</sup>.

Метеорологические условия за годы исследования (2021–2023 гг.) в вегетационный период культур были различные, что позволило выделить ценные генотипы, устойчивые к стрессовым факторам муссонного климата. В 2021 г. погодные условия в вегетационный период зерновых культур и гречихи сложились относительно благоприятными. В период посева яровой пшеницы и ярового ячменя почва достаточно прогрелась и была насыщена доступной влагой, что обеспечило появление дружных и равномерных всходов. В межфазный период кущение–цветение (I декада июня – I декада июля) выпало 93,8 мм осадков, влажность воздуха составила 86%, что способствовало благоприятному развитию растений. В фазу созревания (полная спелость III декада июля и I декада августа) осадков выпало 29,0 мм, что на 43,0 мм меньше, чем среднееголетний показатель (72,0 мм). В вегетационный период гречихи в 2021 г. количество осадков выпало выше среднееголетней нормы на 33 мм, средняя температура воздуха в период цветения и налива зерна составила 20,9 °С, что положительно повлияло на рост, развитие растений и завязываемость плодов.

В 2022–2023 гг. вегетационный период зерновых культур и гречихи характеризовался повышенной температурой воздуха в сравнении со среднееголетними данными и неравномерным выпадением осадков. Межфазный период колошение–созревание (III декада июня – I декада августа) у зерновых культур и цветение–плодообразование (I декада августа – II декада сентября) у гречихи совпал с большим количеством осадков (в 2–3 раза выше среднееголетней нормы), что привело к переувлажнению почвы, поражению грибными заболеваниями и снижению урожайности.

## Результаты и их обсуждение

В условиях муссонного климата Приморского края основным направлением в селекции является создание высокопродуктивных сортов зерновых и крупяных культур, способных реализовать свой генетический потенциал в разных почвенно-климатических условиях.

Исследования показали, что в период изучения 2021–2023 гг. урожайность сортов пшеницы (от 2,1 до 6,1 т/га), ячменя (от 2,4 до 6,9 т/га) и гречихи (от 0,8 до 2,7 т/га) значительно изменялась в зависимости от генотипа и условий года (см. рисунок). Наиболее благоприятными условиями характеризовался 2021 г. с оптимальной тепло- и влагообеспеченностью для культур. Максимальная урожайность в этих условиях сформировалась у следующих сортов: яровая пшеница – Приморская 223 (6,1 т/га), Приморская 274 (5,9 т/га), Приморская 40 (5,9 т/га); яровой ячмень – Приморский 197 (6,9 т/га) и Приморский 100 (6,7 т/га); гречиха – Приморская 437 (2,7 т/га). У сортов Приморская 271 (яровая пшеница), Приморский 153 и Приморский 232 (яровой ячмень), Приморская 436 и При 7 (гречиха) отмечена более стабильная реализация урожайности, что имеет особую важность в селекции при оценке на адаптивность.

<sup>1</sup> Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2: Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М., 1989. 194 с.

<sup>2</sup> Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.

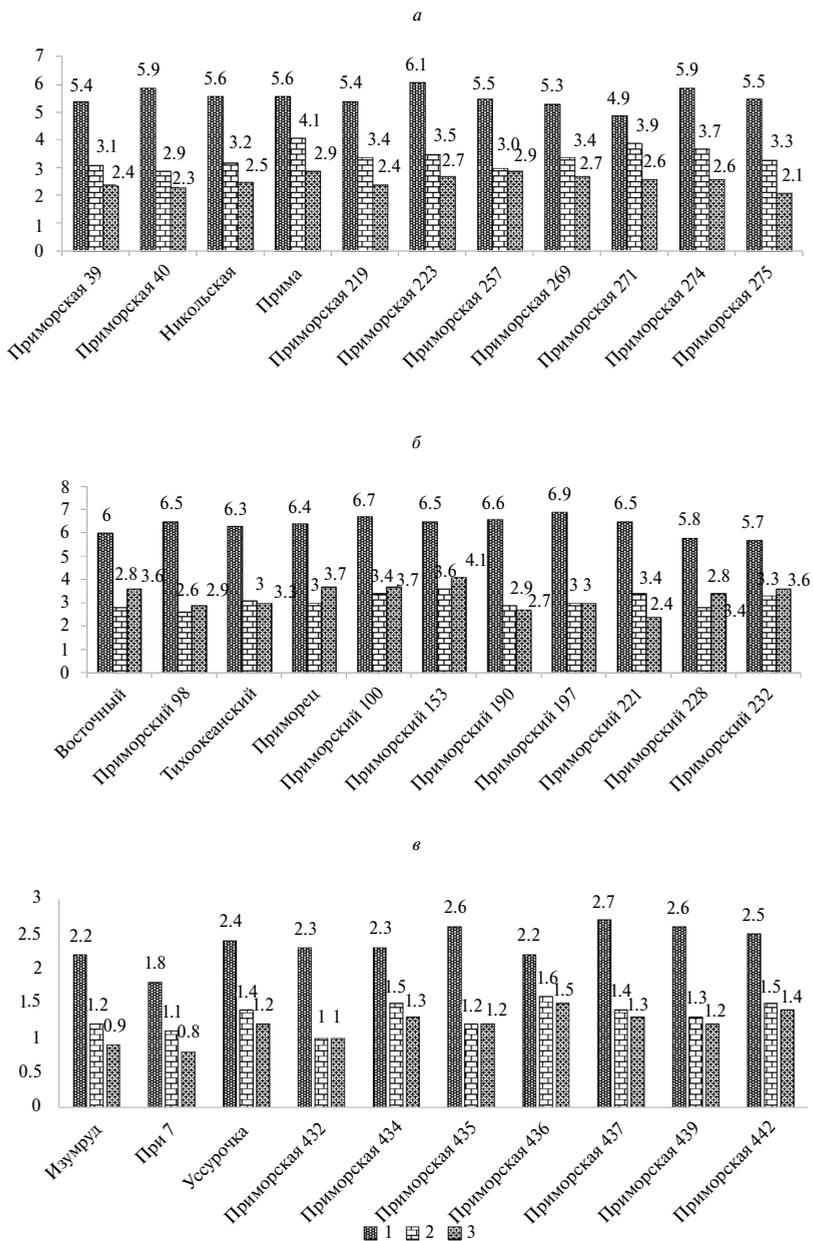


Рис. 1. Урожайность (т/га) сортов конкурсного испытания: а – яровой мягкой пшеницы, б – ярового ячменя, в – гречихи; 1 – 2021 г., 2 – 2022 г., 3 – 2023 г.

В неблагоприятные годы по метеорологическим условиям (избыточное увлажнение) выделились сорта: 2022 г. – яровая пшеница Прима (4,1 т/га), Приморская 271 (3,9 т/га), Приморская 274 (3,7 т/га); яровой ячмень – Приморский 153 (3,6 т/га), Приморский 100, Приморский 221 (3,4 т/га); гречиха – Приморская 436 (1,6 т/га), Приморская 434, Приморская 432 (1,5 т/га), Уссуручка, Приморская 437 (1,4 т/га), Приморская 439 (1,3 т/га); в 2023 г. – яровая пшеница Прима, Приморская 257 (2,9 т/га), Приморская 39 (2,4 т/га); яровой ячмень Приморский 153 (4,1 т/га), Приморец, Приморский 100 (3,7 т/га); гречиха Приморская 436 – 1,5 т/га (см. рисунок).

Формирование высокой урожайности зерна существенно зависит от ее основных структурных элементов. Высота растения является одним из признаков, обеспечивающих устой-

чивость растений к полеганию. Устойчивость к полеганию – сложный полигенный признак, который определяется морфологическими, анатомическими особенностями стебля и зависит от условий окружающей среды.

Известно, что короткостебельные сорта, как правило, обладают более высокой устойчивостью, чем высокорослые [7]. По высоте растений сорта яровой мягкой пшеницы были разделены на три группы: полукарлики (60–85 см) – Никольская, Приморская 274, Приморская 275, Приморская 223, Приморская 219; низкорослые (86–100 см) – Прима, Приморская 257, Приморская 269, Приморская 271; среднерослые (101–120 см) – районированные сорта – Приморская 40, Приморская 39 (табл. 1).

Таблица 1

**Характеристика сортов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) конкурсного испытания по основным селекционным признакам, 2021–2023 гг.**

Сорт	Высота растений, см		Продуктивная кустистость, шт.		Длина колоса, см		Число зерен в колосе, шт.	
	lim	$\bar{x}$	lim	$\bar{x}$	lim	$\bar{x}$	lim	$\bar{x}$
<b>Яровая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.)</b>								
Приморская 39 (st.)	85–119	103,1	1,0–2,6	1,4	6,8–8,3	7,8	18,7–28,0	24,0
Приморская 40	88–128	105,9	1,0–2,1	1,7	8,0–10,7	9,8	18,9–27,8	24,3
Никольская	67–98	84,6	1,0–2,4	1,9	6,8–9,5	8,6	20,0–34,6	28,6
Прима	74–106	89,1	1,1–2,4	1,9	6,6–10,0	8,3	16,9–36,5	27,0
Приморская 219	70–95	84,0	1,1–2,2	1,8	7,8–10,2	9,1	27,0–36,2	32,1
Приморская 223	69–90	78,5	1,5–2,2	1,9	6,7–10,0	8,4	16,9–41,0	28,1
Приморская 257	89–114	99,3	1,3–2,3	1,6	7,4–8,7	8,5	19,3–22,4	25,1
Приморская 269	92–104	98,3	1,1–2,3	1,7	9,7–9,8	9,8	29,4–33,2	30,8
Приморская 271	96–99	97,1	1,0–2,1	1,6	8,4–8,6	8,5	28,5–28,9	28,7
Приморская 274	76–77	77,0	1,0–2,1	2,3	7,5–8,2	11,0	21,3–22,8	33,3
Приморская 275	76–81	78,2	1,0–2,0	1,5	7,4–8,6	8,0	25,1–28,8	27,0
НСР <sub>0,95</sub>		11,0		0,2		0,5		2,7
<b>Яровой ячмень (<i>Hordeum vulgare</i> L.)</b>								
Восточный (st.)	59–101	84,9	1,0–2,9	2,0	5,4–6,8	6,2	16,4–20,3	18,7
Приморский 98	58–98	81,6	1,7–3,6	2,6	6,2–8,5	7,5	15,1–20,6	18,4
Тихоокеанский	50–83	69,9	1,0–2,9	2,2	4,5–7,2	6,0	14,0–22,0	18,6
Приморец	66–96	85,5	1,2–2,3	1,8	6,8–8,3	7,7	19,4–24,5	22,3
Приморский 100*	63–91	79,5	1,0–2,1	1,5	5,0–5,7	5,3	31,6–38,6	34,6
Приморский 153	57–89	77,2	1,3–5,6	3,2	7,4–8,2	7,5	18,3–22,7	20,6
Приморский 190	56–88	75,6	1,1–1,4	1,5	5,8–8,5	7,2	14,4–20,2	18,2
Приморский 197	51–87	72,1	1,1–2,2	1,5	5,7–7,4	6,7	16,5–21,2	19,4
Приморский 221	60–92	78,0	1,1–2,9	2,6	7,0–7,9	7,6	18,6–21,1	20,1
Приморский 228*	54–79	70,9	1,5–2,1	1,7	6,3–7,0	6,3	17,3–19,5	31,0
Приморский 232	55–88	74,3	1,0–2,0	1,7	5,8–6,8	6,5	20,7–38,7	18,7
НСР <sub>0,95</sub>		12,0		0,1		0,7		1,6

\* Многорядный сорт.

Из 11 выделившихся сортов яровой пшеницы два имели среднюю устойчивость к полеганию (5–7 баллов) – Приморская 39, Приморская 40, у остальных устойчивость была высокая (7–9 баллов). Анализ высоты растений у сортов ярового ячменя показал, что она варьировала от 69,9 см (низкорослые) – Тихоокеанский до 84,9 см (высокорослые) – Восточный. Все изученные сорта имели балл устойчивости к полеганию 7–9.

Одним из важных элементов продуктивности колоса является его длина. По длине колоса выделились сорта: яровая пшеница – Приморская 274 – 11,0 см, Приморская 40 и Приморская 269 – 9,8 см, Приморская 268 – 9,2 см, Приморская 219 – 9,1 см (у стандарта Приморская 39 – 7,8 см); яровой ячмень – Приморец – 7,7 см, Приморский 221 – 7,6 см, Приморский 153 – 7,5 см, Приморский 190 – 7,2 см (у стандарта Восточный – 6,2 см).

В конкурсном испытании сорта яровой пшеницы и ярового ячменя имели различную озерненность колоса. Число зерен в колосе яровой пшеницы варьировало от 24,3 (Приморская 40) до 33,3 шт. (Приморская 274); ярового ячменя – от 18,7 шт. (Приморский 232) до 34,6 шт. (Приморский 100). Наибольшее число зерен в колосе отмечено у сортов: яровая пшеница – Никольская, Приморская 219, Приморская 223, Приморская 269, Приморская 271, Приморская 274; яровой ячмень (многорядный) – Приморский 100, Приморский 228.

При анализе морфологических признаков сортов гречихи конкурсного сортоиспытания выявлено, что все сорта характеризовались средне- и низкорослостью (ниже 100 см). Установлено, что максимальное число узлов на главном стебле было у сорта Приморская 439 – 13,5 шт. (табл. 2).

Исследования показали, что количество боковых ветвей 1-го порядка варьировало от 1,7 (Приморская 442) до 2,6 шт. (Приморская 437). Наибольшее количество соцветий с плодами отмечено у сорта Приморская 437 – 16,8 шт. и Приморская 436 – 16,5 шт.

Важными технологическими показателями зерна яровой пшеницы являются масса 1000 зерен, стекловидность, натура зерна. Масса 1000 зерен характеризует плотность и размер зерна. Установлено, что по крупности зерна (более 40,0 г) три сорта существенно превысили стандартный сорт Приморская 39: Прима, Приморская 274, Приморская 269 (табл. 3).

Таблица 2

**Характеристика сортов гречихи (*Fagopyrum esculentum* Moench) конкурсного испытания по основным морфологическим признакам, 2021–2023 гг.**

Сорт	Высота растения, см		Число узлов на главном стебле, шт.		Количество боковых ветвей 1-го порядка, шт.		Количество соцветий с плодами, шт.	
	lim	$\bar{x}$	lim	$\bar{x}$	lim	$\bar{x}$	lim	$\bar{x}$
Изумруд (st.)	68,5–86,4	76,6	11,9–12,2	12,0	1,0–2,4	1,8	14,0–15,0	14,3
При 7	53,2–102,8	80,4	9,3–14,0	11,7	2,0–3,0	2,5	4,2–21,8	13,7
Уссурочка	53,2–86,4	64,6	10,2–12,0	11,3	2,0–2,4	2,1	9,0–13,0	11,4
Приморская 432	79,1–89,1	84,1	11,0–14,0	12,0	1,5–2,0	2,0	9,8–18,0	13,9
Приморская 434	50,9–116,0	84,4	8,8–15,2	10,9	2,0–3,0	2,5	4,3–29,6	16,0
Приморская 435	58,1–92,5	70,1	10,5–12,0	11,8	1,6–3,3	2,4	8,3–16,0	13,1
Приморская 436	50,4–84,1	81,4	9,1–13,0	11,1	2,0–3,0	2,5	8,4–25,0	16,5
Приморская 437	62,5–90,2	78,9	10,8–12,0	11,4	2,3–3,0	2,6	9,5–27,8	16,8
Приморская 439	58,9–95,3	74,5	11,8–15,0	13,5	1,0–2,5	2,3	7,5–17,8	12,8
Приморская 442	63,7–95,4	83,3	10,1–14,4	11,6	1,2–2,0	1,7	6,0–16,0	10,6
НСР <sub>0,95</sub>	–	8,0	–	1,2	–	0,2	–	1,5

**Технологические и биохимические показатели сортов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в конкурсном испытании (среднее за 2021–2023 гг.)**

Сорт	Масса 1000 зерен, г	Стекловидность, %	Натура зерна, г/л	Белок, %	Клейковина, %
Приморская 39 (st.)	34,6	53,5	765	13,5	28,5
Приморская 40	38,7	50,0	770	14,0	28,9
Никольская	34,3	54,2	755	13,8	28,8
Прима	41,0	61,3	780	13,6	27,9
Приморская 219	35,0	62,5	790	14,2	29,4
Приморская 223	35,9	44,5	777	13,5	28,7
Приморская 257	34,5	45,0	785	13,9	28,2
Приморская 269	37,0	69,3	795	14,6	31,5
Приморская 271	34,0	47,3	790	13,7	28,4
Приморская 274	43,9	63,0	787	14,3	30,5
Приморская 275	35,5	51,0	755	12,9	26,1
lim	34,0–43,9	44,5–69,3	755–795	12,9–14,3	26,1–31,5
$\bar{x}$	36,8	54,6	777,2	13,8	28,8
НСР <sub>0,95</sub>	3,0	5,2	18,0	1,0	2,3

Стекловидность характеризует качество зерна [8]. У изучаемых сортов стекловидность варьировала от 44,5 (Приморская 223) до 69,3% (Приморская 269). В результате изучения по данному признаку выделились сорта (более 60%) Прима, Приморская 219, Приморская 269, Приморская 274.

Улучшение качеств зерна у зерновых культур является одним из основных направлений селекции. Известно, что неблагоприятные экологические факторы могут способствовать не только снижению продуктивности сельскохозяйственных культур, но и изменению биохимического состава зерна [9].

Количество белка в зерне у сортов яровой мягкой пшеницы варьировало в пределах от 12,9% (Приморская 275) до 14,6% (Приморская 269). Большинство сортов яровой пшеницы имели содержание клейковины в зерне 28,0–32,0%.

Высокая натура зерна (более 780 г/л) отмечена у сортов Приморская 219, Приморская 257, Приморская 269, Приморская 271, Приморская 274.

Биологический анализ зерна ярового ячменя показал, что содержание белка у сортов в конкурсном сортоиспытании варьировало от 9,9% (Тихоокеанский) до 12,3% (Приморский 100), крахмала – от 52,5% (Приморский 100) до 56,2% (Приморский 153). Пленчатость зерна составила 7,9–10,2%. Максимальная натура зерна выявлена у сорта Приморский 153 – 185 г/л (табл. 4).

Отбор на улучшение технологических свойств плодов (пленчатость, масса 1000 зерен, выход крупы) является важным в селекции [10, 11]. Наибольший выход крупы 79,3% и наименьшая пленчатость 20,7% отмечена у гречихи сорта Изумруд (табл. 5).

Белки гречихи характеризуются сбалансированным составом аминокислот, высоким содержанием лизина, аргинина и треонина [12]. В результате проведенных исследований установлено, что содержание белка у сортов гречихи варьировало от 11,4 (Уссурочка) до 13,2% (Приморская 442).

Жиры гречихи не прогоркают даже при длительном хранении зерна и крупы, что дает возможность формировать продовольственные запасы [13, 14]. Содержание жира в зерне у изу-

Таблица 4

**Технологические и биохимические показатели ярового ячменя  
(*Hordeum vulgare* L.) конкурсного сортоиспытания (среднее за 2021–2023 гг.)**

Сорт	Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	Пленчатость, %	Крахмал, %	Белок, %
Восточный (st.)	47,2	665	10,1	53,2	11,4
Приморский 98	46,0	650	9,2	54,2	10,6
Тихоокеанский	41,2	680	9,1	54,6	9,9
Приморец	42,8	660	9,5	55,5	10,5
Приморский 100	37,6	630	9,5	52,5	12,3
Приморский 153	42,4	685	8,7	56,2	10,2
Приморский 190	45,2	675	9,2	54,9	10,6
Приморский 197	43,6	645	8,8	54,9	10,5
Приморский 221	46,0	670	8,5	54,7	10,7
Приморский 228	47,2	650	7,9	54,3	10,2
Приморский 232	40,4	645	10,2	55,4	11,2
lim	37,6–47,2	630–685	7,9–10,2	52,5–56,2	9,9–12,3
$\bar{x}$	43,6	656	9,2	54,6	10,7
НСР <sub>0,95</sub>	4,0	21	1,0	5,2	1,0

Таблица 5

**Технологические и биохимические качества зерна сортов гречихи  
(*Fagopyrum esculentum* Moench) конкурсного испытания (среднее за 2021–2023 гг.)**

Сорт	Пленчатость, %	Выход крупы, %	Масса 1000 зерен, г	Белок, %	Жир, %
Изумруд (st.)	20,7	79,3	34,4	12,3	2,29
При 7	26,6	73,4	29,9	12,8	2,47
Уссурочка	27,1	72,9	31,7	11,4	2,48
Приморская 432	30,4	69,4	36,5	12,8	2,83
Приморская 434	30,2	69,8	33,1	12,3	2,41
Приморская 435	31,6	68,4	34,2	12,2	2,48
Приморская 436	31,7	68,3	31,2	12,8	2,50
Приморская 437	24,7	75,3	28,8	12,2	2,48
Приморская 439	28,2	71,8	32,4	12,1	2,51
Приморская 442	34,3	65,7	32,3	13,1	2,08
lim	20,7–34,3	65,7–79,3	28,8–36,5	11,4–13,1	2,08–2,83
$\bar{x}$	28,6	71,4	32,5	12,4	2,45
НСР <sub>0,95</sub>	2,8	6,0	3,2	1,1	0,3

чаемых сортов варьировало от 2,08% (Приморская 442) до 2,83% (Приморская 432). В среднем за годы исследований сорта гречихи сформировали относительно высокую массу 1000 зерен. Наиболее крупное зерно отмечено у сорта Приморская 432. Эффективность селекции во многом зависит от ценности исходных форм, поэтому возникает необходимость изучения интересующих нас признаков в конкретных местных условиях.

Анализ структурных элементов продуктивности изучаемых сортов показал, что их урожайность формировалась за счет различных признаков. Так, у выделившихся сортов яровой мягкой пшеницы Приморская 274 она была обусловлена продуктивной кустистостью, длиной колоса, числом зерен в колосе, у сортов Приморская 219, Приморская 269 – длиной колоса, числом зерен в колосе; ярового ячменя Приморский 153 – продуктивной кустистостью, длиной колоса, числом зерен в колосе; гречихи Приморская 437 – количеством ветвей 1-го порядка, числом соцветий с плодами. Выявленную сортовую специфичность можно использовать в гибридизации при подборе родительских форм, различающихся элементами структуры урожайности.

## Заключение

Таким образом, проведенная комплексная оценка сортов конкурсного сортоиспытания зерновых и крупяных культур ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки в условиях муссонного климата позволила выделить перспективные генотипы с ценными признаками: яровая мягкая пшеница – Приморская 219, Приморская 269, Приморская 274; яровой ячмень – Приморский 100 и Приморский 153; гречиха – Приморская 437.

В результате многолетней селекционной работы создан новый сорт яровой мягкой пшеницы – Приморская 274 (Океанская) и ярового ячменя – Приморский 153 (Уссуриец), которые характеризуются высокой продуктивностью, качеством, устойчивостью к условиям муссонного климата. Данные сорта в 2023 г. переданы в государственное сортоиспытание по Дальневосточному региону.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов Н.В., Юров С.С. Разработка информационной системы анализа урожайности зерновых культур и основных элементов ее структуры // Бизнес и дизайн ревю. 2022. № 2 (26). С. 31–43.
2. Андреев А.А., Драчева М.К., Кутепова И.А. Использование методов оценки адаптивной способности генотипов в селекции озимой пшеницы на повышение урожайности // Владимирский земледелец. 2021. № 4. С. 33–36. DOI: 10.24412/2225-2584-2021-4-33-36.
3. Савина В.В. Изучение ярового ячменя в конкурсном сортоиспытании по продуктивности в условиях Якутии // Междунар. науч.-исслед. журн. 2023. № 16 (136). DOI: 10.23670/IRJ.2023.136.14.
4. Klykov A.G., Murugova G.A., Bogdan P.M., Konovalova I.V., Timoshinova O.A., Kryuchkova N.A. Use of genetic resources in white straw and cereal crops breeding in the monsoon climate // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 548, is. 6. 062014. DOI: 10.1088/1755-1315/548/6/062014.
5. Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. Районирование Дальнего Востока для оценки перспектив развития сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 4. С. 61–65. DOI: 10.53859/02352451\_2022\_36\_4-61.
6. Клыков А.Г., Муругова Г.А., Тимошинова О.А., Коновалова И.В., Самагина Ю.В. Адаптивный потенциал сортов и линий зерновых культур приморской селекции // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 3. С. 18–32. DOI: 10.37102/0869\_7698\_2022\_223\_03\_2.
7. Клыков А.Г., Тимошинова О.А., Богдан П.М., Коновалова И.В., Тимошинов Р.В. Результаты использования озимых форм в селекции яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Дальневост. аграр. вестн. 2019. № 2 (50). С. 31–38. DOI: 10.24411/1999-6837-2019-12017.
8. Клыков А.Г., Тимошинова О.А., Богдан П.М., Коновалова И.В., Тимошинов Р.В. Формирование продуктивности и качества зерна яровой мягкой пшеницы в условиях муссонного климата // Вестн. рос. с.-х. науки. 2020. № 1. С. 46–48. DOI: 10.30850/vrsn/2020/1/46-48.

9. Wang Y., Frei M. Stressed food – The impact of abiotic environmental stresses on crop quality // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2011. Vol. 141. P. 271–286. DOI: 10.1016/J.AGEE.2011.03.017.
10. Кадырова Ф.З., Климова Л.Р., Кадырова Л.Р. Формирование качества плодов в процессе селекции гречихи // *Агробиотехнологии и цифровое земледелие*. 2022. № 4 (14). С. 29–33. DOI: 10.127337/2782-490X-2022-29-33.
11. Глазова З.И., Михайлова И.М. Урожайность и технологические свойства зерна гречихи в зависимости от сорта и удобрений // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018. № 1 (25). С. 87–91. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10006.
12. Бобков С.В., Зотиков В.И., Михайлова И.М. Разработка метода отбора на высокое содержание белка в семенах гречихи // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2019. № 4 (32). DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11126.
13. Кузнецова Е.А., Климова Е.В., Шаякова Л.В., Шушаева Е.Г., Фесенко А.Н. Производство порошка из гречишной лузги – путь к созданию безотходных высокоэффективных технологий // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2021. № 1 (37). С. 69–75. DOI: 10.24212/2309-348X-2021-1-69-75.
14. Бучилина А.С., Гунькова П.И., Ишевский А.Л., Баракова Н.В., Москвичёва Е.В., Фомищёва Т.И. Пищевая ценность гречишной крупы из Алтайского края России // *Вестн. Междунар. акад. холода*. 2021. № 2. С. 64–72. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-2-64-72.

## REFERENCES

1. Ivanov N.V., Yurov S.S. Razrabotka informatsionnoi sistemy analiza urozhainosti zernovykh kul'tur i osnovnykh ehlementov ee struktury = [Development of an information system for analyzing the yield of grain crops and the main elements of its structure]. *Biznes i dizain revyu*. 2022;26(2):31–43. (In Russ.).
2. Andreev A.A., Dracheva M.K., Kutepova I.A. Ispol'zovanie metodov otsenki adaptivnoi sposobnosti genotipov v selektsii ozimoi pshenitsy na povyshenie urozhainosti = [Assessment of the adaptive ability of genotypes in winter wheat selection to increase yield]. *Vladimirskii Zemledelets*. 2021;(4):33–36. DOI: 10.24412/2225-2584-2021-4-33-36. (In Russ.).
3. Savina V.V. Izuchenie yarovogo yachmenya v konkursnom sortoispytanii poproduktivnosti v usloviyakh Yakutii = [Studying spring barley in a competitive variety trial for productivity under the conditions of Yakutiya]. *International Research Journal*. 2023;136(16). DOI: 10.23670/IRJ.2023.136.14. (In Russ.).
4. Klykov A.G., Murugova G.A., Bogdan P.M., Konovalova I.V., Timoshinova O.A., Krychkova N.A. Use of genetic resources in white straw and cereal crops breeding in the monsoon climate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;548(6). 062014. DOI: 10.1088/1755-1315/548/6/062014.
5. Trofimov I.A., Trofimova L.S., Yakovleva E.P. Raionirovanie Dal'nego Vostoka dlya otsenki perspektiv razvitiya sel'skogo khozyaistva = [Zoning of the Far East to assess the prospects for the development of agriculture]. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2022;36(4): 61–65. DOI: 10.53859/02352451\_2022\_36\_4-61. (In Russ.).
6. Klykov A.G., Murugova G.A., Timoshinova O.A., Konovalova I.V., Samagina Yu.V. Adaptivnyi potentsial sortov i linii zernovykh kul'tur primorskoj selektsii = [The adaptive potential of varieties and lines of grain and cereal crops bred in Primorye Territory]. *Vestnik of FEB RAS*. 2022;(3):18–32. DOI: 10.37102/0869\_7698\_2022\_223\_03\_2. (In Russ.).
7. Klykov A.G., Timoshinova O.A., Bogdan P.M., Konovalova I.V., Timoshinov R.V. Rezul'taty ispol'zovaniya ozimyykh form v selektsii yarovoi myagkoi pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) = [Use of winter forms in breeding of soft spring wheat (*Triticum aestivum* L.) in Primorsky Krai]. *Agricultural Journal in the Far East Federal District*. 2019;2(50):31–38. DOI: 10.24411/1999-6837-2019-12017]. (In Russ.).
8. Klykov A.G., Timoshinova O.A., Bogdan P.M., Konovalova I.V., Timoshinov R.V. Formirovanie produktivnosti i kachestva zerna yarovoi myagkoi pshenitsy v usloviyakh mussonnogo klimata = [Formation of productive and quality of spring soft wheat in monsoon climate condition]. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2020;(1):46–48. DOI: 10.30850/vrsn/2020/1/46-48. (In Russ.).
9. Wang Y., Frei M. Stressed food – The impact of abiotic environmental stresses on crop quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2011;(141):271–286. DOI: 10.1016/J.AGEE.2011.03.017.
10. Kadyrova F.Z., Klimova L.R., Kadyrova L.R. Formirovanie kachestva plodov v protsesse selektsii grechikhi = [Improving fruits quality in the process of breeding buckwheat]. *Agrobiotechnologies and Digital Farming*. 2022;14(4):29–33. DOI: 10.127337/2782-490X-2022-29-33. (In Russ.).

11. Glazova Z.I., Mikhailova I.M. Urozhainost' i tekhnologicheskie svoystva zerna grechikhi v zavisimosti ot sorta i udobrenii = [Yield and technological parameters of buckwheat grain depending on the variety and fertilizers]. *Legumes and Groat Crops*. 2018;25(1):87–91. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10006. (In Russ.).
12. Bobkov S.V., Zotikov V.I., Mikhailova I.M. Razrabotka metoda otbora na vysokoe sodержanie belka v semenakh grechikhi = [Elaboration of selection method for high protein content in buckwheat seeds]. *Legumes and Groat Crops*. 2019;32(4). DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11126. (In Russ.).
13. Kuznetsova E.A., Klimova E.V., Shayakova L.V., Shushaeva E.G., Fesenko A.N. Proizvodstvo poroshka iz grechishnoi luzgi – put' k sozdaniyu bezotkhodnykh vysokoehffektivnykh tekhnologii = [Production of buckwheat husk powder is the way to create waste-free, highly efficient technologies]. *Legumes and Groat Crops*. 2021;37(1):69–75. DOI: 10.24212/2309-348X-2021-1-69-75. (In Russ.).
14. Buchilina A.S., Gun'kova P.I., Ishevskii A.L., Barakova N.V., Moskvicheva E.V., Fomicheva T.I. Pishchevaya tsennost' grechishnoi krupy iz Altaiskogo kraia Rossii = [Nutritional value of buckwheat from Altai Territory of Russia]. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2021;(2):64–72. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-2-64-72. (In Russ.).

Научная статья  
УДК 633.35:631.559:636.085.2  
DOI: 10.31857/S0869769824040049  
EDN: IRHFCX

## Продуктивность и питательная ценность кормовой массы вики яровой

Н. Л. Клочкова, О. В. Мохань, О. Н. Теличко✉

*Наталья Леонидовна Клочкова*

младший научный сотрудник

Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки,  
Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия

klochova128@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3958-2509>

*Оксана Викторовна Мохань*

кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора

по научно-исследовательской работе

Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки,  
Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия

oksana.mohan@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7660-3348>

*Ольга Николаевна Теличко*

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Дальневосточный научно-исследовательский институт защиты растений – филиал

Федерального научного центра агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки,  
Приморский край, с. Камень-Рыболов, Россия

olgatelichko@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7948-4949>

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований гибридных образцов вики яровой ( $F_2$ – $F_4$ ) в условиях степной зоны Приморского края. Вика яровая – ценная высокопитательная кормовая культура, пригодная для заготовки зеленой массы, силоса и сена, как в чистом виде, так и в смешанных посевах с бобовыми и злаковыми культурами. Целью работы было создание и изучение перспективного высокопродуктивного гибридного материала вики яровой для дальнейшего использования в селекционном процессе. С 2020 по 2022 г. было проанализировано 143 генотипа *Vicia sativa* L., из них 15 представляют наибольший интерес по кормовой ценности. Наиболее ценными для селекции являются гибридные образцы: № 2 (Луговская 85 × ВИР 217), № 8 (Луговская 85 × DuPuy), № 10 (Луговская 85 × Кшень), № 1 (Луговская 85 × № 2252), № 11 (Луговская 85 × Моника), № 15 (Немчиновская юбилейная × Луговская 85) и № 17 (Местная × Луговская 85). Данные генотипы характеризуются максимальной урожайностью зеленой массы (0,87–1,24 кг/м<sup>2</sup>), высоким содержанием переваримого протеина в 1 кг сухого вещества (108,0–175,5 г) и максимальной обеспеченностью им 1 к. ед. (117,2–198,5 г).

**Ключевые слова:** вика яровая, гибрид, зеленая масса, питательность, протеин, обменная энергия

**Для цитирования:** Клочкова Н. Л., Мохань О. В., Теличко О. Н. Продуктивность и питательная ценность кормовой массы вики яровой // Вестн. ДВО РАН. 2024. № 4. С. 72–79.  
<http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040049>

# Productivity and nutritional value of the forage mass of the common vetch

N.L. Klochkova, O.V. Mokhan', O.N. Telichko

*Nataliya L. Klochkova*

Junior Researcher

Federal Scientific Center of Agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk, Timiryazevsky stl., Russia

klochoval28@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3958-2509>

*Oksana V. Mokhan'*

Candidate of Sciences in Agriculture, Deputy Director for Science

Federal Scientific Center of Agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk, Timiryazevsky stl., Russia

oksana.moxan@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7660-3348>

*Ol'ga N. Telichko*

Candidate of Sciences in Agriculture, Leading Researcher

Far Eastern Scientific Research Institute of Plant Protection – Branch of the

Federal Scientific Center of Agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika, Primorsky Territory, Khankai district, Kamen-Rybolov vil., Russia

olgatelichko@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7948-4949>

**Abstract.** The paper presents the results of a study on hybrid specimens of the common vetch ( $F_2$ – $F_4$ ) under the conditions of the steppe zone of Primorsky Territory. The garden vetch is a valuable and highly nutritious crop, which can be used for the production of herbage, silage, and hay and grown both independently and in a mixture with legume crops and grasses. The research goal was to create and study a highly productive hybrid material of the common vetch for further use in breeding. We analyzed 143 *Vicia sativa* L. genotypes from 2020 to 2022, fifteen of which were characterized by high nutritional value. The following hybrid specimens were determined to be the most valuable for further breeding: N2 (Lugovskaya 85 × VIR217), N8 (Lugovskaya 85 × DuPuy), N10 (Lugovskaya 85 × Kshen), N1 (Lugovskaya 85 × N2252), N11 (Lugovskaya 85 × Monika), N15 (Nemchinovskaya yubileinaya × Lugovskaya 85), and N17 (Mestnaya × Lugovskaya 85). These genotypes were characterized by the highest yield of herbage (0.87–1.24 kg/m<sup>2</sup>), a high content of digestible protein per 1 kg of the dry matter (108.0–175.5 g), and the highest amount of digestible protein per one Russian feed unit (117.2–198.5 g).

**Keywords:** common vetch, hybrid, herbage, nutritional value, protein, metabolizable energy

**For citation:** Klochkova N.L., Mokhan' O.V., Telichko O.N. Productivity and nutritional value of the forage mass of the common vetch. *Vestnik of the FEB RAS*. 2024;(4):72–79. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040049>

## Введение

В мировом земледелии бобовые культуры занимают ведущее место и имеют важнейшее продовольственное и кормовое значение. Это связано с их высокой питательной ценностью и разнообразным применением. Из зернобобовых культур в РФ

наибольшее распространение в структуре кормопроизводства занимают вика и горох [1, 2]. Среди кормовых культур особое место принадлежит вике яровой (*Vicia sativa* L.). *Vicia sativa* L. характеризуется повышенным содержанием в зеленой массе протеина, кормовых единиц и обменной энергии [3, 4]. Для кормовых целей вика яровая возделывается для заготовки зеленой массы, силоса и сена, как в чистом виде, так и в смешанных посевах с бобовыми и злаковыми культурами [5–11]. Кроме того, зерно данной культуры богато белком и незаменимыми аминокислотами [12]. *Vicia sativa* L. является хорошим предшественником для других культур, так как способна за счет клубеньковых бактерий усваивать атмосферный азот [13]. Также ее широко используют в качестве сидерата [14].

В настоящее время в связи с развитием животноводства возросли требования к качеству кормов, поэтому особую актуальность приобретает работа по созданию высокопродуктивных, питательных сортов вики.

Цель работы – создать и изучить перспективный высокопродуктивный гибридный материал вики яровой для дальнейшего использования в селекционном процессе.

## Материалы и методы

Гибридные питомники вики яровой размещались на полях селекционного севооборота лаборатории полевого и лугопастбищного кормопроизводства ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки».

Изучение исходного материала в коллекционном питомнике проводилось по методикам, разработанным ВНИИ кормов им. В.Г. Вильямса и ВНИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова [15–17].

Питомники ( $F_2-F_4$ ) закладывали удлиненными делянками с учетной площадью 1,8 м<sup>2</sup>. Делянка состояла из 2 рядков, один из которых учитывался на зеленую массу, а другой – на урожайность семян. Исходный материал вики получен методом межсортовой гибридизации. В качестве родительских форм использовались: Луговская 85 (36371, Россия), ВИР 217 (36345, Россия), DuPuy (33122, Венгрия), Кшень, Agram-8A (3613, Испания), Белоцерковская 50 (36094, Украина), Луговская 85 × Белоцерковская 222 (гибрид), Омичка 3 (36247, Россия), Немчиновская юбилейная, Моника (36262, Франция), № 2252 (35651, Португалия), Местная (35584, Бельгия). Стандарт – сорт Луговская 85.

Посев был осуществлен в соотношении вики яровой к поддерживающей культуре 1:1, по 25 семян, поддерживающая культура – пшеница. Учет урожая зеленой массы проводился в начале образования бобов. Фенологические наблюдения, оценки и учеты выполнялись в соответствии с вышеуказанными методиками.

С целью оценки кормовых достоинств зеленой массы образцов вики яровой определяли содержание абсолютно сухого вещества, протеина, клетчатки и жира.

Сумма активных температур в 2020–2022 гг. свыше 10 °С составила 2570–2778 °С, а сумма осадков за апрель–август – 272,2–556,2 мм. В соответствии с ГТК 2020 г. характеризуется как избыточно влажный, 2021 г. – умеренно влажный и 2022 г. – влажный (рис. 1).

Почва – лугово-бурая отбеленная тяжелого механического состава. Мощность пахотного горизонта 22–25 см, содержание гумуса 6,7%, рН солевой вытяжки 5,5–5,7, содержание подвижного фосфора 50,0–52,1 мг/кг почвы, обменного калия – 110,0–117,2 мг/кг почвы, азота – 96,3–118,0 мг/кг почвы.

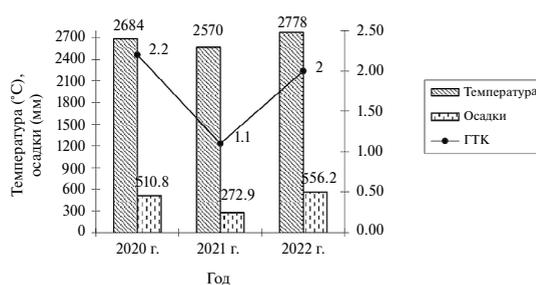


Рис. 1. Показатели температуры, осадков и гидротермических коэффициентов по годам (2020–2022 гг.).

## Результаты и обсуждение

С 2020 по 2022 г. были исследованы на кормовую продуктивность 143 гибридные линии вики яровой. Из них в 2020 г. проанализировано 66 генотипов, в 2021 г. – 41 и в 2022 г. – 36.

В результате исследований в 2020 г. выделились образцы: № 2 (Луговская 85 × ВИР 217) и № 8 (Луговская 85 × DuPuy) – F<sub>2</sub>, № 10 (Луговская 85 × Кшень) и № 14 (Омичка 3 × Белоцерковская 50) – F<sub>3</sub>, № 19 (Омичка 3 × Аграр-8А) – F<sub>4</sub>, которые превосходили стандарт (сорт Луговская 85) по урожайности зеленой массы в 1,5–2,5 раза (см. таблицу). Наибольшей урожайностью характеризуется генотип № 8 (Луговская 85 × DuPuy) – 1,24 кг/м<sup>2</sup>.

**Урожайность и биохимический анализ зеленой массы селекционных линий вики яровой (2020–2022 гг.)**

№	Образец	Вика яровая, кг/м <sup>2</sup>	Сырой протеин, %	Сырой жир, %	Сырая клетчатка, %	Сухое вещество, %
2020 г.						
2	Луговская 85 × ВИР 217 – F <sub>2</sub>	0,91	15,7	3,18	23,35	21,28
8	Луговская 85 × DuPuy – F <sub>2</sub>	1,24	15,8	3,57	27,10	19,64
10	Луговская 85 × Кшень – F <sub>3</sub>	0,90	14,4	2,74	20,58	22,07
14	Омичка 3 × Белоцерковская 50 – F <sub>3</sub>	1,00	16,4	3,70	20,84	20,06
19	Омичка 3 × Аграр-8А – F <sub>4</sub>	0,73	14,2	2,83	24,15	20,18
st	Луговская 85	0,50	13,9	4,83	20,62	19,30
2021 г.						
4	Луговская 85 × Омичка 3 – F <sub>2</sub>	0,76	19,6	3,42	23,47	19,64
9	Луговская 85 × Омичка 3 – F <sub>2</sub>	0,77	22,2	3,05	27,53	20,41
11	Луговская 85 × Моника – F <sub>2</sub>	0,87	18,2	3,46	19,75	20,30
34	Немчиновская юбилейная × Омичка 3 – F <sub>2</sub>	0,76	21,1	3,28	30,84	19,97
6	Луговская 85 × (Луговская 85 × Белоцерковская 222) – F <sub>3</sub>	0,71	20,8	2,69	20,68	19,00
1	Луговская 85 × № 2252 – F <sub>4</sub>	0,82	23,4	2,00	27,80	20,16
10	Луговская 85 × Кшень – F <sub>4</sub>	0,92	21,8	2,50	27,37	21,91
st	Луговская 85	0,38	20,1	2,51	25,77	18,70
2022 г.						
13	Немчиновская юбилейная × Местная – F <sub>2</sub>	1,20	18,9	4,19	16,23	16,90
15	Немчиновская юбилейная × Луговская 85 – F <sub>2</sub>	1,10	19,8	3,64	21,15	16,45
17	Местная × Луговская 85 – F <sub>2</sub>	1,14	21,8	3,65	17,88	16,52
30	Немчиновская юбилейная × Омичка 3 – F <sub>3</sub>	0,83	19,9	4,16	20,69	17,52
31	Немчиновская юбилейная × Омичка 3 – F <sub>3</sub>	0,85	19,8	3,77	22,05	19,28
3	Луговская 85 × (Луговская 85 × Белоцерковская 222) – F <sub>4</sub>	0,69	21,5	3,80	21,51	17,68
5	Луговская 85 × (Луговская 85 × Белоцерковская 222) – F <sub>4</sub>	0,63	22,5	3,76	23,59	18,08
6	Луговская 85 × (Луговская 85 × Белоцерковская 222) – F <sub>4</sub>	0,67	20,4	4,18	23,81	17,90
st	Луговская 85	0,52	21,2	4,26	25,22	16,11

Зернобобовые культуры являются одним из основных источников полноценного белка. Содержание сырого протеина в образцах (2020 г.) составило 14,2–16,4%. Все гибридные образцы превышают по данному показателю стандарт (см. таблицу). Наибольшим содержанием сырой клетчатки отличались гибридные образцы № 8 (Луговская 85 × DuPuy) и № 19 (Омичка 3 × Аграр-8А). По содержанию сырого жира в зеленой массе все изучаемые генотипы уступали стандарту. Гибридные линии № 2 (Луговская 85 × ВИР 217) и № 10 (Луговская 85 × Кшень) превышали сорт Луговская 85 по содержанию сухого вещества (СВ) на 10,7–14,4%.

По результатам исследований 2021 г. все изучаемые генотипы значительно превышали стандартный образец по урожайности зеленой массы. Наибольшей урожайностью выделяется № 10 (Луговская 85 × Кшень), превышение над стандартом составляет 2,4 раза (см. таблицу).

Химический анализ зеленой массы показал, что наибольшее содержание протеина отмечено у № 1 (Луговская 85 × № 2252) и № 9 (Луговская 85 × Омичка 3) – 22,2–23,4%; клетчатки – № 9 (Луговская 85 × Омичка 3), № 34 (Немчиновская юбилейная × Омичка 3), № 1 (Луговская 85 × № 2252) и № 10 (Луговская 85 × Кшень) – 27,37–30,84% (см. таблицу). Содержание сырого протеина у изучаемых образцов было в пределах 2,00–3,46%, а сухого вещества – 19,00–21,91%.

В 2022 г. урожайность зеленой массы исследуемых образцов варьировала от 0,63 до 1,20 кг/м<sup>2</sup> (см. таблицу). Наиболее урожайными являются образцы № 13 (Немчиновская юбилейная × Местная), № 15 (Немчиновская юбилейная × Луговская 85), № 17 (Местная × Луговская 85), превышающие стандарт в 2,1–2,3 раза. Содержание сухого вещества в зависимости от генотипа было в пределах 16,52–19,28%.

По данным биохимического анализа максимальным содержанием протеина характеризуются генотипы № 17 (Местная × Луговская 85), № 3 и № 5 (Луговская 85 × (Луговская 85 × Белоцерковская 222)). По содержанию клетчатки, жира все изучаемые гибриды уступали стандарту и были в пределах 16,23–23,81% и 3,64–4,19% соответственно (см. таблицу).

По нашим данным, содержание кормовых единиц (к. ед.) в 1 кг сухого вещества вики яровой в зависимости от генотипа варьировало в 2020 г. от 0,85 (№ 8, Луговская 85 × DuPuy) до 0,95 (№ 14, Омичка 3 × Белоцерковская 50), в 2021 г. – от 0,83 (№ 34, Немчиновская юбилейная × Омичка 3) до 0,98 (№ 6, Луговская 85 × (Луговская 85 × Белоцерковская 222)), в 2022 г. – от 0,93 (№ 6, Луговская 85 × (Луговская 85 × Белоцерковская 222)) до 1,04 (№ 13, Немчиновская юбилейная × Местная). У стандартного образца данный показатель был в пределах 0,89–0,93.

Одним из существенных показателей, который отражает питательную ценность корма, является переваримый протеин (ПП). В 2020 г. максимальным содержанием переваримого протеина в 1 кг СВ и обеспеченностью ПП 1 к. ед. характеризовались образцы вики № 2 (Луговская 85 × ВИР 217), № 8 (Луговская 85 × DuPuy), № 14 (Омичка 3 × Белоцерковская 50) – 117,8–123,0 г и 130,2–140,2 г соответственно (рис. 2).

Среди изученных в 2021 г. генотипов (F<sub>2</sub>–F<sub>4</sub>) значительно превышают стандарт по содержанию ПП в 1 кг СВ гибридные образцы № 34 (Немчи-

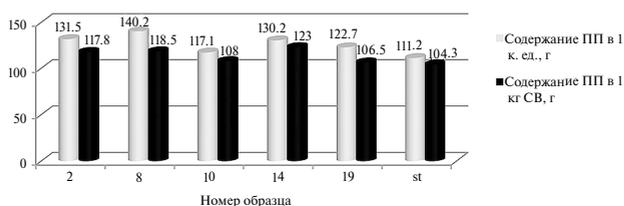


Рис. 2. Питательная ценность кормовой массы вики яровой, 2020 г.

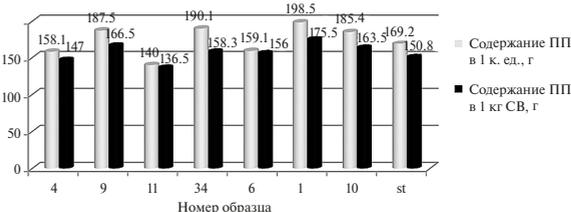


Рис. 3. Питательная ценность кормовой массы вики яровой, 2021 г.

новская юбилейная × Омичка 3) и № 1 (Луговская 85 × № 2252) – 190,1–198,5 г (рис. 3). Обеспеченность ПП 1 к. ед. у данных образцов превышала сорт Луговская 85 на 20,9–47,7 г.

В результате исследований, проведенных в 2022 г., выявлено, что только один гибрид (№ 5, Луговская 85 × (Луговская 85 × Белоцерковская 222)) имел преимущество над стандартом по обеспеченности ПП 1 к. ед. и содержанию в 1 кг СВ, превышение над сортом Луговская 85 составляет 4,6–9,8 г (рис. 4).

Энергетическую ценность корма характеризует содержание обменной энергии. Биоэнергетическая оценка кормовой массы вики яровой показала, что наибольший выход обменной энергии отмечался в 2020 г. у № 8 (Луговская 85 × DuPuy), № 10 (Луговская 85 × Кшень), № 14 (Омичка 3 × Белоцерковская 50) – 21,33–24,52 ГДж/га; в 2021 г. – у № 10 (Луговская 85 × Кшень) и № 11 (Луговская 85 × Monika) – 19,75–20,87 ГДж/га; в 2022 г. – у № 13 (Немчиновская юбилейная × Местная) и № 17 (Местная × Луговская 85) – 21,52–22,71 ГДж/га.

В целом биохимический анализ зеленой массы вики яровой показал, что у всех генотипов наблюдается высокая обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином и повышенное содержание обменной энергии.

## Заключение

В результате исследований были выявлены наиболее перспективные по урожайности и питательной ценности гибридные образцы вики яровой, превышающие стандарт (сорт Луговская 85): № 2 (Луговская 85 × ВИР 217), № 8 (Луговская 85 × DuPuy), № 10 (Луговская 85 × Кшень), № 1 (Луговская 85 × № 2252), № 11 (Луговская 85 × Monika), № 15 (Немчиновская юбилейная × Луговская 85) и № 17 (Местная × Луговская 85). Выделившиеся генотипы будут использованы в дальнейшем в селекционном процессе для создания высокопродуктивных сортов вики яровой.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Безгодова И.Л., Коновалова Н.Ю. Влияние перспективных видов и сортов бобовых культур на ботанический состав, продуктивность и питательность однолетних смесей в условиях европейского севера России // *АгроЗооТехника*. 2022. Т. 5, № 4. DOI: 10.15838/alt.2022.5.4.2.
2. Синеговский М.О. Соя – культура мирового земледелия // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2023. № 5. С. 22–25.
3. Теличко О.Н., Мохань О.В. Кормовые достоинства гибридов вики посевной в условиях степной зоны Приморского края // *Аграрная Россия*. 2019. № 5. С. 7–11. DOI: 10.30906/1999-5636-2019-5-7-11.
4. Осипова В.В., Конощук Л.Я. Перспективные сорта вики яровой для заготовки кормов в условиях криолитозоны // *Вестник АГАТУ*. 2022. № 4 (8). С. 35–42.
5. Бабайцева Т.А., Вафина Э.Ф., Мильчакова А.В., Хамади А.И. Перспективные сорта зерновых и зернобобовых культур для выращивания в Удмуртии // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023. № 1 (73). С. 4–15.
6. Агафонов В.А. Травосмеси суданской травы с высокобелковыми культурами в полевом кормопроизводстве Прибайкалья // *Кормопроизводство*. 2022. № 3. С. 21–25. DOI: 10.25685/krm.2022.3.2022.003.

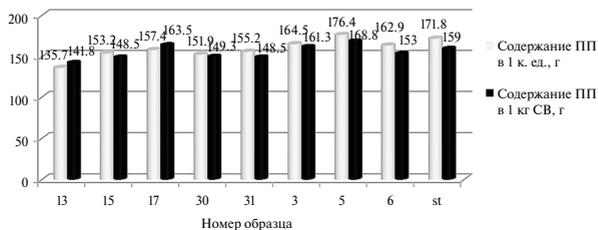


Рис. 4. Питательная ценность кормовой массы вики яровой, 2022 г.

7. Безгодова И.Л., Коновалова Н.Ю. Формирование однолетних бобово-злаковых смесей на основе перспективных сортов в условиях европейского севера России // Молочнохозяйственный вестник. 2022. № 1 (45). С. 24–43. DOI: 10.52231/2225-4269\_2021\_3\_24.
8. Кравченко Р.В., Скамарохова А.С. Продуктивность бинарных вико-злаковых травосмесей в условиях равнинного агроландшафта западного Предкавказья // Пермский аграрный вестник. 2023. № 2 (42). С. 27–33. DOI: 10.47737/2307-2873\_2023\_42\_27.
9. Шукис С.К., Шукис Е.Р. Биолого-хозяйственная оценка сортов и линий вики посевной в условиях Алтайского края и их реакция на сроки посева // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2021. № 2 (63). С. 35–43. DOI: 10.34655/bgsha.2021.63.2.005.
10. Исмоилова К.М., Кулиев Т.Х., Каримова Ш.Б.К. Кормовая и селекционная ценность вики в условиях почвенного засоления // Universum: химия и биология. 2023. № 2–1 (104). С. 26–30. DOI: 10.32743/UniChem.2023.104.2.14894.
11. Теличко О.Н., Емельянов А.Н. Влияние видового состава травосмесей на урожайность зеленой массы и засоренность посевов // Дальневосточный аграрный вестник. 2017. № 4 (44). С. 74–79.
12. Артамонов И.В. Сравнение образцов кормов по содержанию в них незаменимых аминокислот // АгроЗооТехника. 2022. Т. 5, № 1.
13. Кузин Е.Н., Арефьев А.Н., Кузина Е.Е. Влияние элементов биологического земледелия на агрофизические свойства лугово-черноземной почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур // Сурский вестник. 2022. № 2 (18). С. 15–19. DOI: 10.36461/2619-1202\_2022\_02\_003.
14. Зеленин И.Н. Яровые культуры для сидеральных паров // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 5. С. 38–39.
15. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / сост. Ю.К. Новосёлов, В.Н. Киреев, Г.П. Кутузов и др.; РАСХН. М., 1997. 156 с.
16. Методика изучения коллекции зернобобовых культур / сост. Н.И. Мирошниченко, Р.Б. Дёмина, Л.В. Мокень и др.; ВАСХНИЛ, ВИР. Л.: ВИР, 1968. 174 с.
17. Изучение образцов мировой коллекции вики посевной: метод. указания / сост. С.И. Репьев, Л.В. Леокене, Б.И. Макаров и др.; ВАСХНИЛ, ВИР. Л.: ВИР, 1983. 22 с.

## REFERENCES

1. Bezgodova I.L., Konovalova N. Yu. Influence of promising species and varieties of legumes on botanical composition, productivity and nutritional value of annual mixtures in the conditions of the European north of Russia. *Agricultural and Livestock Technology*. 2022;5(4). DOI: 10.15838/alt.2022.5.4.2. (In Russ.).
2. Sinegovskii M. O. Soybean it is the crop of world farming. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2023;(5):22–25. (In Russ.).
3. Telichko O.N., Mokhan' O. V. Fodder value of hybrids of *Vicia sativa* L. in the steppe zone of Primorsky Krai. *Agrarian Russia*. 2019;(5):7–11. DOI: 10.30906/1999-5636-2019-5-7-11. (In Russ.).
4. Osipova V.V., Konoshchuk L. Ya. Promising varieties of spring vetch for forage processing in cryolithozone conditions. *Bulletin of AGATU*. 2022;8(4):35–42. (In Russ.).
5. Babaitseva T.A., Vafina Eh.F., Mil'chakova A.V., Khamadi A.I. Promising varieties of grain and leguminous crops for cultivation in Udmurtia. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2023;73(1):4–15. (In Russ.).
6. Agafonov V.A. Sudan grass mixtures with high-protein crops in field forage production of the Baikal region. *Fodder Production*. 2022;(3):21–25. DOI: 10.25685/krm.2022.3.2022.003. (In Russ.).
7. Bezgodova I. L., Konovalova N. Yu. Formation of annual legume-grass mixtures from appreciable varieties in the European north of Russia. *Molochnokhozyaistvenny Vestnik*. 2022;45(1):24–43. DOI: 10.52231/2225-4269\_2021\_3\_24. (In Russ.).
8. Kravchenko R. V., Skamarokhova A. S. Productivity of binary vetch-cereal grass mixtures under the conditions of the flat agrolandscape in the Western Predkavkazie. *Perm Agrarian Journal*. 2023;42(2):27–33. DOI: 10.47737/2307-2873\_2023\_42\_27. (In Russ.).
9. Shukis S. K., Shukis E. R. Bio-economical evaluation of cultivars and lines of common tare under Altai region conditions and their reaction on dates of sowing. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*. 2021;63(2):35–43. DOI: 10.34655/bgsha.2021.63.2.005. (In Russ.).

10. Ismoilova K.M., Kuliev T. Kh., Karimova Sh.B.K. Feed and breeding value of vetch in conditions of soil salinization. *Universum: Chemistry and Biology*. 2023;104(2-1):26–30. DOI: 10.32743/UniChem.2023.104.2. 14894. (In Russ.).
11. Telichko O.N., Emel'yanov A.N. Influence of species composition of grass mixtures upon yield of green mass and weed infestation of the crops. *Dal'nevostochnyi Agrarnyi Vestnik = [Far Eastern Agrarian Bulletin]*. 2017;44(4):74–79. (In Russ.).
12. Artamonov I.V. Comparing feed samples by the content of essential amino acids. *Agricultural and Livestock Technology*. 2022;5(1). (In Russ.).
13. Kuzin E.N., Aref'ev A.N., Kuzina E.E. Influence of elements of biological agriculture on agrophysical properties of meadow-chernozem soil and productivity. *Surskii Vestnik = [Sursky Bulletin]*. 2022;18(2):15–19. DOI: 10.36461/2619-1202\_2022\_02\_003. (In Russ.).
14. Zelenin I.N. Spring cultures for green manuring. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2009;(5):38–39. (In Russ.).
15. Novoselov Yu.K., Kireev V.N., Kutuzovetal G.P. (eds.). Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevykh opytov s kormovymi kul'turami = [Methodology for conducting field experiments on fodder crops]. Moscow; 1997. 156 p. (In Russ.).
16. Miroshnichenko N.I., Demina R.B., Moken' L.V. et al. (eds.). Metodika izucheniya kolleksii zernobobovykh kul'tur = [Methodology for studying the collection of legume crops]. Leningrad: VIR; 1968. 174 p. (In Russ.).
17. Rep'ev S.I., Leokene L.V., Makarov B.I. et al. (eds.). Izuchenie obraztsov mirovoi kolleksii viki posevnoi: metod. Ukazaniya = [Studying specimens from the global collection of the common vetch: guidelines]. Leningrad:VIR; 1983. 22 p. (In Russ.).

Научная статья  
УДК 635.21.631.532(571.63)  
DOI: 10.31857/S0869769824040055  
EDN: IRBWHG

## Усовершенствование элементов технологии выращивания мини-клубней картофеля в защищенном грунте

Д.И. Волков✉, А.А. Гисюк, И.В. Ким, В.Н. Морозова

*Дмитрий Игоревич Волков*

заведующий отделом картофелеводства и овощеводства  
Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки,  
Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия  
volkov\_dima@inbox.ru  
<http://orcid.org/0000-0002-9364-9225>

*Александр Александрович Гисюк*

младший научный сотрудник  
Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки,  
Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия  
gisuyuk@mail.ru  
<http://orcid.org/0000-0001-6764-997X>

*Ирина Вячеславовна Ким*

доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник  
Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки,  
Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия  
kimira-80@mail.ru  
<http://orcid.org/0000-0002-0656-0645>

*Вероника Николаевна Морозова*

агроном  
Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки,  
Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия  
verunya.morozova.2023intrnet.ru@mail.ru  
<http://orcid.org/0009-0005-0902-5137>

**Аннотация.** В оригинальном семеноводстве картофеля для увеличения объемов производства оздоровленного исходного материала очень важно повышение продуктивности микрорастений в условиях защищенного грунта. Целью исследований являлось сравнительное изучение влияния способов выращивания пробирочных растений пяти сортов картофеля – Метер, Адретта, Дачный, Казачок, Смак – в грядах и горшечной культуре на коэффициент приживаемости, продолжительность вегетационного периода, продуктивность. По результатам опыта установлено, что способ выращивания микрорастений в 5-литровых сосудах имел существенные преимущества по отношению к посадке растений в гряды. Приживаемость растений оказалась выше на 4,5–18,5%, период вегетации сократился на

2–4 дня, коэффициент размножения в среднем за 2 года по всем сортам увеличился в 2,3 раза. Наибольшую среднюю продуктивность при выращивании в горшечной культуре имел сорт Метеор – 8,9 шт./растение.

**Ключевые слова:** картофель, исходный материал, мини-клубни, коэффициент размножения, защищенный грунт

**Для цитирования:** Волков Д.И., Гисюк А.А., Ким И.В., Морозова В.Н. Усовершенствование элементов технологии выращивания мини-клубней картофеля в защищенном грунте // Вестн. ДВО РАН. 2024. № 4. С. 80–87. <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040055>

Original article

## Improving the elements of the technology for growing potato minitubers in a greenhouse

D.I. Volkov, A. A. Gisyuk, I. V. Kim, V.N. Morozova

*Dmitrii I. Volkov*

Head of the Department of Potato Breeding and Horticulture  
Federal Scientific Center of Agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika,  
Ussuriysk, Timiryazevsky stl., Russia  
[volkov\\_dima@inbox.ru](mailto:volkov_dima@inbox.ru)  
<http://orcid.org/0000-0002-9364-9225>

*Aleksandr A. Gisyuk*

Junior Researcher  
Federal Scientific Center of Agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika,  
Ussuriysk, Timiryazevsky stl., Russia  
[gisyuk@mail.ru](mailto:gisyuk@mail.ru)  
<http://orcid.org/0000-0001-6764-997X>

*Irina V. Kim*

Doctor of Sciences in Agriculture, Leading Researcher  
Federal Scientific Center of Agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika,  
Ussuriysk, Timiryazevsky stl., Russia  
[kimira-80@mail.ru](mailto:kimira-80@mail.ru)  
<http://orcid.org/0000-0002-0656-0645>

*Veronika N. Morozova*

Agronomist  
Federal Scientific Center of Agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika,  
Ussuriysk, Timiryazevsky stl., Russia  
[verunya.morozova.2023@intrnet.ru](mailto:verunya.morozova.2023@intrnet.ru)  
<http://orcid.org/0009-0005-0902-5137>

**Abstract.** Improving the productivity of micro-plants under greenhouse conditions plays a key role in increasing the output of virus-free starting material for the production of breeder seed potatoes. The research goal was to evaluate how different methods for growing test-tube plants (in garden beds and pots) affected the survival rate, growing period length, and productivity of five potato varieties – Meteor, Adretta, Dachnyi, Kazachok, and Smak. The research discovered that growing the micro-plants in 5 L containers was more advantageous than planting them in garden beds. The survival rate of the plants was by 4.5–18.5% in the variants with the pots. The growing period length decreased by 2–4 days. The net reproduction rate increased by 2.3 times on average over the two year of our experiment. Variety Meteor had the highest average productivity among the specimens grown in the pots (8.9 tubers/plant).

**Keywords:** potato, starting material, minitubers, net reproduction rate, greenhouse

## **Введение**

Картофелеводство является стратегической отраслью сельского хозяйства и по праву занимает центральное место в продовольственной доктрине страны [1]. Важным направлением увеличения производства картофеля является эффективное использование новых селекционных достижений, совершенствование современных агротехнологий и ускоренное продвижение их в сельскохозяйственную практику. Одной из ключевых задач при выращивании семенного картофеля является поиск наиболее эффективных путей оптимизации технологических процессов, направленных на получение оптимального уровня урожайности, количественного выхода стандартной фракции семенных клубней и обеспечение качества семенного картофеля на уровне нормативных требований стандартов [2, 3].

Современный технологический процесс производства семенного картофеля включает три основных этапа – оригинальное, элитное и репродукционное семеноводство. Основным звеном системы семеноводства картофеля в настоящее время по-прежнему остается производство высококачественного исходного материала, которое включает создание и поддержание коллекций здоровых сортов на основе меристемно-тканевой культуры, клональное размножение микрорастений, выращивание мини-клубней и диагностика фитопатогенов на всех этапах [4–6].

В настоящее время получения исходных оздоровленных мини-клубней достигается различными лабораторными способами (аэропонные, гидропонные, аэро-гидропонные) или в условиях защищенного грунта [7, 8]. Производства мини-клубней в весенне-летних сооружениях защищенного грунта, по оценкам экспертов, составляет около 80% в сравнении с альтернативными технологиями с применением гидропонных или аэропонных модулей [9]. Тепличная технология является простым и доступным способом получения мини-клубней. Клубни, произведенные таким способом, более полноценные и физиологически качественные. Однако при этом существенным недостатком является достаточно невысокий количественный выход мини-клубней с единицы площади [10].

Решение этой проблемы возможно путем повышения эффективности выращивания оздоровленного материала в теплицах, улучшение приживаемости, роста и развития пробирочных растений, увеличение массы и количества мини клубней семенной фракции, сохранения оздоровительного эффекта [11, 12].

Семеноводство картофеля на оздоровленной основе в соответствии с научно обоснованным регламентом развернуто в ФГБНУ «ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» с 2012 г. [13]. Однако в связи с растущим спросом на высококачественный семенной материал существующих объемов недостаточно для удовлетворения потребностей сельскохозяйственных товаропроизводителей и крестьянско-фермерских хозяйств в регионе.

Цель работы – усовершенствовать технологию выращивания мини-клубней картофеля, обеспечивающую увеличение объемов производства исходного материала.

## **Материалы и методика исследований**

Исследования выполнены в 2022–2023 гг. на базе ФГБНУ «ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» в весенне-летней теплице по выращиванию оздоровленного семенного картофеля.

В данном опыте проведена оценка эффективности влияния общепринятой технологии выращивания мини-клубней в регионе в подготовленных грядах в сравнении с посадкой растений в квадратно-круглые 5-литровые сосуды с дренажными отверстиями на дне, наполненные торфяным субстратом, на приживаемость растений, оценка коэффициента размножения и качества семенных клубней.

В эксперименте использовали мини-растения 5 сортов картофеля различного происхождения, выращенных в культуре *in vitro*, допущенных для выращивания в Дальневосточном

регионе, в том числе раннеспелый – Метеор, среднеранний – Адретта, среднеспелый – Дачный и среднепозднего срока созревания – Казачок, Смак.

Посадку исходного материала выполнили согласно агросрокам в III декаде мая. Опыт закладывали в 4-кратной повторности по 50 растений. В вариантах с посадкой в грядках густота стояния растений составила 20 шт./м<sup>2</sup>. После посадки растений из пробирок в теплицу для снижения негативных последствий стрессовой ситуации при пересадке проводили обработку стимуляторами роста Гетероауксин (1 г/10 л) и Эпин Экстра (1 мл/5 л). Обработка осуществлялась вручную до полного промачивания почвы. Для защиты растений от грибных болезней и вредителей выполнили 4 обработки фунгицидами и инсектицидами (Ревус Топ 0,6 л/га, Ридомил Голд МЦ 2,5 кг/га, Конфидор Экстра ВДГ 0,05 кг/га, Актара 0,6 кг/га).

В период вегетации растений проводили фенологические наблюдения (учет приживаемости растений, начало и конец цветения, увядание ботвы)<sup>1</sup>.

Урожай собирали вручную по сортам в I декаде сентября. Оценка продуктивности проводили по числу клубней с 1 растения (шт.). Согласно требованиям ГОСТ 33996-2016 полученный урожай разделяли на две фракции по наибольшему поперечному диаметру до 0,09 см и от 0,9 до 6,0 см. Определяли количество нестандартных клубней (неправильная форма, израстание, растрескивание), наличие клубней, поврежденных болезнями и вредителями.

## Результаты и обсуждение

Основным показателем, характеризующим адаптивную способность *in vitro* материала после его высадки в защищенный грунт, является приживаемость микрорастений. Приживаемость микрорастений картофеля – один из факторов влияния на коэффициент размножения, она определяется как отношение прижившихся растений к высаженным (табл. 1).

Из представленных данных в табл. 1 видно, что в варианте с посадкой микрорастений в 5-литровые сосуды приживаемость по всем изучаемым сортам была выше по сравнению с растениями, высаженными в гряды, и составила от 98,0 до 100%. В грядках приживаемость растений находилась в пределах 81,5–95,0% от высаженных растений. У сорта Смак в среднем между вариантами отмечена наибольшая разница между прижившимися рас-

Таблица 1

Показатели приживаемости микрорастений картофеля, 2022–2023 гг.

Сорт	Вариант	Высаженные растения, шт.	Приживаемость, шт. (%)
Метеор	I	200	190 (95,0)
	II	200	199 (99,5)
Адретта	I	200	175 (87,5)
	II	200	196 (98,0)
Дачный	I	200	186 (93,0)
	II	200	200 (100)
Казачок	I	200	181 (90,5)
	II	200	197 (98,5)
Смак	I	200	163 (81,5)
	II	200	200 (100)

Примечание. Варианты: I – посадка растений в гряды, II – посадка растений в сосуды.

<sup>1</sup> Методические указания по поддержанию и изучению мировой коллекции картофеля / сост. С. Д. Киру, Л. И. Костина, Э. В. Трускинов и др. СПб., 2010. 32 с.



А



Б

Вегетация *in vitro* растений картофеля в сосудах, 2023 г.: А – посадка растений в гряды, Б – посадка растений в сосуды

тениями и составила 18,5%, или 37 растений.

В результате наблюдения за ростом и развитием растений установлено, что более короткий межфазный период от посадки до бутонизации отмечен у всех изучаемых сортов в варианте при посадке растений в сосуды. В среднем разница составила от 2 до 4 дней. Независимо от варианта посадки растений быстрое и дружное появление бутонов отмечено у среднераннего сорта Адретта и среднепозднего Казачок (41–43 дня). В варианте с посадкой растений в сосуды у всех изучаемых

сортов отмечена равномерность в развитии на первом этапе роста (см. рисунок и табл. 2).

При анализе продолжительности вегетационного периода по вариантам установлено, что сорта картофеля, высаженные в сосуды, имели более короткий период от посадки до увядания ботвы. Отчетливо это установлено на раннеспелом сорте Метеор и среднепозднем Смак, вегетационный период при выращивании мини-клубней в сосудах у этих сортов в среднем короче на 4 дня. В целом вегетационный период увеличивался от ранних сортов к поздним и составил в грядках от 108 до 124 дней, в сосудах – от 104 до 120 дней.

Основным критерием продуктивности микрорастений картофеля при их выращивании в защищенном грунте является количество сформированных мини-клубней. Коэффициент размножения зависит от сортовых особенностей, качества высаженных *in vitro* растений, сроков посадки и технологии выращивания [14]. Вторым немаловажным элементом уро-

Таблица 2

Продолжительность межфазных периодов у микрорастений картофеля, 2022–2023 гг.

Сорт	Вариант	Посадка – бутонизация, сут.	Бутонизация – цветение, сут.	Цветение – отмирание ботвы, сут.	Вегетационный период, сут.
Метеор	I	46	9	53	108
	II	44	9	51	104
Адретта	I	43	11	55	109
	II	41	10	55	106
Дачный	I	45	14	54	113
	II	43	13	53	111
Казачок	I	43	18	56	117
	II	41	17	57	115
Смак	I	48	9	67	124
	II	44	9	67	120

Примечание. Варианты: I – посадка растений в гряды, II – посадка растений в сосуды.

**Коэффициент размножения (КР) и элементы структуры урожая мини-клубней, 2022–2023 гг.**

Сорт	Вариант	Общее количество мини-клубней в варианте, шт.				Выход стандартной фракции, %	КР стандартных клубней, шт./растение
		всего	стандартные	нестандартные	поврежденные вредителями		
Метеор	I	680	589	78	13	86,6	3,1
	II	1847	1771	70	6	95,9	8,9
Адретта	I	606	543	54	9	89,6	3,1
	II	1288	1254	30	4	97,4	6,4
Дачный	I	969	818	67	84	84,4	4,4
	II	1575	1520	50	5	96,5	7,6
Казачок	I	523	471	34	18	90,1	2,6
	II	1111	1064	37	10	95,8	5,4
Смак	I	597	522	51	24	87,4	3,2
	II	1227	1180	37	10	96,2	5,9
НСР <sub>0,5</sub>		48,33	49,06	–	–	–	0,93

Примечание. Вариант I (посадка растений в гряды): стандартных клубней по опыту – 2943 шт., КР – 3,3; вариант II (посадка растений в сосуды): стандартных клубней по опыту – 6789 шт., КР – 6,8.

жайности, который регламентируется ГОСТ 33996-2016, является размер клубней по поперечному диаметру. Для мини-клубней он составляет от 0,9 до 6,0 см.

Результаты проведенных исследований показывают, что выращивание микрорастений в сосудах дает достоверную прибавку по отношению к грядовой технологии как по общей урожайности, так и по выходу стандартных мини-клубней у всех изучаемых сортов (табл. 3).

Анализ фракционного состава показал, что максимальный выход стандартных мини-клубней отмечен у сорта Метеор при посадке в сосуды (1771 шт.), это в 3,0 раза больше, чем при посадке этого сорта в гряды. Необходимо также отметить значительное снижение процента поврежденных клубней вредителями при выращивании растений в сосудах. Так, в среднем по сортам повреждения вредителями (медведка, проволочник) снизились на 44,0–94,0%. Самый высокий коэффициент размножения в опыте отмечен при выращивании в сосудах у сортов Метеор (8,9 шт./растения) и Дачный (7,6 шт./растения), при выходе стандартной фракции – 95,9–96,5% у того и другого.

Таким образом, по результатам исследований установлено, что выращивание микрорастений по общепринятой технологии (на грядах) менее эффективно по сравнению с выращиванием их в горшечной культуре, о чем свидетельствуют данные о среднем общем количестве полученных стандартных мини-клубней в опыте (2943 и 6789 шт. соответственно).

### Заключение

По результатам сравнительной оценки 2 способов посадки микрорастений в защищенный грунт установлено, что технология выращивания мини-клубней в сосудах имеет ряд преимуществ по отношению к грядам:

– приживаемость растений составила 98,0–100%,

– значительно снизилось повреждение клубней вредителями (44,0–98,0%),  
– коэффициент размножения стандартных клубней, соответствующих ГОСТ 33996-2016, увеличился в среднем по сортам в 2,3 раза.

На основании проведенных исследований при выращивании оздоровленного пробирочного материала картофеля в защищенном грунте можно рекомендовать посадку растений в сосуды емкостью 5 л, что позволит увеличить объемы семенного фонда для оригинального семеноводства картофеля в регионе.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Клименков Ф.И., Ворончихин В.В., Мишанова Е.В., Кузьмина Н.П., Клименкова И.Н. Обоснование потребности Российской Федерации в отечественных семенах и решение проблемы их дефицита // Московский экономический журнал. 2022. № 11. Ст. 26. DOI: 10.55186/2413046X\_2022\_7\_11\_668.
2. Минаков И.А. Продовольственная независимость и экономическая доступность картофеля // Наука и образование. 2023. Т. 6, № 1. Ст. 68.
3. Анисимов Б.В., Симаков Е.А., Жевора С.В., Овэс Е.В., Зебрин С.Н., Зейрук В.Н., Митюшкин А.В., Усков А.И., Юрлова С.М., Журавлев А.А., Хутинаев О.С., Блинков Е.Г., Логинов С.И., Чугунов В.С. Семеноводство картофеля: современные технологии, нормативное регулирование, проверка качества. Чебоксары, 2017. 36 с.
4. Анисимов Б.В., Симаков Е.А., Жевора С.В., Овэс Е.В., Зебрин С.Н., Митюшкин А.В., Журавлев А.А., Блинков Е.Г., Юрлова С.М., Усков А.И., Зейрук В.Н., Федотова Л.С. Современные технологии производства семенного картофеля. Практическое руководство. Чебоксары, 2018. 48 с.
5. Купрейчук Н.А., Заборонок И.М., Сокол С.В., Живето Л.К. Приемы повышения продуктивности картофеля в питомниках оригинального семеноводства // Картофелеводство. 2013. Т. 21, ч. 2. С. 72–80.
6. Усков А.И., Овэс Е.В., Ускова Л.Б. и др. Семеноводство картофеля. М.: ИНФРА-М, 2023. 161 с.
7. Дорохов А.С., Пономарев А.Г., Зернов В.Н., Петухов С.Н., Сибирёв А.В., Аксенов А.В. Эффективность использования субстратного технологического модуля в технологии выращивания мини-клубней картофеля // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. № 1. С. 141–151. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.1.141-151.
8. Корнацкий С.А. Инновационная технология выращивания мини-клубней картофеля для первичного семеноводства // Евразийский союз ученых. 2016. № 12–2 (33). С. 38–40.
9. Хутинаев О.С., Анисимов Б.В., Юрлова С.М., Мелешин А.А. Мини-клубни методом агрогидропонии // Картофель и овощи. 2016. № 11. С. 28–30.
10. Дмитриева Н.Н., Милехин А.В., Бакунов А.Л., Рубцов С.Л. Сравнительный анализ различных способов производства первичного безвирусного семенного материала картофеля в контролируемых условиях фитотрона // Известия Самарского научного центра РАН. 2018. № 2-3 (82). С. 637–640.
11. Карданова И.С., Овэс Е.В., Гаитова Н.А. Использование условий высокогорья Северного Кавказа для выращивания мини-клубней картофеля // Земледелие. 2022. № 4. С. 26–30. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-4-26-30.
12. Терентьева Е.В., Ткаченко О.В. Получение мини-клубней картофеля в летних каркасных теплицах в условиях Нижнего Поволжья // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 5. С. 55–58. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10514.
13. Ким И.В., Новоселов А.К., Новоселова Л.А. Совершенствование технологического процесса производства оригинального семенного картофеля в Приморском НИИСХ // Картофелеводство: сборник научных трудов: материалы международной научно-практической конференции «Методы биотехнологии в селекции и семеноводстве картофеля». М., 2014. С. 223–225.
14. Етдзаева К.Т., Овэс Е.В. Выращивание мини-клубней картофеля в двух оборотах защищенного грунта в условиях РСО – Алания // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23, № 4. С. 441–449. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.441-449.

## REFERENCES

1. Klimenkov F.I., Voronchikhin V.V., Mishanova E.V., Kuz'mina N.P., Klimenkova I.N. Obosnovanie potrebnosti Rossiiskoi Federatsii v otechestvennykh semenakh i reshenie problemnykh defitsita = [Justification of the Russian Federation's need for domestically produced seeds and solution of the problem of their deficit]. *Moscow Economic Journal*. 2022;(11). 26. (In Russ.). DOI: 10.55186/2413046X\_2022\_7\_11\_668.
2. Minakov I.A. Prodovol'stvennaya nezavisimost' i ehkonomicheskaya dostupnost' kartofelya = [Food independence and economic accessibility of potatoes]. *The Education and Science Journal*. 2023;6(1). 68. (In Russ.).
3. Anisimov B.V., Simakov E.A., Zhevora S.V., Ovehs E.V., Zebrin S.N., Zeiruk V.N., Mityushkin A.V., Uskov A.I., Yurlova S.M., Zhuravlev A.A., Khutinaev O.S., Blinkov E.G., Loginov S.I., Chugunov V.S. Semenovodstvo kartofelya: sovremennye tekhnologii, normativnoe regulirovanie, proverka kachestva = [Production of seed potatoes: modern technologies, policy management, and quality control]. *Cheboksary*; 2017. 36 p. (In Russ.).
4. Anisimov B.V., Simakov E.A., Zhevora S.V., Ovehs E.V., Zebrin S.N., Mityushkin A.V., Zhuravlev A.A., Blinkov E.G., Yurlova S.M., Uskov A.I., Zeiruk V.N., Fedotova L.S. Sovremennye tekhnologii proizvodstva semennogo kartofelya. Prakticheskoe rukovodstvo = [Modern technologies for the production of seed potatoes. Practical guide]. *Cheboksary*; 2018. 48 p. (In Russ.).
5. Kupreichuk N.A., Zaboronok I.M., Sokol S.V., Zhiveto L.K. Priemy povysheniya produktivnosti kartofelya v pitomnikakh original'nogo semenovodstva = [Methods for improving potato productivity in the nurseries of breeder seed production]. *Kartofelevodstvo*. 2013;21(2):72–80. (In Russ.).
6. Uskov A.I., Ovehs E.V., Uskova L.B. et al. Semenovodstvo kartofelya = [Production of seed potatoes]. *Moscow: INFRA-M*; 2023. 161 p. (In Russ.).
7. Dorokhov A.S., Ponomarev A.G., Zernov V.N., Petukhov S.N., Sibirev A.V., Aksenov A.V. Ehffektivnost' ispol'zovaniya substratnogo tekhnologicheskogo modulya v tekhnologii vyrashchivaniya mini-klubnei kartofelya = [The efficiency of using the substrate technological module in the technology of growing potato mini-tubers]. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;(1):141–151. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.1.141-151.
8. Kornatskii S.A. Innovatsionnaya tekhnologiya vyrashchivaniya mini-klubnei kartofelya dlya pervichnogo semenovodstva = [Innovative technology for growing potato minitubers for the production of breeder seed potatoes]. *Eurasian Union of Scientists*. 2016;33(12-2):38–40. (In Russ.).
9. Khutinaev O.S., Anisimov B.V., Yurlova S.M., Meleshin A.A. Mini-klubni metodaehrogidroponiki = [Mini-tubers by aero and hydroponic method]. *Potato and Vegetables*. 2016;(11):28–30. (In Russ.).
10. Dmitrieva N.N., Milekhin A.V., Bakunov A.L., Rubtsov S.L. Sravnitel'nyi analiz razlichnykh sposobov proizvodstva pervichnogo bezvirusnogo semennogo materiala kartofelya v kontroliruemyykh usloviyakh fitotrona = [Comparative analysis of various methods for the production of primary virus-free seed potato under controlled conditions of a phytotron]. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018;82(2-3):637–640. (In Russ.).
11. Kardanova I.S., Ovehs E.V., Gaitova N.A. Ispol'zovanie uslovii vysokogor'ya Severnogo Kavkaza dlya vyrashchivaniya mini-klubnei kartofelya = [Using the conditions of the highlands of the north Caucasus for growing mini-potato tubers]. *Zemledelie*. 2022;(4):26–30. (In Russ.). DOI: 10.24412/0044-3913-2022-4-26-30.
12. Terent'eva E.V., Tkachenko O.V. Poluchenie mini-klubnei kartofelya v letnikh karkasnykh teplitsakh v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya = [Production of potato minitubers in cold frame greenhouses under conditions of the lower Volga region]. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018;32(5):55–58. (In Russ.). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10514.
13. Kim I.V., Novoselov A.K., Novoselova L.A. Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo protsessa proizvodstva original'nogo semennogo kartofelya v Primorskom NIISKH = [Improving the technological process of the production of breeder seed potatoes in Primorsky SRIA]. In: *Kartofelevodstvo. Proceedings of the International Scientific Conference Metody biotekhnologii v selektsii i semenovodstve kartofelya*. *Moscow*; 2014. P. 223–225. (In Russ.).
14. Etdzaeva K.T., Ovehs E.V. Vyrashchivanie mini-klubnei kartofelya v dvukh oborotakh zashchishchennogo grunta v usloviyakh RSO – Alaniya = [Production of mini potato tubers in two rotations of protected ground in the conditions of North Ossetia – Alania]. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(4):441–449. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.441-449.

Научная статья  
УДК 633.34:551.583:641  
DOI: 10.31857/S0869769824040063  
EDN: IRBLSO

## Влияние агроклиматических условий на урожайность и качественные показатели коллекционных образцов сои в условиях Среднего Приамурья

М.П. Хорняк<sup>✉</sup>, Т.А. Асеева

*Маргарита Павловна Хорняк*

младший научный сотрудник, аспирант  
Хабаровский федеральный исследовательский центр ДВО РАН,  
обособленное подразделение Дальневосточный научно-исследовательский институт  
сельского хозяйства, Хабаровск, Россия  
margaritaz9743@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-4227-2640>

*Татьяна Александровна Асеева*

член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор  
Хабаровский федеральный исследовательский центр ДВО РАН,  
обособленное подразделение Дальневосточный научно-исследовательский институт  
сельского хозяйства, Хабаровск, Россия  
aseeva59@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-8471-0891>

**Аннотация.** В ходе исследования в 2022–2023 гг. были проанализированы 42 коллекционных образца в условиях неустойчивого климата Среднего Приамурья. Все исследуемые образцы были разделены на 5 групп спелости согласно длине вегетационного периода, а также проведен анализ продолжительности фаз роста и развития растений в каждой из групп спелости. Выполнен корреляционный анализ влияния агроклиматических условий на урожайность зерна сои. В ходе изучения корреляционных связей выявлено, что в процессе роста сумма активных температур и сумма осадков оказывала значительное влияние на образцы среднеранней и среднепоздней групп спелости. Выполнен корреляционный анализ влияния агроклиматических условий на накопление белка и жира в семенах сои. Наиболее отзывчивыми в отношении изменяющихся условий окружающей среды были сортообразцы из средней и поздней группы спелости. Определена закономерность увеличения и уменьшения накопленного белка и жира в семенах сои с различными сроками созревания. Выполненный анализ дает возможность сделать вывод о том, какие группы спелости могут быть полезны для получения высокой урожайности зерна, а какие для эффективного накопления белка и жира в семенах сои.

**Ключевые слова:** соя, агроклиматические условия, эффективные температуры, сумма осадков, группа спелости, корреляция, урожайность, белок, жир

**Для цитирования:** Хорняк М.П., Асеева Т.А. Влияние агроклиматических условий на урожайность и качественные показатели коллекционных образцов сои в условиях Среднего Приамурья // Вестн. ДВО РАН. 2024. № 4. С. 88–97. <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040063>

# The influence of agroclimatic conditions on the yield and quality indicators of soybean collection samples in the conditions of the Middle Amur region

M. P. Khornyak, T. A. Aseeva

*Margarita P. Khornyak*

Junior Researcher, Graduate Student

Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences “Far Eastern Agricultural Research Institute”, Khabarovsk, Russia

margaritaz9743@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4227-2640>

*Tatyana A. Aseeva*

Corresponding Member of RAS, Doctor of Sciences in Agriculture, Professor, Director

Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences “Far Eastern Agricultural Research Institute”, Khabarovsk, Russia

aseeva59@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8471-0891>

**Abstract.** During the study in 2022–2023. An analysis of 42 collection samples was carried out in the unstable climate of the Middle Amur region. All studied samples were divided into 5 ripeness groups according to the length of the growing season, and an analysis was carried out of the duration of the growth and development phases of plants in each of the ripeness groups. A correlation analysis of the influence of agroclimatic conditions on soybean grain yield was performed. In the course of studying correlations, it was revealed that during the growth process, the sum of active temperatures and the amount of precipitation had a significant impact on the mid-early and mid-late maturity groups. A correlation analysis of the influence of agroclimatic conditions on the accumulation of protein and fat in soybean seeds was performed. The most responsive to changing environmental conditions were varieties from the mid- and late-ripening ripeness groups. The pattern of increase and decrease in accumulated protein and fat in soybean seeds with different ripening periods has been determined. The analysis performed makes it possible to draw a conclusion about which ripeness groups can be useful for obtaining high grain yields, and which for the effective accumulation of protein and fat in soybean seeds.

**Keywords:** soybean, agroclimatic conditions, effective temperatures, precipitation amount, ripeness group, correlation, yield, protein, fat

**For citation:** Khornyak M. P., Aseeva T. A. The influence of agroclimatic conditions on the yield and quality indicators of soybean collection samples in the conditions of the Middle Amur region. *Vestnik of the FEB RAS*. 2024;(4):88–97. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040063>

## Введение

Соя (*Glycine max* Merr.) – самая известная в мире белково-масличная культура, имеющая крайне широкий спектр применения. История выращивания сои – это история адаптации вида в условиях различных режимов увлажнения, температуры воздуха и почвы, длины дня и других климатических параметров [1]. Соя – влаголюбивое растение муссонного климата. Период от начала цветения до завершения налива семян является наиболее критическим по требованию к обеспечению влагой, в это время необходимо

50–70% суммарного влагопотребления за вегетацию [2]. Дефицит влаги за весь период вегетации приводит к снижению продуктивности растений, а также наименьшему накоплению белка и жира в семенах сои [3]. Значительная доля посевов сои в России расположена в климатических зонах с неблагоприятными для культуры значениями, территория Среднего Приамурья не исключение [4]. Основные параметры, оказывающие непосредственное влияние на культуру: продолжительность периода с температурами выше +10 °С, сумма эффективных температур, годовые суммы осадков и их сезонное выпадение, а также гидротермический коэффициент [5].

Продуктивность сорта – генетически обусловленный признак, характеризующий его потенциальные возможности. Какой будет реальная урожайность, зависит во многом от агроклиматических условий вегетационного периода. Поэтому всестороннее изучение связей в системе условия среды – урожайность имеет важную научно-практическую значимость. На продуктивность в целом влияют многие факторы, однако наиболее существенны – температура и влагообеспеченность.

Известно, что содержание белка и жира в семенах сои подвержено высокой генотипической и модификационной изменчивости [6]. Качественный состав семян кроме условий выращивания зависит от целого ряда факторов, одним из которых является селекционное улучшение культуры. На современном этапе селекционеры уделяют особое внимание повышению содержания как белка, так и жира в семенах сои. Учитывая все вышеперечисленные факторы, а также агротехнику, для исследования влияния климата на качественные показатели сои необходимо провести анализ именно погодно-климатических зависимостей.

Цель исследования – выявление влияния агроклиматических условий на урожайность и качественные показатели сои в условиях Среднего Приамурья.

## Условия, материалы и методы

Исследования проводили в 2022–2023 гг. в селекционном севообороте Дальневосточного научно-исследовательского института сельского хозяйства. Коллекционный питомник в 2022 г. включал 31 сортообразец, в 2023 г. – 40 образцов сои, предоставленных ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова» (ВИР), ФГБНУ «Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки» и ФГБНУ «Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский институт сои». Изучали сортообразцы различного географического происхождения из России, Германии, Канады, Польши, Китая, Швеции и др. В качестве стандартов использовали высокоурожайные белковые сорта хабаровской селекции – Марината и Батя с различными показателями продуктивности.

Почва опытного участка лугово-бурая оподзоленно-глеявая, из-за тяжелого механического состава и низкой водопроницаемости во время обильного выпадения атмосферных осадков быстро переувлажняется. Содержание гумуса в пахотном слое 1,7–2,3% (по Тюрину в модификации ЦИНАО), кислотность солевой вытяжки 3,9 ед. рН; гидролитическая кислотность 4,4–6,6 мг-экв./100 г почвы; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 6,0–9,7 мг/100 г; K<sub>2</sub>O – 9,0–17,7 мг/100 г абсолютно сухой почвы (по Кирсанову в модификации ЦИНАО).

Сортообразцы высевали вручную на гребнях 70 см в одну строчку, расстояние между растениями в рядке 10 см, площадь делянки 2,8 м<sup>2</sup>, повторность – двухкратная. Уборку осуществляли вручную в фазе технической спелости по мере созревания сортообразцов. Оценку продуктивности и учеты по основным селекционно-хозяйственным признакам проводили согласно методике ВИР, оценивали по 10 растений каждого генотипа.

За два года проведения исследований агрометеорологические условия для роста, развития растений и формирования урожая сои были удовлетворительными. Изменения метеорологических факторов были проанализированы с помощью основных статистических данных (табл. 1).

Весна в 2022 г. была продолжительной и затяжной. Устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через +10 °С произошел в пределах среднесезонных сроков – 5 мая. Посев сои провели 18 мая, в оптимальный срок, полные всходы наблюдались 6 июня. Теплообеспеченность летнего периода была в пределах климатической нормы. Осень наступила на

**Изменения метеорологических факторов в годы исследований**

Месяц	Метеорологический фактор					
	Сумма активных температур, °С		Сумма осадков, мм		Гидротермический коэффициент	
	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.
Май	312,6	386,1	38,8	28,4	1,2	0,7
Июнь	539,7	555,7	74,8	56,2	1,4	1,0
Июль	718,9	701,1	50,0	140,8	0,7	2,0
Август	607,6	642,7	366,0	143,8	6,0	2,2
Сентябрь	426,2	460,9	109,4	52,0	2,6	1,1
Октябрь	32,9	85,1	27,2	2,0	8,3	0,2
Май–октябрь	2637,8	2831,5	666,2	423,2	2,5	1,5

5 дней позже среднемноголетних сроков. Сентябрь был теплый, устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через +15 °С в сторону понижения произошел с 14 сентября. Характерными особенностями осени были резкое кратковременное похолодание и аномальное тепло в сентябре и октябре. Уборка проводилась по мере созревания с 12 сентября по 19 октября.

В 2023 г. весна была ранней и теплой с осадками в пределах среднемноголетнего количества. Устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через +10 °С произошел в пределах среднемноголетних сроков – 2 мая. Посев сои провели в оптимальный срок – 15 мая, полные всходы наблюдались 3 июня. Лето характеризовалось неустойчивым температурным режимом, сменой теплых и холодных воздушных масс, преимущественно сухой погодой в первый месяц. Осень была продолжительной, теплой и сухой, устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через + 15 °С в сторону понижения произошел с 13 сентября. Уборка проводилась по мере созревания – с 6 сентября по 19 октября.

Результаты исследований обработаны методом корреляционного анализа по методике Б. А. Доспехова с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel.

**Результаты и их обсуждение**

Продолжительность периода вегетации в целом и его отдельных фаз определяются рядом факторов, ключевыми из которых являются генетические, гидротермические условия и специфические для отдельных сортов условия, которые могут ускорить или затормозить наступление очередной фазы вегетации растений [7, 8]. Из гидротермических условий основная роль принадлежит температурному режиму, именно температура является «пусковым» звеном ростовых процессов в зерне и наступления каждой очередной фазы роста и развития растений. Исходя из количества тепла в годы наших исследований продолжительность периода вегетации у коллекционных сортообразцов варьировала в пределах от 93 до 139 дней. В зависимости от продолжительности вегетационного периода изучаемые сорта были распределены на следующие группы спелости: раннеспелая с вегетационным периодом до 100 дней и суммой активных температур 1941...2053 °С; среднераннеспелая – 101–110 дней и 2065...2175 °С; среднеспелая – 111–120 дней и 2194...2291 °С; среднепозднеспелая – 121–130 дней и 2262...2323 °С; позднеспелая – 131 день и выше 2336...2374 °С (табл. 2).

Разница в сроках прохождения фазы всходов – цветения сортов сои внутри всех групп спелости в среднем за два года составила 9 дней, в сроках фазы цветения – формирования бобов наблюдалась тенденция пропорционального увеличения длины прохождения фазы и разница в среднем составила 7 дней, разница в прохождении фазы формирования бобов –

Таблица 2

## Продолжительность фаз вегетационного периода (2022–2023 гг.), дни

Группа спелости		Продолжительность фазы				
		всходы – цветение	цветение – форми- рование бобов	формирование бобов – налив семян	налив семян – созревание	вегетация
Раннеспелая (12 образцов)	min...max среднее	30...39 32,9	9...15 11,8	7...14 9,0	37...52 44,2	93...100 97,8
Среднераннеспелая (13 образцов)	min...max среднее	33...43 35,6	11...16 13,1	7...16 11,0	42...54 45,7	101...110 105,4
Среднеспелая (7 образцов)	min...max среднее	35...42 38,3	11...18 14,6	9...16 12,0	45...55 50,1	112...119 114,9
Среднепозднеспелая (3 образца)	min...max среднее	35...44 39,1	12...20 15,3	12...16 13,5	56...61 58,5	125...129 126,4
Позднеспелая (7 образцов)	min...max среднее	42...57 50,1	11...22 15,2	8...23 12,4	53...66 57,5	131...139 135,2

налива семян составила 8 дней, а в сроках фазы налива семян – созревания отмечается тенденция пропорционального сокращения длины прохождения фазы, кроме позднеспелой группы, и разница в среднем составила 11 дней.

Продолжительность вегетационного периода и его отдельных фаз в период роста и развития растений сои – немаловажный показатель, характеризующий ее экологическую пластичность в условиях конкретного региона [7, 9]. Анализируя значения продолжительности вегетационного периода, суммы накопленных активных температур, а также количество выпавших осадков, можно сделать вывод, что важным критерием в формировании высокой

Таблица 3

## Корреляционная зависимость урожайности зерна сои от агроклиматических условий по группам спелости в 2022–2023 гг.

Фактор	Группа спелости	Фаза вегетационного периода			
		полные всходы – цветение	цветение – формирование бобов	формирование бобов – налив семян	налив семян – созревание
Сумма активных температур за период, °С	Раннеспелая	0,31	0,41	0,34	–0,33
	Среднераннеспелая	<b>0,61</b>	<b>–0,65</b>	–0,11	0,05
	Среднеспелая	0,42	–0,10	–0,23	–0,29
	Среднепозднеспелая	<b>–0,76</b>	<b>0,94</b>	<b>–0,73</b>	<b>0,86</b>
	Позднеспелая	<b>0,89</b>	0,27	0,28	–0,36
Сумма осадков за период, мм	Раннеспелая	0,31	–0,37	0,36	–0,09
	Среднераннеспелая	<b>0,78</b>	<b>–0,72</b>	0,09	0,38
	Среднеспелая	0,12	–0,11	0,18	0,24
	Среднепозднеспелая	<b>0,76</b>	<b>–0,74</b>	<b>0,88</b>	<b>0,82</b>
	Позднеспелая	0,54	<b>0,78</b>	0,32	–0,32

урожайности выступают сумма активных температур и количество выпавших осадков в фазы полных всходов – цветения и цветения – формирования бобов (табл. 3).

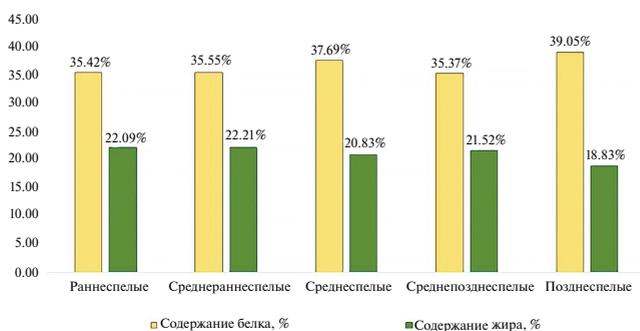
В группе раннеспелых и среднеспелых сортов выявлены как прямые, так и обратные слабые и умеренные связи между исследуемыми факторами и показателями урожайности сортов. В группе среднераннеспелых сортов отмечена заметная прямая связь урожайности и суммы активных температур в фазу полных всходов – цветения ( $r = 0,61$ ), однако в фазу цветения – формирования бобов сумма активных температур, вероятно, негативно отразилась на завязывании бобов, и корреляция суммы активных температур с урожайностью имела заметную обратную связь ( $r = -0,65$ ); сумма осадков в этой же группе спелости в корреляционной зависимости с урожайностью в фазу полных всходов – цветения имела высокую прямую связь ( $r = 0,78$ ), а в фазу цветения – формирования бобов – высокую обратную связь ( $r = -0,72$ ), что также негативно повлияло на завязываемость бобов. В группе среднепозднеспелых сортов во всех фазах наблюдалась как прямая, так и обратная высокая и весьма высокая корреляционная связь суммы активных температур и суммы осадков с урожайностью сортов. В поздней группе спелости отмечается высокая прямая корреляционная связь в фазу полных всходов – цветения между суммой активных температур и урожайностью ( $r = 0,89$ ), а также в фазу цветения – формирования бобов между суммой осадков и урожайностью ( $r = 0,78$ ).

Общеизвестно, что содержание белка и жира в семенах сои напрямую зависит от агроклиматических условий роста и развития растений в определенные фазы вегетационного периода [10]. За время проведения исследования нами было изучено содержание белка в семенах сои в 2022–2023 гг. и содержание жира в семенах сои в 2023 г. (см. рисунок).

Различие накопления белка и жира в семенах сои разных групп спелости можно трактовать, исходя из особенностей влияния агроклиматических условий на растения в период их роста и развития [11]. Накопление белка в семенах сои начинается на 10–15 дней раньше, чем накопление жира [1]. У сортов раннеспелой группы период налива семян значительно укорочен, и ткани семядолей, как правило, успевают накопить значительное количество белка, но не полностью реализовать свой масличный потенциал. Однако за период проведения исследований образцы ранней группы спелости показали низкий процент накопления белка, но при этом высокий процент накопления масла в семенах сои. Сорты среднеранней и средней групп спелости вступают в фазу формирования бобов – налива семян и налива семян – созревания в условиях с меньшими температурами и более обильным увлажнением, поэтому содержание масла остается в среднем диапазоне, пропорционально этому содержание белка в семенах несколько сокращается. У образцов среднепоздней и поздней групп спелости идущие на спад температуры сентября–октября снижают накопление масла, при этом содержание белка увеличивается.

Согласно проведенным исследованиям корреляционных зависимостей содержания белка в семенах сои и агроклиматических условий в основные фазы роста и развития растений, наибольшее влияние на содержание белка в семенах сои оказывал тепловой режим (табл. 4).

Анализ корреляционной зависимости содержания белка в семенах сои от суммы активных температур в раннеспелой группе выявил слабые и умеренные, прямые и обратные связи этих показателей. В среднераннеспелой группе умеренная прямая связь отмечена в фазу формирования бобов – налива семян ( $r = 0,44$ ). В среднеспелой группе выявлена весьма высокая обратная связь в фазу формирования бобов – налива семян ( $r = -0,93$ ), что говорит о негативном воздействии высоких температур на накопление белка в семенах сои в эту фазу роста. Данная тенденция отмечена и в фазу цветения – формирования бобов в среднепозднеспелой группы



Процентное содержание белка и жира в семенах сои в среднем за 2022–2023 гг.

**Корреляционная зависимость содержания белка в семенах сои от агроклиматических условий по группам спелости**

Фактор	Группа спелости	Коэффициенты корреляции (r) по фазам вегетационного периода			
		полные всходы – цветение	цветение – формирование бобов	формирование бобов – налив семян	налив семян – созревание
Сумма активных температур за период, °С	Раннеспелая	0,19	-0,37	-0,06	0,01
	Среднераннеспелая	-0,35	0,18	<b>0,44</b>	0,19
	Среднеспелая	0,03	-0,18	<b>-0,93</b>	0,41
	Среднепозднеспелая	0,27	<b>-0,97</b>	0,23	-0,42
	Позднеспелая	0,34	<b>0,69</b>	0,34	-0,40
Сумма осадков за период, мм	Раннеспелая	0,12	-0,12	-0,14	0,09
	Среднераннеспелая	-0,33	0,33	-0,06	-0,11
	Среднеспелая	<b>-0,52</b>	0,21	<b>-0,58</b>	<b>0,70</b>
	Среднепозднеспелая	-0,27	0,24	<b>-0,99</b>	-0,35
	Позднеспелая	-0,15	<b>0,54</b>	0,45	-0,32

( $r = -0,97$ ). В позднеспелой группе наблюдается заметная прямая связь в фазу цветения – формирования бобов ( $r = 0,69$ ).

Анализ корреляционной зависимости содержания белка в семенах сои от суммы осадков в ранней и среднеранней группах спелости выявил как слабые, так и умеренные, прямые и обратные связи данных показателей. В среднеспелой группе в фазу полных всходов – цветения и фазу формирования бобов – налива семян выявлены заметные обратные связи  $r = -0,52$  и  $r = -0,58$  соответственно, однако в фазу налива семян – созревания отмечена высокая прямая связь исследуемых показателей ( $r = 0,70$ ). В среднепозднеспелой группе выявлена весьма высокая обратная связь в фазу формирования бобов – налива семян ( $r = -0,99$ ). Это говорит о недостаточном увлажнении в данную фазу роста и развития растений, что пагубно отразилось на завязываемости бобов. В позднеспелой группе наблюдается заметная прямая связь показателей в фазу цветения – формирования бобов ( $r = 0,54$ ).

В результате проведения корреляционного анализа содержания жира в семенах сои в зависимости от агроклиматических условий в основные фазы роста и развития растений выявлено, что и сумма активных температур, и сумма осадков в равной мере оказывали как положительное, так и отрицательное влияние на содержание жира в семенах сои (табл. 5).

Анализ корреляционной зависимости содержания жира в семенах сои от суммы активных температур в раннеспелой и среднераннеспелой группе выявил слабые и умеренные прямые и обратные связи этих показателей. В среднеспелой группе заметные обратные связи наблюдались в фазу полных всходов – цветения ( $r = -0,50$ ) и в фазу налива семян – созревания ( $r = -0,55$ ), однако в фазу цветения – формирования бобов отмечается заметная прямая связь показателей ( $r = 0,63$ ). В группе среднепозднеспелых сортов наблюдается весьма высокая обратная связь показателей в фазу полных всходов – цветения ( $r = -0,99$ ). В группе позднеспелых сортов выявлена высокая обратная связь в фазу цветения – формирования бобов ( $r = -0,79$ ) и заметная прямая связь в фазу налива семян – созревания ( $r = 0,52$ ).

Анализ корреляционной зависимости содержания жира в семенах сои от суммы осадков в ранней и среднеранней группе спелости выявил как слабые, так и умеренные прямые и обратные связи данных показателей. В средней группе спелости наблюдалась заметная обратная связь в фазу полных всходов – цветения ( $r = -0,69$ ) и заметная прямая связь в фазу цветения – формирования бобов ( $r = 0,66$ ). В среднепоздней группе спелости выявлены

**Корреляционная зависимость содержания жира в семенах сои  
от агроклиматических условий по группам спелости**

Фактор	Группа спелости	Фаза вегетационного периода			
		полные всходы – цветение	цветение – формирование бобов	формирование бобов – налив семян	налив семян – созревание
Сумма активных температур за период, °С	Раннеспелая	-0,25	0,15	-0,25	0,35
	Среднераннеспелая	0,06	0,05	0,07	-0,19
	Среднеспелая	<b>-0,50</b>	<b>0,63</b>	0,24	<b>-0,55</b>
	Среднепозднеспелая	<b>-0,99</b>	0,22	-0,22	-0,02
	Позднеспелая	0,19	<b>-0,79</b>	-0,46	<b>0,52</b>
Сумма осадков за период, мм	Раннеспелая	-0,33	0,24	0,01	0,08
	Среднераннеспелая	0,02	0,01	0,28	0,06
	Среднеспелая	<b>-0,69</b>	<b>0,66</b>	0,34	-0,48
	Среднепозднеспелая	<b>-0,88</b>	<b>0,85</b>	<b>-0,85</b>	-0,02
	Позднеспелая	0,28	<b>-0,59</b>	-0,49	<b>0,56</b>

высокие обратные связи в фазу полных всходов – цветения и формирования бобов – налива семян,  $r = -0,88$  и  $r = -0,85$  соответственно; однако в фазу цветения – формирования бобов отмечается высокая прямая связь показателей ( $r = 0,85$ ). В группе позднеспелых сортов стоит отметить заметную обратную связь в фазу цветения – формирования бобов ( $r = -0,59$ ) и заметную прямую связь в фазу налива семян – созревания ( $r = 0,56$ ).

### Заключение

В ходе исследования был проведен анализ коллекционных образцов в условиях неустойчивого климата Среднего Приамурья. Все исследуемые образцы были разделены на 5 групп спелости согласно длине вегетационного периода. Выполнен корреляционный анализ влияния агроклиматических условий на урожайность зерна сои. В ходе изучения корреляционных связей выявлено, что в процессе роста и развития растений сумма активных температур и сумма осадков оказывали значительное влияние, как отрицательное, так и положительное, на образцы среднеранней и среднепоздней групп спелости сои. Выполнен корреляционный анализ влияния агроклиматических условий на накопление белка и жира в семенах сои. Наиболее подвержены влиянию изменения условий окружающей среды сортообразцы из средней и поздней групп спелости. Проведенный анализ дает возможность сделать вывод о том, какие группы спелости могут быть полезны для получения высокой урожайности зерна, а какие для эффективного накопления белка и жира в семенах сои.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Новикова Л.Ю., Сеферова И.В., Некрасов А.Ю., Перчук И.Н., Шеленга Т.В., Самсонова М.Г., Вишнякова М.А. Влияние погодно-климатических условий на содержание белка и масла в семенах сои на Северном Кавказе // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 2, № 6. С. 708–715. DOI: 10.18699/VJ18.414.
- Гуреева Е.В. Влияние метеорологических условий на хозяйственно ценные признаки сои // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 1. С. 28–31. DOI: 10.30850/vrnsn/2021/1/28-31.

3. Тимохин А.Ю., Бойко В.С., Омелянюк Л.В., Асанов А.М. Продуктивность сои в различных условиях выращивания на юге Западной Сибири // *Земледелие*. 2022. № 6. С. 26–30. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-6-26-31.
4. Федорова Т.Н., Асеева Т.А. Изменение региональных климатических характеристик Среднего Приамурья и их влияние на урожайность сои // *Вестник ДВО РАН*. 2022. № 3. С. 138–148. DOI: 10.37102/0869-7698\_2022\_223\_03\_14.
5. Зеленцов С.В., Мошненко Е.В., Ткачёва А.А., Рамазанова С.А., Трунова М.В., Будников Е.Н., Бубнова Л.А. Очень ранний сорт сои Пума // *Масличные культуры*. 2018. Т. 2, № 174. С. 148–151. DOI: 10.25230/2412-608X-2018-2-174-148-151.
6. Некрасов А.Ю. Соя: источники из коллекции генетических ресурсов ВИР // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. Т. 181, № 1. С. 48–52. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-48-52.
7. Ашиев А.Р., Чегунова А.В., Скулова М.В., Хабибуллин К.Н., Кравченко Н.С. Влияние вегетационного периода на урожайность, содержание белка и масла в зерне коллекционных образцов сои // *Зерновое хозяйство России*. 2021. Т. 6, № 78. С. 33–38. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-33-38.
8. Шепель О.Л., Асеева Т.А., Зволимбовская М.П. Зависимость хозяйственно-биологических признаков сои от гидротермических условий Среднего Приамурья // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34, № 8. С. 16–22. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10802.
9. Бельшкينا М.Е. Влияние агрометеорологических условий на продукционный процесс сортов сои северного экотипа // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. № 2 (50). С. 15–21. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-2-15-21.
10. Бельшкينا М.Е., Кобозева Т.П. Влияние агроклиматических условий на жирнокислотный состав сои северного экотипа // *Аграрный научный журнал*. 2021. № 8. С. 9–12. DOI: 10.28983/asj.y2021i8pp9-12.
11. Хорняк М.П. Оценка коллекции сои по содержанию белка в зерне // *Молодые ученые – Хабаровскому краю*. 2023. № 1. С. 68–74.

#### REFERENCES

1. Novikova L. Yu., Seferova I. V., Nekrasov A. Yu., Perchuk I. N., Shelenga T. V., Samsonova M. G., Vishnyakova M. A. Vliyaniye pogodno-klimaticheskikh uslovii na sodержaniye belka i masla v semenakh soi na Severnom Kavkaze = [Impact of weather and climate on seed protein and oil content of soybean in the North Caucasus]. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(6):708–715. DOI:10.18699/VJ18.414. (In Russ.).
2. Gureeva E. V. Vliyaniye meteorologicheskikh uslovii na khozyaistvenno tsennyye priznaki soi = [Influence of meteorological conditions on economically valuable soybean traits]. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2021;(1):28–31. DOI: 10.30850/vrsn/2021/1/28-31. (In Russ.).
3. Timokhin A. Yu., Boiko V. S., Omelyanyuk L. V., Asanov A. M. Produktivnost' soi v razlichnykh usloviyakh vyrashchivaniya na yuge Zapadnoi Sibiri = [Soybean productivity under various growing conditions in the south of Western Siberia]. *Zemledelie*. 2022;(6):26–30. (In Russ.). DOI: 10.24412/0044-3913-2022-6-26-31.
4. Fedorova T. N., Aseeva T. A. Izmeneniye regional'nykh klimaticheskikh kharakteristik Srednego Priamur'ya i ikh vliyaniye na urozhainost' soi = [Changes in regional climatic characteristics of the Middle Amur region and their impact on soybean yield]. *Vestnik the FEB RAS*. 2022;(3):138–148. (In Russ.). DOI: 10.37102/0869-7698\_2022\_223\_03\_14.
5. Zelentsov S. V., Moshnenko E. V., Tkachyova A. A., Ramazanova S. A., Trunova M. V., Budnikov E. N., Bubnova L. A. Ochen' ranniy sort soi Puma = [A very early-ripening soybean variety Puma]. *Maslichnye Kul'tury*. 2018;2(174):148–151. DOI: 10.25230/2412-608X-2018-2-174-148-151. (In Russ.).
6. Nekrasov A. Yu. Soya: istochniki iz kollektzii geneticheskikh resursov VIR = [Soybean: sources from the VIR collection of genetic resources]. *Trudy po Prikladnoj Botanike, Genetike i Selekcii*. 2020;181(1):48–52. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-48-52. (In Russ.).
7. Ashiev A. R., Chegunova A. V., Skulova M. V., Khabibullin K. N., Kravchenko N. S. Vliyaniye vegetatsionnogo perioda na urozhainost', sodержaniye belka i masla v zerne kollektсионnykh obraztsov soi = [The effect of a vegetation period on productivity, protein and oil percentage in grain of the collection soybean samples]. *Zernovoe Hozajstvo Rossii*. 2021;6(78):33–38. (In Russ.). DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-33-38.

8. Shepel' O.L., Aseeva T.A., Zvolimbovskaya M.P. Zavisimost' khozyaistvenno-biologicheskikh priznakov soi ot gidrotermicheskikh uslovii Srednego Priamur'ya = [Dependence of economic and biological characteristics of soybean on the hydrothermal conditions of the Middle Amur region]. *Dostizheniya Nauki i Tekhniki APK*. 2020;34(8):16–22. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10802. (In Russ.).
9. Belyshkina M.E. Vliyaniye agrometeorologicheskikh uslovii na produktsionnyi protsess sortov soi severnogo ehkotypa = [Influence of agrometeorological conditions on productional process of the north ecotype soybean]. *Vestnik Ul'yanovskoi Gosudarstvennoi Sel'skokhozyaistvennoi Akademii*. 2020;50(2):15–21. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-2-15-21. (In Russ.).
10. Belyshkina M.E., Kobozeva T.P. Vliyaniye agroklimaticheskikh uslovii na zhirnokislotnyi sostav soi severnogo ehkotypa = [The influence of agro-climatic conditions on the fatty acid composition of soybeans of the northern ecotype]. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021;(8):9–12. DOI: 10.28983/asj.y2021i8pp9-12. (In Russ.).
11. Khorniyak M.P. Otsenka kollektssii soi po sodержaniyu belka v zerne = [Evaluation of soybean collection based on protein content in grain]. *Young Scientists – Khabarovsk Territory*. 2023;(1):68–74. (In Russ.).

Научная статья  
УДК: 633.853.52:631.521  
DOI: 10.31857/S0869769824040078  
EDN: IQUGLA

## Отличительные особенности нового сорта сои ВНИИС-18

Е. М. Фокина<sup>✉</sup>, Д. Р. Разанцвей

*Евгения Михайловна Фокина*

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник,  
заведующая лабораторией

Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»,  
Благовещенск, Россия

fem@vniisoi.ru

<http://orcid.org/0000-0003-4554-8830>

*Дина Раисовна Разанцвей*

старший научный сотрудник

Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»,  
Благовещенск, Россия

rdr@vniisoi.ru

<http://orcid.org/0000-0002-8701-5250>

**Аннотация.** Исследования проводили в 2008–2022 гг. в лаборатории селекции и первичного семеноводства Всероссийского научно-исследовательского института сои с целью создания и последующего внедрения в производство нового продуктивного сорта сои с высоким адаптивным потенциалом. В результате длительной многолетней работы создан среднеспелый сорт сои ВНИИС-18 с периодом вегетации 111 (108–112) дней, потенциальной урожайностью 42,1 ц/га, массой 1000 семян 139,9 (132,8–144,9) г, содержанием в семенах белка 40,2 (40,0–40,4) %, жира – 19,7 (19,1–20,3) %. Новый сорт сои отвечает основным современным требованиям сельскохозяйственного производства, превышает стандарт по урожайности на 4,1 ц/га и по содержанию белка в семенах на 2%, обеспечивает высокий сбор сырого протеина с единицы площади (10,3 ц/га; + 1,9 ц/га к st), характеризуется большим количеством (до 65%) 4-семянных бобов на растении. Отличается устойчивостью к болезням и вредителям, относится к пластичным сортам интенсивного типа. В 2021–2022 гг. сорт ВНИИС-18 размножали в питомниках первичного семеноводства, в результате получено 108,6 ц оригинальных семян для внедрения в производство. Его возделывание позволит повысить рентабельность культуры в Дальневосточном регионе.

**Ключевые слова:** соя, сорт, продуктивность, период вегетации, адаптивность, технологичность, устойчивость к патогенам

**Для цитирования:** Фокина Е. М., Разанцвей Д. Р. Отличительные особенности нового сорта сои ВНИИС-18 // Вестн. ДВО РАН. 2024. № 4. С. 98–107.  
<http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040078>

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках Государственного задания № 0820-2019-0001.

# Distinctive features of the new soybean variety VNIIS-18

E. M. Fokina, D. R. Razantsvey

*Evgenia M. Fokina*

Candidate of Sciences in Agriculture, Leading Researcher, Head of the laboratory  
Federal Scientific Center All-Russian Research Institute of soybeans, Blagoveshchensk, Russia  
fem@vniisoi.ru

<http://orcid.org/0000-0003-4554-8830>

*Dina R. Razantsvey*

Senior Researcher

Federal Scientific Center All-Russian Research Institute of soybeans, Blagoveshchensk, Russia  
rdr@vniisoi.ru

<http://orcid.org/0000-0002-8701-5250>

**Abstract.** The research was carried out in 2008–2022 in the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of the All-Russian Soybean Research Institute in order to create and subsequently introduce into production a new productive soybean variety with high adaptive potential. As a result of long-term work, a medium-ripened soybean variety VNIIS-18 was created, with a vegetation period of 111 days (108–112), a potential yield of 42.1 hwt/ha, a weight of 1000 seeds of 139.9 g (132.8–144.9), the content of protein in the seeds is 40.2% (40.0–40.4%), fat – 19.7% (19.1–20.3%). The new soybean variety meets the main modern requirements of agricultural production, exceeds the standard in yield by 4.1 hwt/ha, and in protein content in seeds (by 2%), provides a high collection of crude protein per unit area (10.3 hwt/ha, + 1.9 hwt/ha to st), characterized by a large number of 4-seed beans (up to 65% per plant). In the period 2021–2022 variety VNIIS-18 was propagated in nurseries of primary seed production, as a result, 108.6 q of original seeds were obtained, for introduction into production. It is resistant to diseases and pests and belongs to the plastic varieties of the intensive type. Its cultivation will increase the profitability of culture in the Far Eastern Region.

**Keywords:** soybean, variety, productivity, vegetation period, adaptability, processability, resistance to pathogens

**For citation:** Fokina E. M., Razantsvey D. R. Distinctive features of the new soybean variety VNIIS-18. *Vestnik of the FEB RAS.* 2024;(4):98–107. <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040078>

**Financing.** The work was carried out within the framework of the State Task No. 0820-2019-0001.

## Введение

В решении проблемы продовольственной безопасности РФ основная роль отводится отечественной селекции, поскольку именно она выступает главным двигателем прогресса в развитии растениеводческой отрасли посредством создания новых высокопродуктивных сортов и гибридов, что способствует увеличению урожайности культур, расширению территории их возделывания и повышению качества получаемой продукции [1–3]. Основная задача селекционного преобразования заключается в непрерывном совершенствовании растительных организмов путем улучшения их хозяйственно полезных признаков, качеств и свойств с целью полной реализации продуктивного потенциала [4–6]. Положительный итог селекционной деятельности зависит прежде всего от наличия разнообразных исходных форм растений, их генетической изученности, методов получения селекционного материала, оценки и отбора перспективных гибридных форм [7–9]. Генетические ресурсы растений являются неотъемлемой состав-

ляющей при получении нового селекционного материала, поэтому в настоящее время большинством научно-исследовательских учреждений сельскохозяйственного профиля уделяется особое внимание их изучению, сохранению и приумножению посредством создания биоресурсных коллекций с целью последующего использования лучших форм в гибридизации для создания новых сортов [10–12].

В Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия особое внимание уделено развитию как селекции, так и семеноводства, поскольку посев качественных семян новых районированных сортов повышает урожайность на 15–20% и более. Сортосмена и использование новых урожайных сортов и гибридов высоких репродукций дают значительный экономический эффект в производстве [13, 14]. В связи с чем возникает необходимость постоянного обновления имеющегося ассортимента сортов, а также совершенствования и ускорения системы семеноводства [15].

Цель работы – описание и оценка нового среднеспелого сорта сои по хозяйственно ценным признакам, устойчивости к патогенам, уровню адаптивности к условиям российского Дальнего Востока.

### Условия, материалы и методы

Исследования проводили в 2008–2022 гг. в полевых опытах Всероссийского НИИ сои с использованием традиционной схемы селекционного процесса для сои. Возделывание культуры осуществляли в соответствии с технологией, рекомендованной для южной сельскохозяйственной зоны Амурской области [16]. Опыты закладывали на типичной луговой черноземовидной среднеспелой почве, тяжелой по гранулометрическому составу, со слабокислой реакцией ( $pH_{KCl}$  4,8–5,0), содержанием гумуса – 2,62–2,87%, минерального азота – 16,1–17,5 мг/кг почвы, подвижных фосфора и калия – 77–99 и 168–197 мг/кг почвы соответственно. Объектом исследований являлись гибридные популяции, последовательно изучаемые в селекционных питомниках. На заключительном этапе селекционного процесса (2016–2018 гг.) материал исследовали в питомнике конкурсного сортоиспытания (КСИ), в котором образцы сои сеяли в 3-кратной повторности сеялкой СН-16 методом рендомизированных повторений (блоков). В блоке среднеспелых образцов результаты сравнивали с показателями сорта сои Даурия – среднеспелым стандартом, официально утвержденным Государственной комиссией по сортоиспытанию в 2009 г. для Амурской области. Каждый образец сои высевали на 5-рядковых делянках длиной 18 м с шириной междурядий 45 см, общей площадью 40,5 м<sup>2</sup>. Норма посева всхожих семян была 50–55 шт./м<sup>2</sup>.

Закладку полевых опытов, учет урожая, статистическую обработку селекционного материала проводили по Б.А. Доспехову [17], полевую оценку образцов и описание сортов – по методикам государственного сортоиспытания и Всероссийского института растениеводства (ВИР) [18, 19]. Биохимический состав семян определяли на ИФК-анализаторе FOSS NIR System 5000. Фитопатологическую оценку сортов и образцов сои делали в период массового цветения на естественном инфекционном фоне [20], энтомологическую – в лабораторных условиях путем подсчета поврежденных вредителями семян.

Погодно-климатические условия в годы проведения исследований различались по увлажнению и температурному режиму. Вегетационный период 2016 г. характеризовался благоприятными условиями для культуры сои, достаточное количество тепла и сравнительно равномерное выпадение осадков способствовали формированию высокого урожая зерна. В 2017 г. в течение всей вегетации наблюдался повышенный температурный фон, осадки выпадали неравномерно. Недостаток влаги в июле и переизбыток ее в августе вызвали повышенную абортивность цветков, а затем и бобов, что снизило урожайность. Метеорологические условия 2018 г. были крайне неблагоприятны, характеризовались повышенными температурами воздуха и недостаточным увлажнением в мае в период прорастания семян и значительным переизбытком осадков в июне и июле (221,4 и 172% от нормы, гидротермический коэффициент составлял 3,4 и 2,8 соответственно), когда наблюдалось сильное

переувлажнение почвы, гибель растений на отдельных участках, что привело к существенному снижению урожайности сои.

В целом различие погодных условий в годы проведения исследований позволили провести объективную оценку образцов сои.

После прохождения государственного сортоиспытания семена нового сорта размножали в питомниках первичного семеноводства на площади 0,3 га ПИП-1 и 3,7 га ПИП-2 (питомники испытания потомств первого и второго года изучения соответственно).

## Результаты исследования

В работе при создании нового сорта был использован обширный исходный материал как местного, так и различного эколого-географического происхождения, отселектированный и адаптированный к сложным природно-климатическим условиям Амурской области. Сорт имеет многоступенчатое происхождение, создавался путем внутривидовой искусственной гибридизации генотипически различных образцов сои. В процессе скрещиваний задействовали сорта коллекции ВИР и местные образцы и формы, созданные в условиях Амурской области во ВНИИ сои, приспособленные к условиям обитания. На заключительном этапе скрещивания в роли материнской формы выступил образец сои местной селекции Амурская 2127, отцовской – сорт китайского происхождения Хэй 05-4154 (рис. 1).

Новый сорт сои зернового использования ВНИИС-18 (селекционный номер Амурская 2429) относится к маньчжурскому (*manshurica*) подвиду, апробационной группе *flavida* Enk. Выведен в процессе многократного индивидуального отбора лучших форм из гибридных популяций разных поколений с прослеживанием родословной по потомству (метод педигри). Работу по созданию сорта ВНИИС-18 выполняли в течение 11 лет. Скрещивание было проведено в 2008 г. С 2009 по 2013 г. гибридный материал изучался в питомниках первого – пятого поколений ( $F_1$ – $F_5$ ). Линия, константная по всем параметрам, превышающая стандарт по продуктивности, выделена в 2014 г. в питомнике гибридов  $F_6$ , ее дальнейшее изучение в контрольном питомнике проводили в 2015 г., в конкурсном сортоиспытании – 2016–2018 г., в государственном – 2019–2020 гг., в 2021–2022 гг. размножили семена в ПИП-1 и ПИП-2 для внедрения в производство.

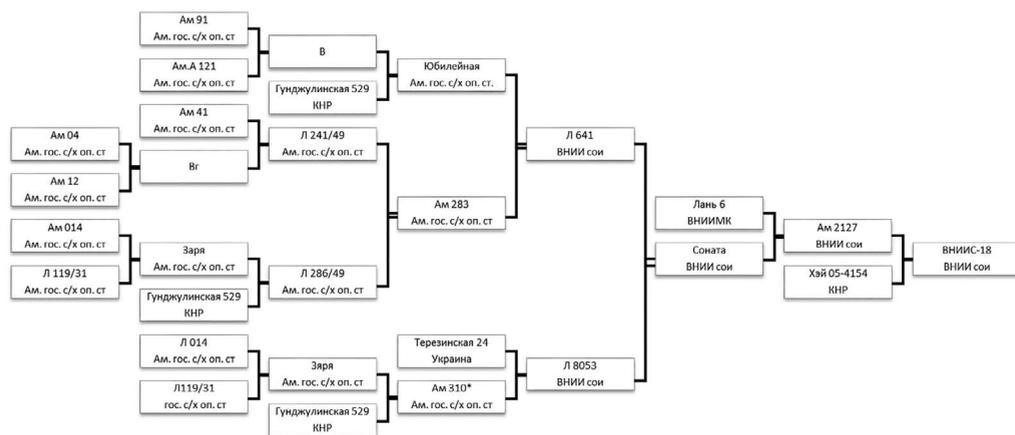


Рис. 1. Родословная сорта сои ВНИИС-18 (Ам 2429).

Ам. обл. с.-х. оп. ст. – Амурская областная сельскохозяйственная опытная станция (1924–1936 гг.), Ам. гос. селекц. ст. – Амурская государственная селекционная станция (1937–1955 гг.), Ам. гос. с.-х. оп. ст. – Амурская государственная сельскохозяйственная опытная станция (1956–1967 гг.), ВНИИИ сои – Всероссийский научно-исследовательский институт сои (с 1968 г. по настоящее время), ВНИИМК – Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В.С. Пустовойта

Комплексный анализ в питомнике КСИ позволил установить, что сорт толерантен к природно-климатическим стрессам, устойчив к переувлажнению, обладает высоким потенциалом адаптивности ( $K_a = 1,11$ ), относится к пластичным сортам интенсивного типа ( $b_i > 1$ ), отзывчив на изменяющиеся условия среды [21].

По производственной классификации, приемлемой для Амурской области [22], новый сорт относится к группе среднеспелых с периодом вегетации 111 (108–112) дней, предназначен для возделывания в зонах с суммой активных температур не меньше 2000 °С. Рекомендован для Дальневосточного региона (табл. 1).

За три года исследования в конкурсном сортоиспытании урожайность семян сорта сои ВНИИС-18 составила 29,8 ц/га, это больше, чем у стандартного сорта Даурия, в среднем на 4,1 ц/га. Потенциал урожайности при идеальных условиях выращивания составляет 42,1 ц/га.

Сорт характеризуется детерминантным типом развития растений, хорошо выполненной верхушечной кистью, содержащей 8–10 бобов, форма куста прямостоячая. Стебель обычной формы, прямой, формирует 1–2 ветви. Высота стебля от корневой шейки до конца верхнего междоузлия составляет 75 (72–77) см, в отдельные годы достигает 90–95 см, общее число междоузлий на главном стебле 13 (11–16) шт. Высота прикрепления нижних бобов в среднем 15 см, с колебанием по годам от 12 до 17 см, что способствует проведению механизированной уборки зерна без потерь. Облиственность растений средняя, лист тройчато-сложный ланцетовидный цельнокрайний, темно-зеленой окраски. При созревании листья опадают. Соцветия сои – кисть, цветонос короткий – 0,5 (0,2–0,7) см, зеленой окраски, цветок крупный (0,9 см), венчик белого цвета. В узлах в средней части стебля находится как правило по 2 цветковые кисти (в каждом узле от 4 до 16 цветков), верхушечная кисть содержит до 15–20 цветков (рис. 2).

На растении формируется в среднем от 45 до 63 темно-коричневых бобов слабоизогнутой формы, иногда прямых с заостренным кончиком, длиной 4,1–5,5 см, шириной 0,90–0,93 см, толщиной 0,6–0,68 см. Основное отличие сорта от всех ранее созданных заключается в большом количестве 4-семянных бобов – 65% на растении. Опушение бобов и стеблей

Таблица 1

**Сравнительный анализ хозяйственно полезных признаков  
у сортов сои ВНИИС-18 и Даурия, 2016–2018 гг.**

Хозяйственно ценные признаки	ВНИИС-18				Даурия (st)			
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	В среднем за период	2016 г.	2017 г.	2018 г.	В среднем за период
Продолжительность периода вегетации, дни	112	108	112	111	110	110	111	110
Урожайность, ц/га	33,8	28,9	26,7	29,8	29,7	24,7	22,7	25,7
$НСР_{05}$	1,0	1,2	1,5		1,0	1,2	1,5	
Высота растений, см	75	77	72	75	73	71	65	69
Высота крепления нижних бобов, см	12	16	17	15	13	12	15	13
Масса 1000 семян, г	132,8	144,9	142,2	139,9	170,0	198,7	181,2	183,3
Содержание в семенах, %								
белка	40,4	40,1	40,3	40,2	38,8	39,3	36,4	38,2
жира	19,1	20,3	19,6	19,7	19,0	20,0	21,3	20,1
Сбор, ц/га сырого протеина	11,7	9,9	9,3	10,3	9,9	8,3	7,1	8,4
жира	5,5	5,0	4,5	5,0	4,8	4,2	4,2	4,4



Рис. 2. Сорт сои ВНИИС-18: *а* – растение, *б* – семена, *в* – цветки, *г* – бобы.

средней интенсивности, бурой окраски. Семена среднего размера желтые, шаровидной формы с гладкой поверхностью. Рубчик цвета семени – желтый, короткий, узколинейный. По заключению Госкомиссии РФ от 13 ноября 2020 г., новый сорт ВНИИС-18 явно отличается от любого другого общеизвестного сорта и соответствует требованиям однородности и стабильности. Сорт характеризуется устойчивостью к опаданию и растрескиванию бобов, к переувлажнению.

Масса 1000 семян составляет 132,8–144,9 г, средняя – 139,9 г. Содержание в семенах белка 40,2 (40,0–40,4) %, жира 19,7 (19,1–20,3) %. Данный сорт накапливает достаточно высокий процент белка в зерне (на 2% больше, чем у стандарта). При этом сбор сырого протеина с единицы площади у него на 1,9 ц/га, или на 22,6%, превышает аналогичный сбор

у сорта Даурия. Лабораторный анализ показал, что из зерна сорта ВНИИС-18 получается растительное масло светлых тонов и соевое молоко, отличающееся хорошими вкусовыми качествами.

По результату фитопатологической и энтомологической оценок было установлено, что новый сорт ВНИИС-18 отличается комплексной устойчивостью к основным, распространенным в регионе, болезням и вредителям сои (табл. 2). Сорт сои ВНИИС-18 высокоустойчив к бактериозу, церкоспорозу и филлостиктозу, устойчив к септориозу и корневой гнили. В годы изучения поражение данного сорта пероноспорозом было незначительным, аскохитозом – отсутствовало. Повреждение семян соевой плодояркой на 40% ниже, чем у стандарта Даурия.

Сорт сои ВНИИС-18 стрессоустойчив (толерантен к переувлажнению почвы), пригоден к механизированному возделыванию как широкорядным, так и узкорядным способом посева, лучшие сроки высева – с 15 мая по 1 июня с нормой 500–550 тыс. всхожих семян на 1 га.

Следует отметить, что во Всероссийском НИИ сои научно-исследовательская работа сочетается с производством. В 2021 г. новый сорт был включен в схему первичного семеноводства для размножения семян. В этот период был заложен ПИП-1, в котором возделывалось 600 линий. В 2022 г. лучшие отобранные 588 семей испытывались в ПИП-2. В результате к 2023 г. было получено 108,6 ц оригинальных семян нового сорта сои ВНИИС-18.

Таблица 2

**Оценка устойчивости к болезням и вредителям сортов сои ВНИИС-18 и Даурия по степени поражения листьев в 2016–2018 гг., %**

Патогены и вредители	ВНИИС-18				Даурия (стандарт)			
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	В среднем за период	2016 г.	2017 г.	2018 г.	В среднем за период
Бактериоз ( <i>Bacterium glycineum</i> Coerper)	4,4	6,7	5,5	5,5	24,0	7,1	11,5	14,2
Церкоспороз ( <i>Cercospora kikuhii</i> Gardner)	0,5	0,5	1,5	0,8	2,5	1,5	7,5	3,8
Корневые гнили ( <i>Fusarium</i> )	12,1	16,6	15,4	14,7	18,9	16,7	20,3	18,6
Септориоз ( <i>Septoria glycines</i> Hemmi.)	11,7	14,2	18,5	14,4	22,1	14,2	19,6	18,6
Филлостиктоз, или оливковая пятнистость ( <i>Phyllosticta sojaecola</i> C. Massal.)	2,1	4,0	2,5	2,8	10,4	2,9	6,7	6,7
Пероноспороз, или ложная мучнистая роса ( <i>Perenospora manshurica</i> N. Naumov)	1,3	1,7	2,5	1,8	7,2	6,8	13,4	9,1
Аскохитоз ( <i>Ascochyta sojaecola</i> Abramov)	0	0	0	0	0	0	0	0
Соевая плодоярка ( <i>Leguminivora glycinivorella</i> Mtsm.)	4,3	10,2	2,3	5,6	6,5	17,9	3,4	9,3

## Заключение

Таким образом, в процессе селекционной работы создан новый среднеспелый сорт сои зернового использования ВНИИС-18 с периодом вегетации 111 дней, потенциальной урожайностью 42,1 ц/га, высотой растений 75 (72–77) см, высотой прикрепления нижних бобов 15 (12–17) см, массой 1000 семян 139,9 (132,8–144,9) г, содержанием в семенах белка 40,2 (40,0–40,4) %, жира 19,7 (19,1–20,3) %, имеющий преимущества по ряду хозяйственно ценных признаков в сравнении со стандартным сортом Даурия. Новый сорт превышает стандарт по урожайности в среднем (на 4,1 ц/га), содержанию белка в зерне (на 2%), обеспечивает высокий сбор сырого протеина с единицы площади (10,3 ц/га, + 1,9 ц/га к st), технологичен при уборке, пригоден для использования на пищевые цели, отличается большим количеством 4-семянных бобов на растениях (до 65%). Сорт ВНИИС-18 успешно прошел государственное сортоиспытание в 2019–2020 гг. на 7 госсортоучастках в различных почвенно-климатических зонах Дальнего Востока, показал высокий уровень устойчивости к стрессовым факторам, болезнетворным патогенам и вредителям. В 2021 г. сорт ВНИИС-18 был включен в Государственный реестр охраняемых селекционных достижений РФ (патент № 11593 от 15.04.2021) и допущен к использованию по Дальневосточному региону. В 2021–2022 гг. проводилось размножение сорта в питомниках первичного семеноводства, к 2023 г. получено 108,6 ц оригинальных семян, востребованных на рынке региона. Внедрение нового сорта позволит расширить посевы сои в Приамурье, будет способствовать увеличению производства отечественной аграрной продукции, интенсификации импортозамещения, повысит рентабельность производства зерна в регионе.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Фокина Е.М., Титов С.А. Новые сорта сои амурской селекции // Вестн. ДВО РАН. 2021. № 3. С. 85–91. URL: [https://doi.org/10.37102/0869-7698\\_2021\\_217\\_03\\_14](https://doi.org/10.37102/0869-7698_2021_217_03_14) (дата обращения: 01.04.2023).
2. Жученко А.А. Адаптивная стратегия устойчивого развития сельского хозяйства России в XXI столетии. Теория и практика. М.: Агрорус, 2009–2011. Т. 2. 624 с.
3. Гончаров Н.П., Косолапов В.М. Селекция растений – основа продовольственной безопасности России // Вавиловский журн. генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 4. С. 361–366. DOI: 10.18699/VJ21.039.
4. Зайцев Н.И., Бочкарёв Н.И., Зеленцов С.В. Перспективы и направления селекции сои в России в условиях реализации национальной стратегии импортозамещения // Масличные культуры. 2016. Вып. 2. С. 3–11.
5. Зеленцов С.В. Методические основы селекционного процесса у сои и его улучшающие модификации во ВНИИМК: обзор // Масличные культуры. 2020. Вып. 2 (182). С. 128–143.
6. Жученко А.А. Настоящее и будущее адаптивной системы селекции и семеноводства растений на основе идентификации и систематизации их генетических ресурсов // Сельскохозяйственная биология. 2012. № 5. С. 3–19.
7. Бутовец Е.С., Звягинцева С.А. Оценка сортов сои различного происхождения в условиях степной зоны Приморского края // Аграр. вестн. Приморья. 2022. № 1. С. 6–10.
8. Байкунирова А.К., Григорчук Н.Ф. Результаты изучения коллекции сои в ТОО «Опытное хозяйство масличных культур» // Вестн. Алтай. ГАУ. 2022. № 4. С. 5–10. DOI: 10.53083/1996-4277-2022-210-4-5-10.
9. Галиченко А.П., Калищкая Н.Г. Оценка в условиях Амурской области коллекционных образцов сои различного эколого-географического происхождения // Вестн. КрасГАУ. 2020. № 9. С. 46–52. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-9-46-52.
10. Фокина Е.М., Беляева Г.Н., Разанцев Д.Р. Признаковая коллекция сои как основа для создания сортов нового поколения // Вестн. ДВО РАН. 2020. № 4. С. 86–92.
11. Савченко И.В. Генетические ресурсы – основа продовольственной безопасности России // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30, № 9. С. 5–8. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10607.
12. Лихенко И.Е., Артемова П.И., Степочкин, Г.В., Сотник А.Я., Гринберг Е.Г. Генофонд и селекция сельскохозяйственных растений // Сиб. вестн.с./х. наук. 2014. № 5. С. 35–41.
13. Распоряжение Правительства РФ от 12.04.2020 № 993-р «Об утверждении Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года». URL: <https://docs.cntd.ru/document/564654448> (дата обращения: 02.04.2023).

14. Коваленко А.А. Качество семян – залог будущего урожая. URL: <https://old.rosselhoccenter.ru/index.php/stati-6/7424-kachestvo-semyan-zalog-budushchego-urozhaya> (дата обращения: 01.04.2023).
15. Королькова А.П., Кузьмин В.Н., Маринченко Т.Е., Горячева А.В. Стимулирование развития селекции и семеноводства сельскохозяйственных культур: отечественный и зарубежный опыт: аналит. обзор. М.: Росинформагротех, 2020. 124 с.
16. Система земледелия Амурской области: производственно-практический справочник / под общ. ред. П.В. Тихончука. Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2016. 570 с.
17. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.
18. Международный классификатор СЭВ рода *Glycine* Willd. Л.: Типогр. ВИР, 1990. 48 с.
19. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2: Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры / под общ. ред. М.А. Федина. М., 1989. 194 с.
20. Методические указания по изучению устойчивости сои к грибным болезням / сост. Н.И. Корсаков, А.М. Овчинникова, В.М. Мизева; ВАСХНИЛ, ВИР. Л., 1979. 46 с.
21. Фокина Е.М., Титов С.А., Разанцев Д.Р. Агроэкологическая оценка перспективных образцов сои // Достижение науки и техники АПК. 2019. Т. 33, № 7. С. 21–23.
22. Фоменко Н. Д., Синеговская В. Т., Слободяник Н. С. и др. Каталог сортов сои селекции Всероссийского НИИ сои. Благовещенск: Одеон, 2015. 96 с. ISBN: 978-5-9905519-2-3. EDN UBJJMX.

## REFERENCES

1. Fokina E.M., Titov S.A. Novye sorta soi amurskoy selektsii = [New varieties of soybeans of the amur selection]. *Vestnik of the FEB RAS*. 2021;(3):85–91. (In Russ.).
2. Zhuchenko A.A. Adaptivnaya strategiya ustoychivogo razvitiya sel'skogo khozyaystva Rossii v XXI stoletii. Teoriya i praktika = [Adaptive strategy for sustainable development of Russian agriculture in the 21st century. Theory and practice]. Moscow: Agrorus; 2009–2011. Vol. 2. 624 p. (In Russ.).
3. Goncharov N.P., Kosolapov V.M. Seleksiya rasteniy – osnova prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossii = [Plant breeding is the basis of Russia's food security]. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(4):361–366. (In Russ.). DOI: 10.18699/VJ21.039.
4. Zaytsev N.I., Bochkarev N.I., Zelentsov S.V. Perspektivy i napravleniya selektsii soi v Rossii v usloviyakh realizatsii natsional'noy strategi i importozameshcheniya = [Prospects and directions of soybean breeding in Russia in the context of the implementation of the national import substitution strategy]. *Maslichnyye kul'tury*. 2016;(2):3–11. (In Russ.).
5. Zelentsov S.V. Metodicheskiye osnovy selektsionnogo protsessa u soi iyegouluchshayushchiye modifikatsii vo VNIIMK: obzor = [Methodological foundations of the soybean breeding process and its improving modifications at VNIIMK: a review]. *Maslichnyye kul'tury*. 2020;(2):128–143. (In Russ.).
6. Zhuchenko A.A. Nastoyashcheye i budushcheye adaptivnoy sistemy selektsii i semenovodstva rasteniy na osnove identifikatsii i sistematzatsii ikh geneticheskikh resursov = [The Present and Future of the Adaptive System of Plant Breeding and Seed Production Based on the Identification and Systematization of Their Genetic Resources]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2012;(5):3–19. (In Russ.).
7. Butovets E.S., Zvyagintseva S.A. Otsenka sortov soi razlichnogo proiskhozhdeniya v usloviyakh stepnoy zony Primorskogo kraya = [Evaluation of soybean varieties of different origin in the conditions of the steppe zone of Primorsky Krai]. *Agrarnyy vestnik Primor'ya*. 2022;(1):6–10. (In Russ.).
8. Baykunirova A.K., Grigorchuk N.F. Rezul'taty izucheniya kollektzii soi v TOO «Opytneykhozaystvo maslichnykh kul'tur» = [The results of the study of the soybean collection in the Experimental Farm of Oilseeds LLP]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;(4):5–10. (In Russ.). DOI: 10.53083/1996-4277-2022-210-4-5-10.
9. Galichenko A.P., Kalitskaya N.G. Otsenka v usloviyakh Amurskoy oblasti kollektsiyonnykh obraztsov soi razlichnogo ekologo-geograficheskogo proiskhozhdeniya = [Evaluation in the conditions of the Amur Region of collection samples of soybeans of various ecological and geographical origin]. *Vestnik KrasGAU*. 2020;(9):46–52. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2020-9-46-52.
10. Fokina E.M., Belyayeva G.N., Razantsvey D.R. Priznakovaya kolleksiya soi kak osnova dlya sozdaniya sortov novogo pokoleniya = [Soybean Attribute Collection as a Basis for Creation of New Generation Varieties]. *Vestnik of the FEB RAS*. 2020;(4):86–92. (In Russ.).

11. Savchenko I.V. Geneticheskiye resursy – osnova prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossii = [Genetic resources – the basis of food security in Russia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2016;30(9):5–8. (In Russ.). DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10607.
12. Likhenko I.E., Artemova P.I., Stepochkin G.V., Sotnik A. Ya., Grinberg E.G. Genofond i selektsiya sel'skokhozyaystvennykh rasteniy = [Gene pool and selection of agricultural plants]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2014;(5):35–41. (In Russ.).
13. Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 12.04.2020 N993-r «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya agropromyshlennogo i rybokhozyaystvennogo kompleksov Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda» (In Russ.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/564654448> (date of application: 02.04.2023).
14. Kovalenko A.A. Kachestvo semyan – zalog budushchego urozhaya. (In Russ.). Available from: URL: <https://old.rosselhocenter.ru/index.php/stati-6/7424-kachestvo-semyan-zalog-budushchego-urozhaya> (date of application: 01.04.2023).
15. Korol'kova A.P., Kuz'min V.N., Marinchenko T.E., Goryacheva A.V. Stimulirovaniye razvitiya selektsii i semenovodstva sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: otechestvennyy i zarubezhnyi opyt. Moscow: Rosinformagrotekh; 2020. 124 p. (In Russ.).
16. Tihonchuk P.V. (ed.). Sistema zemledeliya Amurskoj oblasti: proizvodstvenno-prakticheskii spravochnik. Blagoveshchensk: Dal'GAU; 2016. 570 p. (In Russ.).
17. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy). Moscow: Al'yans; 2014. 351 p. (In Russ.).
18. Mezhdunarodnyy klassifikator SEV roda *Glycine* Willd. Leningrad: VIR; 1990. 48 p. (In Russ.).
19. Fedin M.A. (ed.). Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Iss. 2: Zernovyye, krupyanyye, zernobobovyye, kukuruza i kormovyye kul'tury. Moscow; 1989. 194 p. (In Russ.).
20. Korsakov N.I., Ovchinnikova A.M., Mizeva V.M. (comp.). Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu ustoichivosti soi k gribnym boleznyam. Leningrad: VASHNIL, VIR; 1979. 46 p. (In Russ.).
21. Fokina E.M., Titov S.A., Razantsvey D.R. Agroekologicheskaya otsenka perspektivnykh obraztsov soi = [Agroecological assessment of promising samples of soybean]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019;33(7):21–23. (In Russ.).
22. Fomenko N.D., Sinegovskaya V.T., Slobodyanik N.S. (ed.). Katalog sortov soi selektsii Vserossiyskogo NII soi. Blagoveshchensk: Odeon; 2015. 96 p. (In Russ.).

Научная статья

УДК 635.652.2:631.816.1:581.144.4

DOI: 10.31857/S0869769824040082

EDN: IQJTQO

## Фотосинтетическая деятельность и урожайность сортов фасоли зерновой в зависимости от уровня минерального питания

А. Ю. Кондратьева<sup>✉</sup>, Т. А. Асеева

*Александра Юрьевна Кондратьева*

младший научный сотрудник

Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Хабаровск,  
Россия

kondrateva.aleksa@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6633-3081>

*Татьяна Александровна Асеева*

доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, директор

Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Хабаровск,  
Россия

aseeva59@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8471-0891>

**Аннотация.** Приведены результаты изучения влияния минерального питания на фотосинтетическую деятельность и биологическую урожайность фасоли зерновой. Максимальная площадь листовой поверхности у сорта Хабаровская была сформирована в варианте с дозой удобрений  $N_{48}P_{48}K_{48}$ , у сортов Гелиада и Шоколадница лучший результат достигнут с применением минеральных удобрений в дозе  $N_{60}P_{60}K_{60}$ . Значения показателя фотосинтетического потенциала изменялись пропорционально площади листьев. Наибольший показатель чистой продуктивности фотосинтеза у сортов Хабаровская и Гелиада был сформирован в контрольном варианте – 13,1 г/м<sup>2</sup> в сутки и 14,6 г/м<sup>2</sup> в сутки соответственно. Сорт Шоколадница показал наилучший результат при применении  $N_{48}P_{48}K_{48}$  – 9,7 г/м<sup>2</sup> в сутки. Применение минеральных удобрений достоверно повысило урожайность сортов фасоли в сравнении с контрольным вариантом. У всех изучаемых сортов максимальная урожайность семян была сформирована с внесением максимальной дозы удобрений –  $N_{60}P_{60}K_{60}$  и составила: у сорта Хабаровская – 34,7 ц/га, Гелиада – 33,9 ц/га и Шоколадница – 32,2 ц/га. Установлена сильная положительная связь между урожайностью, площадью листовой поверхности и фотосинтетическим потенциалом у всех сортов.

**Ключевые слова:** фасоль обыкновенная, минеральное питание, площадь листьев, фотосинтетический потенциал, биологическая урожайность

**Для цитирования:** Кондратьева А. Ю., Асеева Т. А. Фотосинтетическая деятельность и урожайность сортов фасоли зерновой в зависимости от уровня минерального питания // Вестн. ДВО РАН. 2024. № 4. С. 108–118. <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040082>

# Photosynthetic activity and productivity of grain bean varieties depending on the level of mineral nutrition

A. Yu. Kondrat'eva, T.A. Aseeva

*Aleksandra Yu. Kondrat'eva*

Junior Researcher

Far Eastern Agricultural Research Institute, Khabarovsk, Russia

kondrateva.aleksa@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6633-3081>

*Tatiana A. Aseeva*

Corresponding Member of RAS, Doctor of Sciences in Agriculture, Director

Far Eastern Research Institute of Agriculture, Khabarovsk, Russia

aseeva59@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8471-0891>

**Abstract.** The results of studying the effect of mineral nutrition on photosynthetic activity and biological yield of grain beans are presented. The maximum leaf surface area of the Khabarovskaya variety was formed in the variant with a dose of fertilizers  $N_{48}P_{48}K_{48}$ , in the varieties Geliada and Shokoladnica, the best result was achieved using  $N_{60}P_{60}K_{60}$ . The values of the photosynthetic potential index varied proportionally to the leaf area. The highest index of net photosynthesis productivity in the Khabarovskaya and Geliada varieties was formed in the control variant – 13.1 g/m<sup>2</sup> per day and 14.6 g/m<sup>2</sup> per day, respectively. The Shokoladnica variety showed the best result when using  $N_{48}P_{48}K_{48}$  – 9.7 g/m<sup>2</sup> per day. The use of mineral fertilizers significantly increased the yield of bean varieties in comparison with the control variant. In all the studied varieties, the maximum seed yield was formed with the introduction of the maximum dose of fertilizers –  $N_{60}P_{60}K_{60}$  and amounted to: the Khabarovskaya variety has 34.7 c/ha, Geliada – 33.9 c/ha and Chokoladnica – 32.2 c/ha. A strong positive relationship was found between yield, leaf surface area and photosynthetic potential in all varieties.

**Keywords:** common bean, mineral nutrition, leaf area, photosynthetic potential, biological yield

**For citation:** Kondrat'eva A. Yu., Aseeva T.A. Photosynthetic activity and productivity of grain bean varieties depending on the level of mineral nutrition. *Vestnik of the FEB RAS*. 2024;(4):108–118. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040082>

## Введение

Фасоль обыкновенная имеет широкое распространение в мировом земледелии как одна из самых ценных продовольственных культур. Семена обладают высокими вкусовыми качествами и широко используются в кулинарии и консервной промышленности [1]. Эта культура весьма значима при ликвидации дефицита полноценного белка в питании человека, в зрелых семенах фасоли содержится 20–29% белка [2, 3].

Фотосинтез является основным процессом, определяющим величину урожая в посевах сельскохозяйственных культур [4, 5]. Уровень фотосинтетических показателей, достигаемых в полевых условиях, зависит от почвенно-климатических, биологических и агротехнических факторов. При этом важную роль в формировании продуктивности фотосинтеза играет обеспеченность посевов элементами минерального питания [6, 7].

Главной задачей для условий получения высоких урожаев является создание такого посева, в котором бы максимально раскрывались потенциальные возможности фотосинтетической деятельности растений в агроценозе. Этого можно добиться при создании благоприятных условий для роста и развития растений.

Степень обеспечения растений минеральным питанием является одним из основных условий повышения урожайности сельскохозяйственных культур, а также важным звеном технологий выращивания [8]. Исследования в полевой обстановке позволяют установить действия удобрений на рост, развитие и урожайность культур, качество получаемой продукции и показатели плодородия почвы [9].

Цель исследований – выявить зависимость работы фотосинтетического аппарата и величины урожайности фасоли от уровня обеспеченности растений минеральным питанием.

## Материал и методы

Исследования проведены в 2022–2023 гг. на опытных полях Дальневосточного научно-исследовательского института сельского хозяйства (Хабаровский край, Хабаровский район, с. Восточное, 135° в. д., 48° с. ш.) согласно методике полевого опыта [10].

Почва опытного участка лугово-бурая оподзоленно-глеевая, из-за тяжелого механического состава и низкой водопроницаемости во время обильного выпадения атмосферных осадков быстро переувлажняется. Содержание гумуса по Тюрину составляет 1,5–2,2%; рН солевой вытяжки – 4,1 ед.; гидролитическая кислотность – 2,8–4,1 мг-экв./100 г почвы; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 3,9–6,4 мг и K<sub>2</sub>O – 9,2–16,7 мг на 100 г абсолютно сухой почвы по Кирсанову. Предшественник – яровые зерновые.

Метеорологические условия в годы исследований несколько отличались от среднеголетних, однако в целом были достаточно благоприятны для роста и развития растений фасоли, а также формирования урожая. В отдельные периоды роста и развития фасоли наблюдалась повышенная температура воздуха, недостаток или избыток атмосферных осадков. Повышение дневных температур в июле 2022 г. до 30 °С и выше отмечено в течение 8 дней при норме 6, что неблагоприятно отразилось на завязывании бобов (рис.1).

	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
2022	10,9	12,4	14,3	14,8	19,1	20,1	24,8	21,9	22,9	23	20	16,1	16,6	13,7	12,9
2023	10,98	14,38	15,38	15,04	18,83	22,64	22,52	21,27	23,92	20,36	22,87	19,13	17,98	14,92	13,19
норма	9,6	12,2	14,1	16,2	18	19,7	21,1	21,4	21,7	20,8	19,8	18,2	16,2	13,3	10,8

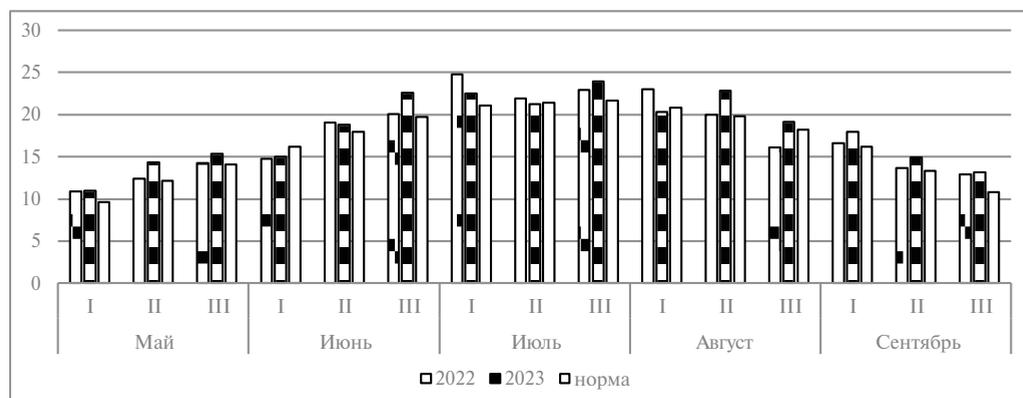


Рис. 1. Температурный режим вегетационного периода, °С.

	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
2022	22,2	9	35,6	35,4	13,8	25,6	2	32,4	15,6	152,2	120,4	93,4	59,4	14,6	35,4
2023	25,4	13,4	15	27,6	12	19,8	52,4	20	68,4	12,8	57	74	3	33,4	15,6
норма	18	20	22	24	26	28	34	44	54	53	51	47	35	29	94

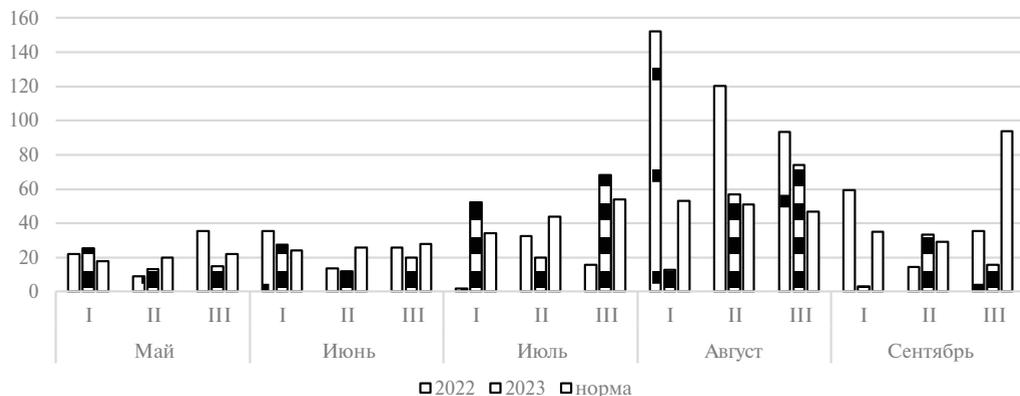


Рис. 2. Распределение суммы осадков по месяцам в период вегетации, мм.

В августе неблагоприятные условия для фасоли обусловили выпавшие осадки в количестве 242% от среднемесячной нормы (366 мм), что вызвало переувлажнение пахотного горизонта почвы (рис.2).

Объектами исследования являлись 3 сорта зерновой фасоли: Хабаровская (селекция ДВНИИСХ), Гелиада (РФ), Шоколадница (РФ).

В целях разработки агротехнологических приемов возделывания фасоли зерновой был заложен опыт по определению нормы удобрений для зерновой фасоли в условиях Среднего Приамурья.

Схема опыта предусматривала изучение следующих вариантов: 1 – контроль (без удобрений), 2 –  $N_{32}P_{32}K_{32}$ , 3 –  $N_{48}P_{48}K_{48}$ , 4 –  $N_{60}P_{60}K_{60}$ .

Посев фасоли проводили вручную на предварительно сформированных гребнях 70 см в 4-кратной повторности, размещение вариантов рендомизированное. Площадь одной делянки в каждом опыте составила 5,6 м<sup>2</sup>.

Фотосинтетическую деятельность посевов фасоли изучали в динамике по формированию площади листовой поверхности и продолжительности ее работы, которая выражается фотосинтетическим потенциалом (ФП) и чистой продуктивностью фотосинтеза (ЧФП) [11, 12].

Площадь листовой поверхности определяли методом «высечки» на 10 растениях с делянки на двух несмежных повторностях по фазам роста и развития растений по формуле

$$S = \frac{M \times S_1 \times N}{m \times n}, \quad (1)$$

где S – площадь листьев, м<sup>2</sup>/га; M – масса листьев всей пробы, г; S<sub>1</sub> – площадь 50 высечек; N – густота стояния растений, шт./га; m – масса 50 высечек г; n – количество растений в пробе, шт.

Фотосинтетический потенциал (ФП) рассчитывали:

$$\text{ФП} = \frac{S_1 + S_2}{2} \times T, \quad (2)$$

где S<sub>1</sub> и S<sub>2</sub> – площадь листьев, м<sup>2</sup>/га; T – период времени, дни.

Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) вычислялась по формуле Кидда, Веста и Бриггса

$$\text{ЧПФ} = \frac{B_2 - B_1}{\frac{1}{2}(S_1 + S_2) \times n}, \quad (3)$$

где  $B_1$  и  $B_2$  – сухая масса растений с 1 м<sup>2</sup> или 1 га посева в конце и начале учетного периода, г или кг;  $\frac{1}{2}(S_1 + S_2)$  – средняя площадь листьев за данный промежуток времени, м<sup>2</sup>/га или м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;  $n$  – количество дней между определениями.

## Результаты и обсуждение

Одним из главных факторов, влияющих на высокую продуктивность растений, является размер ассимиляционной поверхности. Он зависит от темпов нарастания и длительности активного функционирования листьев. Отмечено, что очень часто величина урожая тесно связана с размерами максимальной площади листьев [13].

Нарастание площади листовой поверхности у всех сортов фасоли происходило медленно до фазы полного цветения, так как большая часть ассимилятов в этот период шла на развитие корневой системы растений. Согласно исследованиям А.А. Ничипоровича, оптимальная величина листового аппарата 35–50 тыс. м<sup>2</sup>/га у зернобобовых культур должна быть достигнута к окончанию вегетативного роста и началу массового образования бобов [11]. Если же фотосинтетическая поверхность достигает максимального размера раньше этого времени, то в результате взаимного затенения значительная часть листьев в нижнем ярусе опадает, а ассимиляционный аппарат резко сокращается, что может привести к значительному снижению урожая.

По данным наших исследований (табл. 1), максимальная величина листового аппарата у всех сортов была сформирована в фазу формирования бобов почти во всех вариантах опыта. У сортов Гелиада и Шоколадница наблюдалось увеличение листовой поверхности к фазе налива семян 75%. Также было установлено, что увеличение дозы минеральных удобрений способствовало и увеличению листовой поверхности растений у всех изучаемых сортов в сравнении с контрольным вариантом. Так, у сорта Хабаровская прирост площади листовой поверхности относительно контрольного варианта при применении  $N_{32}P_{32}K_{32}$  составил 21,6%, в варианте  $N_{48}P_{48}K_{48}$  – 46,8%,  $N_{60}P_{60}K_{60}$  – 30,5%. У сорта Гелиада при применении  $N_{32}P_{32}K_{32}$  прирост составил 46,6%,  $N_{48}P_{48}K_{48}$  – 76,4%,  $N_{60}P_{60}K_{60}$  – 112,4%.

Сорт Шоколадница сформировал наибольшую площадь листовой поверхности из всех изучаемых сортов. С увеличением дозы удобрений наблюдался прирост листовой поверхности: в варианте  $N_{32}P_{32}K_{32}$  он составил 83,3%, при увеличении дозы до  $N_{48}P_{48}K_{48}$  – 119,5%, а с внесением  $N_{60}P_{60}K_{60}$  – 125,1%.

Различия в величине листовой поверхности по сортам обусловлены прежде всего генотипом растений. Так, сорта Хабаровская и Гелиада имеют детерминантный тип роста и компактный куст. Высота растения у сорта Хабаровская увеличивалась с повышением дозы удобрений в диапазоне от 29,2 до 37,8 см, у сорта Гелиада от 36 до 47,6 см. Сорт Шоколадница имеет индетерминантный тип роста и достаточно большую высоту – от 49,5 до 64,1 см. Таким образом, существует прямая связь между высотой растения и площадью листьев изучаемых сортов ( $r = 0,7...0,9$ ,  $\alpha < 0,05$ ).

Фотосинтетический потенциал (ФП) представляет собой число «рабочих дней» листового аппарата листовой поверхности посева [12].

У всех сортов по изучаемым вегетационным периодам наблюдалась тенденция к увеличению показателя фотосинтетического потенциала растений фасоли в зависимости от дозы минеральных удобрений. Значение ФП было максимальным в период формирования бобов – налива семян 75% во всех вариантах опыта (табл. 2).

Показатель фотосинтетического потенциала сорта Хабаровская при внесении минимальной дозы удобрений  $N_{32}P_{32}K_{32}$  превысил контроль на 44,5%,  $N_{48}P_{48}K_{48}$  – 82,5%,  $N_{60}P_{60}K_{60}$  – 53,3%. Сорт Гелиада в варианте с внесением  $N_{32}P_{32}K_{32}$  превысил контроль на 76,98%, при увеличении дозы до  $N_{48}P_{48}K_{48}$  – 64,3%, а при  $N_{60}P_{60}K_{60}$  – 112,7%. Сорт Шоколадница вследствие

Таблица 1

**Динамика формирования площади листьев в зависимости от уровня минерального питания растений сортов фасоли (среднее за 2022–2023 гг.), тыс. м<sup>2</sup>/га**

Вариант	Фаза роста и развития растений			
	3-й тройчатый лист	Цветение	Формирование бобов	Налив семян 75%
<b>Хабаровская</b>				
Контроль	6	12	19	13
N <sub>32</sub> P <sub>32</sub> K <sub>32</sub>	6	13	23	20
N <sub>48</sub> P <sub>48</sub> K <sub>48</sub>	6	16	28	26
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	7	17	25	24
<b>Гелиада</b>				
Контроль	6	14	18	18
N <sub>32</sub> P <sub>32</sub> K <sub>32</sub>	7	18	26	29
N <sub>48</sub> P <sub>48</sub> K <sub>48</sub>	7	19	31	22
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	8	22	38	32
<b>Шоколадница</b>				
Контроль	6	21,5	25	31
N <sub>32</sub> P <sub>32</sub> K <sub>32</sub>	7	34,8	46	40
N <sub>48</sub> P <sub>48</sub> K <sub>48</sub>	7	33,3	55	38
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	7	43,4	56	50

Таблица 2

**Фотосинтетический потенциал по вегетационным периодам фасоли (среднее за 2022–2023 гг.), тыс. м<sup>2</sup> × дн. /га**

Вариант	Всходы – 3-й тройчатый лист	3-й тройчатый лист – цветение	Цветение – формирование бобов	Формирование бобов – налив семян 75%	Налив семян 75% – физиологическая спелость
<b>Хабаровская</b>					
Контроль	47	106	187	254	175
N <sub>32</sub> P <sub>32</sub> K <sub>32</sub>	52	118	219	367	270
N <sub>48</sub> P <sub>48</sub> K <sub>48</sub>	52	131	267	463	351
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	58	139	250	389	327
<b>Гелиада</b>					
Контроль	47	127	194	295	229
N <sub>32</sub> P <sub>32</sub> K <sub>32</sub>	54	148	264	522	415
N <sub>48</sub> P <sub>48</sub> K <sub>48</sub>	57	153	300	485	307
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	67	179	358	628	462
<b>Шоколадница</b>					
Контроль	52	285	269	374	404
N <sub>32</sub> P <sub>32</sub> K <sub>32</sub>	57	425	461	604	523
N <sub>48</sub> P <sub>48</sub> K <sub>48</sub>	58	412	503	668	498
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	58	514	570	704	643

сортовых особенностей сформировал максимальный показатель ФП по всем вариантам опыта. Так, с внесением минеральных удобрений в дозе  $N_{32}P_{32}K_{32}$  превышение над контрольным вариантом составило 61,4%,  $N_{48}P_{48}K_{48}$  – 78,4%,  $N_{60}P_{60}K_{60}$  – 78,4%.

Интенсивность накопления абсолютно сухого вещества растениями выражается чистой продуктивностью фотосинтеза (ЧПФ), которая показывает количество накопленной сухой биомассы на единице площади за сутки.

В наших исследованиях было установлено, что в зависимости от сорта и уровня минерального питания в фазу 3-го тройчатого листа ЧПФ варьировала в диапазоне от 7,4 до 9,6 г/м<sup>2</sup> в сутки. В фазу цветения показатель ЧПФ сократился и составил от 3,1 до 5,5 г/м<sup>2</sup> в сутки. В фазу формирования бобов произошло увеличение показателя ЧПФ у сортов Хабаровская и Гелиада, показатель варьировал от 5,6 до 8,6 г/м<sup>2</sup> в сутки, сорт

Вариант	Контроль	$N_{32}P_{32}K_{32}$	$N_{48}P_{48}K_{48}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$
Хабаровская				
3-й тройчатый лист	8,2	7,4	8,1	8,3
Цветение	5,5	5,2	5,1	3,8
Формирование бобов	7,4	7,7	6,3	8,6
Налив семян 75%	13,1	8,5	7,9	10,4
Гелиада				
3-й тройчатый лист	9,6	8,5	8,2	7,8
Цветение	4,9	4,2	4,6	3,1
Формирование бобов	7,2	6,4	5,6	6,0
Налив семян 75%	14,6	9,7	12,2	9,2
Шоколадница				
3-й тройчатый лист	8,5	8,8	9,3	9,1
Цветение	5,2	3,9	5,1	4,3
Формирование бобов	2,1	4,1	1,0	2,6
Налив семян 75%	8,6	7,2	9,7	5,8

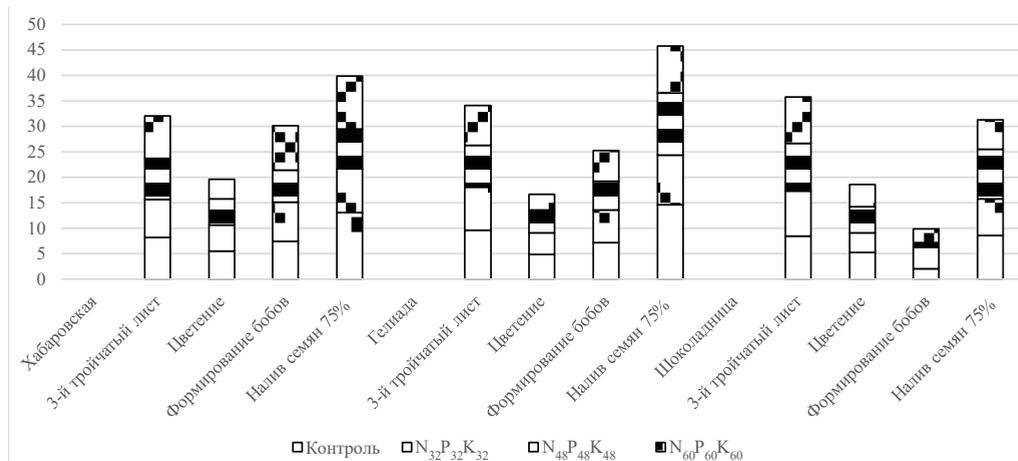


Рис. 3. Чистая продуктивность фотосинтеза в зависимости от уровня минерального питания (среднее за 2022–2023 гг.), г/м<sup>2</sup> в сутки.

**Показатели фотосинтетической деятельности посевов и урожайность фасоли в зависимости от уровня минерального питания (среднее за 2022–2023 гг.)**

Показатель	Вариант				Коэффициент корреляции
	Контроль	N <sub>32</sub> P <sub>32</sub> K <sub>32</sub>	N <sub>48</sub> P <sub>48</sub> K <sub>48</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	
Хабаровская					
Максимальная площадь листьев, тыс. м <sup>2</sup> /га	19	23	28	25	0,8
ФП за вегетацию, тыс. м <sup>2</sup> х дн. /га	753	980	1207	1143	0,9
ЧПФ за вегетацию, г/м <sup>2</sup> в сутки	2,5	1,8	1,8	2,3	-0,2
Урожайность, ц/га	23,4	27,1	32,2	34,7	HCP <sub>0,5</sub> = 2,9
Гелиада					
Максимальная площадь листьев, тыс. м <sup>2</sup> /га	18	26	31	38	1,0
ФП за вегетацию, тыс. м <sup>2</sup> х дн. /га	908	1364	1289	1692	0,9
ЧПФ за вегетацию, г/м <sup>2</sup> в сутки	2,9	2,3	2,7	2,1	-0,7
Урожайность, ц/га	22,4	27,4	31,5	33,9	HCP <sub>0,5</sub> = 3,1
Шоколадница					
Максимальная площадь листьев, тыс. м <sup>2</sup> /га	31	46	55	56	0,9
ФП за вегетацию, тыс. м <sup>2</sup> х дн. /га	1349	1994	2040	2431	1,0
ЧПФ за вегетацию, г/м <sup>2</sup> в сутки	1,9	1,6	2,2	1,3	-0,6
Урожайность, ц/га	18,9	23,9	25,6	32,2	HCP <sub>0,5</sub> = 6,7

Шоколадница сформировал минимальное количество ЧПФ – от 1 до 4,1 г/м<sup>2</sup> в сутки, что напрямую связано с максимальной площадью листовой поверхности в данную фазу развития растений (рис. 3).

Максимальное количество ЧПФ было сформировано всеми сортами в фазы формирования бобов и налива семян 75%. Наибольший показатель ЧПФ у сортов Хабаровская и Гелиада отмечался в контрольном варианте, в вариантах с применением различных доз удобрений отток питательных веществ проходил менее интенсивно. Сорт Шоколадница показал наилучший результат при применении минеральных удобрений в дозе N<sub>48</sub>P<sub>48</sub>K<sub>48</sub>. Прямой зависимости между ЧПФ и биологической урожайностью фасоли в зависимости от уровня минерального питания в наших исследованиях обнаружено не было [14]. Этот комплексный параметр зависит не только от физиологического состояния растений, но и от воздействия факторов окружающей среды, которые изменяются в течение не только в фазы роста и развития растений, но и суток [12, 15].

Применение удобрений в дозе N<sub>48</sub>P<sub>48</sub>K<sub>48</sub> у сорта Хабаровская и N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> у сортов Гелиада и Шоколадница обеспечило наиболее интенсивный рост максимальной площади листовой поверхности, а также и увеличение фотосинтетического потенциала за вегетационный период. Установлена сильная положительная связь между урожайностью и продолжительностью работы листового аппарата у сортов фасоли (табл. 3).

Урожайность сортов – результат взаимодействия генотипа с условиями среды, в которой она формируется [15]. Обеспеченность почвы основными элементами минерального питания – один из факторов, оказывающих непосредственное влияние на урожайность зерновой фасоли в условиях Среднего Приамурья [16]. Увеличение дозы минерального

питания обеспечило повышение показателей работы фотосинтетического аппарата растений фасоли, что привело к увеличению урожайности семян по сравнению с контрольным вариантом. У всех изучаемых сортов максимальная урожайность семян сформировалась в варианте с применением максимальной дозы минеральных удобрений –  $N_{60}P_{60}K_{60}$ . Прибавка урожая зерна у сорта Хабаровская составила 48,3%, Гелиада – 51,3%, Шоколадница – 70,4%. Наибольшую отзывчивость на внесение минеральных удобрений показал сорт Шоколадница ввиду сортовых особенностей.

## Заключение

Внесение минеральных удобрений оказало положительное влияние на формирование листовой поверхности и продолжительности ее работы у сортов фасоли. У сорта Хабаровская наибольшая площадь листьев была в варианте с внесением  $N_{48}P_{48}K_{48}$ , у сортов Гелиада и Шоколадница – при максимальной дозе  $N_{60}P_{60}K_{60}$ . Значения показателя фотосинтетического потенциала изменялись пропорционально площади листьев. Наибольший показатель чистой продуктивности фотосинтеза у сортов Хабаровская и Гелиада был сформирован в контрольном варианте – 13,1 г/м<sup>2</sup> в сутки и 14,6 г/м<sup>2</sup> в сутки соответственно. Сорт Шоколадница показал наилучший результат при применении минеральных удобрений в дозе  $N_{48}P_{48}K_{48}$  – 9,7 г/м<sup>2</sup> в сутки. Применение минеральных удобрений достоверно повысило урожайность сортов фасоли по сравнению с контрольным вариантом. У всех изучаемых сортов максимальная урожайность семян сформировалась при внесении максимальной дозы удобрений –  $N_{60}P_{60}K_{60}$  и составила: у сорта Хабаровская – 34,7 ц/га, Гелиада – 33,9 ц/га и Шоколадница – 32,2 ц/га. Установлена тесная корреляционная зависимость урожайности семян от площади листовой поверхности и фотосинтетического потенциала у всех сортов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Козлова И.В. Влияние фона минерального питания и применения полива на продуктивность и урожайность зерновой фасоли // Рисоводство. 2020. № 1. С. 54–58. <https://doi.org/10.33775/1684-2464-2020-46-1-54-58>.
2. Козлова И.В., Пищулин Г.В. Влияние различных схем посева зерновой фасоли сорта Южанка на урожайность и ее структуру // Рисоводство. 2021. № 4. С. 74–80. DOI: 10.33775/1684-2464-2021-53-4-74-80.
3. Босак В.Н., Сачивко Т.В., Минюк О.Н. Применение минеральных удобрений при возделывании бобовых овощных культур // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы. 2019. Т. 45. С. 9–15.
4. Гармаш Ю.А. Фотосинтетическая деятельность перспективных сортов фасоли в условиях лесостепной зоны РСО Алания // Вестник научных трудов молодых ученых, аспирантов и магистрантов ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет». 2021. № 58. С. 89–91.
5. Хохоева Н.Т., Тедеева А.А., Мамиев Д.М., Тедеева В.В. Продуктивность и структура урожая фасоли в зависимости от минеральных удобрений // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 58–4. С. 46–50. DOI: 10.18411/lj-02-2020-69.
6. Никитин С.Н. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах и динамика ростовых процессов при применении биологических препаратов // Успехи современного естествознания. 2017. № 1. С. 33–38.
7. Радикорская В.А. Оптимизация минерального питания зерновых культур и сои // Дальневосточный аграрный вестник. 2009. № 3. С. 87–89.
8. Пищулин Г.В. Разработка технологических элементов семеноводства лушильной фасоли сорта Снежана селекции ФГБНУ «ФНЦ риса» // Рисоводство. 2021. № 2. С. 83–89. DOI: 10.33775/1684-2464-2021-51-2-83-89.
9. Склярова М.А., Гаврилюк А.Е. Диагностика потребности зерновой фасоли в удобрениях на основе полевого опыта // Энтузиасты аграрной науки: сборник статей по материалам Международной конференции. 2018. Т. 19. С. 15–20.

10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
11. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах (методы и задачи учета в связи с формированием урожая). М., 1961. 135 с.
12. Синеговская В.Т., Наумченко Е.Т., Кобозева Т.П. Методы исследований в полевых опытах с соей. Благовещенск : ООО ИПК ОДЕОН, 2016. 115 с.
13. Синеговская В.Т., Урюпина А.А., Ануфриева И.В. Фотосинтетическая деятельность и формирование урожая нового скороспелого сорта сои Сентябрянка в зависимости от уровня минерального питания // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 4. С. 48–52. DOI: 10.30850/vrsn/2021/4/48-52.
14. Толмачев М.В., Синеговская В.Т. Влияние технологических приемов возделывания на фотосинтетическую деятельность и продуктивность сортов сои // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2009. № 12 (62). С. 5–8.
15. Тихончук П.В. Муратов А.А. Фотосинтетическая деятельность и урожай фасоли обыкновенной в зависимости от предпосевной обработки семян // Аграрный вестник Урала. 2008. № 6. С. 42–44.
16. Кондратьева А.Ю. Приемы возделывания фасоли, направленные на реализацию продуктивных качеств в условиях Среднего Приамурья // Молодые ученые – Хабаровскому краю: материалы XXV краевого конкурса молодых ученых. 2023. С. 49–54.

#### REFERENCES

1. Kozlova I. V. Vliyanie fona mineral'nogo pitaniya i primeneniya poliva na produktivnost' i urozhajnost' zernovoj fasoli = [Effect of mineral nutrition level and application of irrigation on productivity and yield of grain bean]. *Rice Growing*. 2020;(1):54–58. (In Russ.). DOI: 10.33775/1684-2464-2020-46-1-54-58.
2. Kozlova I. V., Pishchulin G. V. Vliyanie razlichnykh skhem poseva zernovoj fasoli sorta Yuzhanka na urozhajnost' i ee strukturu = [The influence of various schemes of sowing grain beans of the Yuzhanka variety on the yield and its structure]. *Rice Growing*. 2021;(4):74–80. (In Russ.). DOI: 10.33775/1684-2464-2021-53-4-74-80.
3. Bosak V.M., Sachyuka T.U., Minyuk V.M. Primenenie mineral'nykh udobrenij pri vzdelyvanii bobovykh ovoshchnykh kul'tur = [Application of mineral fertilizers in the cultivation of leguminous vegetable crops]. *Sel'skoe Khozyajstvo – Problemy i Perspektivy*. 2019;(45):9–15. (In Russ.).
4. Garmash Yu. A. Fotosinteticheskaya deyatel'nost' perspektivnykh sortov fasoli v usloviyakh lesostepnoj zony RSO Alaniya = [Photosynthetic activity of promising bean varieties in the conditions of the forest-steppe zone of the Republic of Alania]. *Vestnik Nauchnykh Trudov Molodykh Uchyonykh, Aspirantov i Magistrantov FGBOU VO "Gorskij Gosudarstvennyj Agrarnyj Universitet"*. 2021;(58):89–91. (In Russ.).
5. Hokhueva N. T., Tedeeva A. A., Mamiev D. M., Tedeeva V. V. Produktivnost' i struktura urozhaya fasoli v zavisimosti ot mineral'nykh udobrenij = [Productivity and structure of the bean crop depending on mineral fertilizers]. *Tendencii Razvitiya Nauki i Obrazovaniya*. 2020;(58-4):46–50. (In Russ.). DOI: 10.18411/lj-02-2020-69.
6. Nikitin S.N. Fotosinteticheskaya deyatel'nost' rastenij v posevakh i dinamika rostovykh processov pri primeneniі biologicheskikh preparatov = [Photosynthetic activity of plants in crops and dynamics of growth processes in the application of biological products]. *Advances in Current Natural Sciences*. 2017;(1):33–38. (In Russ.).
7. Radikorskaya V.A. Optimizaciya mineral'nogo pitaniya zernovykh kul'tur i soi = [Optimization of mineral nutrition of cereals and soybeans]. *Dal'nevostochnyj Agrarnyj Vestnik*. 2009;(3):87–89. (In Russ.).
8. Pishchulin G. V. Razrabotka tekhnologicheskikh ehlementov semenovodstva lushchil'noj fasoli sorta Snezhana selekcii FGBNU «FNC risa» = [Development of technological elements of seed production of shelled beans of the Snezhana variete of the selection fsbsi «Federal Scientific Rice Center»]. *Rice Growing*. 2021;(2):83–89. (In Russ.). DOI: 10.33775/1684-2464-2021-51-2-83-89.
9. Sklyarova M.A., Gavriluk A.E. Diagnostika potrebnosti zernovoj fasoli v udobreniyakh na osnove polevogo opyta = [Diagnosis of the need for grain beans in fertilizers based on field experience]. *Ehntuziasty Agrarnoj Nauki. Sbornik statej po materialam Mezhdunarodnoj konferencii*. 2018;(19):15–20. (In Russ.).
10. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta = [Field experience methodology]. M: Agropromizdat, 1985. 351 p. (In Russ.).

11. Nichiporovich A.A. Fotosinteticheskaya deyatel'nost' rastenij v posevah (metody i zadachi ucheta v svyazi s formirovaniem urozhav) = [Photosynthetic activity of plants in crops (Methods and tasks of accounting in connection with the formation of harvests)]. M.; 1961. 135 p. (In Russ.).
12. Sinegovskaya V.T., Naumchenko E.T., Kobozeva T.P. Metody issledovaniy v polevykh opytakh s soej = [Research methods in field experiments with soy]. Blagoveshchensk: OOO IPK ODEON; 2016. 115 p. (In Russ.).
13. Sinegovskaya V. T., Uryupina A. A., Anuphrieva I. V. Fotosinteticheskaya deyatel'nost' i formirovanie urozhaya novogo skorospelogo sorta soi Sentyabrinka v zavisimosti ot urovnya mineral'nogo pitaniya = [Photosynthetic activity and yield formation of a new early maturing Sentyabrinka soybean variety depending on fertilization level]. *Vestnik of the Russian Agricultural Sciences*. 2021;(4):48–52. (In Russ.). DOI: 10.30850/vrsn/2021/4/48-52.
14. Tolmachev M.V., Sinegovskaya V.T. Vliyanie tekhnologicheskikh priemov vozdeyvaniya na fotosinteticheskuyu deyatel'nost' i produktivnost' sortov soi = [The influence of technological methods of cultivation on photosynthetic activity and productivity of soybean varieties]. *Vestnik Altajskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*. 2009;(12):5–8. (In Russ.).
15. Tihonchuk P.V., Muratov A.A. Fotosinteticheskaya deyatel'nost' i urozhaj fasoli obyknovnoy v zavisimosti ot predposevnoy obrabotki semyan = [Photosynthetic activity and the harvest of ordinary kidney beans depending on preseeded processing of seeds]. *Agrarnyi Vestnik Urala*. 2008;(6):42–44. (In Russ.).
16. Kondrat'eva A. Yu. Priemy vozdeyvaniya fasoli, napravlennye na realizaciyu produktivnykh kachestv v usloviyakh Srednego Priamur'ya = [Bean cultivation techniques aimed at realizing productive qualities in the conditions of the Middle Amur region]. *Molodye Uchenye – Khabarovskomu Krayu*. Materialy XXV kraevogo konkursa molodykh uchenykh. 2023. P. 49–54. (In Russ.).

Научная статья  
УДК 635.62:631.527  
DOI: 10.31857/S0869769824040099  
EDN: IQJTFY

## Вариабельность биохимического состава сортовой популяции тыквы столовой в поколениях отбора

Н. В. Бардина<sup>✉</sup>, Д. А. Павлов, И. В. Ким

*Наталья Викторовна Бардина*

научный сотрудник

Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки,  
Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия

bardina1977@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6992-1666>

*Дмитрий Александрович Павлов*

магистрант

Дальневосточный федеральный университет;

Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки,  
Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия

pavlov1609@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0007-2383-3709>

*Ирина Вячеславовна Ким*

доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки,  
Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия

kimira-80@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0656-0645>

**Аннотация.** В результате исследований установлено, что стабильная однонаправленная (слабая) модификационная изменчивость по признаку «содержание сахаров» проявилась у всех вариантов популяции  $F_8$ ,  $F_9$  ( $C_v = 1,9-7,7; 4,8-10,0\%$ , выравненность –  $98,1-92,3; 95,2-90,0\%$  соответственно). Содержание каротина в  $F_8$  и  $F_9$  является наиболее вариабельным для вариантов ( $C_v = 20,0-60,0; 14,7-30,0\%$ , выравненность –  $40,0-80,0; 70,0-85,3\%$  соответственно). По содержанию витамина С в  $F_8$  определена средняя и значительная изменчивость ( $C_v = 12,9-30,0$ , выравненность –  $70,0-87,1\%$ ), в  $F_9$  – слабая и средняя ( $C_v = 6,2-20,0\%$ , выравненность –  $80,0-93,8\%$ ). У вариантов  $F_8$ ,  $F_9$  аскорбиновой кислоты было  $14,2-21,7; 19,5-24,4$  мг% соответственно, что выше технологических требований, предъявляемых к сортам тыквы столовой для переработки. По оценке изменчивости химических показателей качества плодов многократным индивидуальным отбором с использованием метода половинок, для сохранения в сортовой популяции 945 существенных сдвигов в нужном направлении вариантов необходимого типа, отобраны семена резервных половинок вариантов  $F_9$ , 945-13, 945-27, 945-11, 945-12, 945-22, 945-31 для дальнейшего испытания на хозяйственно полезные признаки.

**Ключевые слова:** тыква столовая, аналитическая селекция, сортовая популяция, варианты (линии) поколений отбора, изменчивость биохимических показателей

*Для цитирования:* Бардина Н.В., Павлов Д.А., Ким И.В. Вариабельность биохимического состава сортовой популяции тыквы столовой в поколениях отбора // Вестн. ДВО РАН. 2024. № 4. С. 119–125. <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040099>

*Финансирование.* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках достижения результатов федерального проекта «Передовые инженерные школы», Соглашение № 075-15-2022-1143 от 07.07.2022 г.

Original article

## Variability in the biochemical composition of a variety population of edible squash in generations of selection

N. V. Bardina, D. A. Pavlov, I. V. Kim

*Natalia V. Bardina*

Researcher

Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Far East named after A. K. Chaika,

Ussuriysk, Timiryazevsky stl., Russia

[bardina1977@yandex.ru](mailto:bardina1977@yandex.ru)

<https://orcid.org/0000-0001-6992-1666>

*Dmitry A. Pavlov*

Master's Student

Far Eastern Federal University

Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Far East named after A. K. Chaika,

Ussuriysk, Timiryazevsky stl., Russia

[pavlov1609@yandex.ru](mailto:pavlov1609@yandex.ru)

<https://orcid.org/0009-0007-2383-3709>

*Irina V. Kim*

Doctor of Sciences in Agriculture, Leading Researcher

Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Far East named after A. K. Chaika,

Ussuriysk, Timiryazevsky stl., Russia,

[kimira-80@mail.ru](mailto:kimira-80@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-0656-0645>

**Abstract.** Our research revealed a stable one-way modification variation (weak) in “the content of sugars” in all variants of population  $F_8$ ,  $F_9$  ( $C_v = 1.9$ – $7.7\%$ ;  $4.8$ – $10.0\%$ , uniformity –  $98.1$ – $92.3\%$ ;  $95.2$ – $90.0\%$ , respectively). The content of carotene in  $F_8$  and  $F_9$  was most variable for the studied variants ( $C_v = 20.0$ – $60.0\%$ ;  $14.7$ – $30.0\%$ , uniformity –  $40.0$ – $80.0$ ;  $70.0$ – $85.3\%$ , respectively). A moderate and significant variation in the content of vitamin C was characteristic of  $F_8$  ( $C_v = 12.9$ – $30.0$ , uniformity –  $70.0$ – $87.1\%$ ), a weak and moderate variation was observed in  $F_9$  ( $C_v = 6.2$ – $20.0\%$ , uniformity –  $80.0$ – $93.8\%$ ). Variants  $F_8$ ,  $F_9$  had an ascorbic acid content of  $14.2$ – $21.7$ ;  $19.5$ – $24.4$  mg% accordingly, which exceeds the technological requirements imposed on varieties of edible squash for processing. Based on the evaluation of variation in the chemical parameters of fruit quality, by recurrent individual selection using the methods of halves, for the conservation of positive changes in variety population 945 and variants of necessary type, we selected seeds from the spare halves of variants  $F_9$  945-13, 945-27, 945-11, 945-12, 945-22, and 945-31 for further testing for economically important traits.

**Keywords:** edible squash, analytical breeding, variety population, variants (lines) of generations of selection, variation in biochemical parameters

**For citation:** Bardina N. V., Pavlov D. A., Kim I. V. Variability in the biochemical composition of a variety population of edible squash in generations of selection. *Vestnik of the FEB RAS*. 2024;(4):119–125. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040099>

**Fundig.** The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of achieving the results of the federal project “Advanced Engineering Schools”, Agreement No. 075-15-2022-1143 dated 07/07/2022.

Тыква – важный продукт питания с высокой биологической ценностью. Основную массу питательных веществ плодов составляют углеводы [1, 2]. Она неотъемлемый компонент диетической пищи, обеспечивающей поступление в организм человека витаминов и каротиноидов [3]. Относится к высокоценному сырью, которое используется в консервной, кондитерской и витаминной промышленности [4].

В учении о методах традиционной селекции имеются вполне доступные резервы ускорения процесса создания сортов, в частности методы аналитической селекции, основанные на индивидуальном отборе перспективных по хозяйственно ценным признакам особей в уже имеющихся сортовых популяциях. В классических исследованиях Н.И. Вавилова одним из направлений является использование в селекции местных, зарубежных сортов, полученных в процессе длительного отбора, главным образом на повышение сладости, иммунитета, транспортабельности и др., достаточно выравненных, но химически и физиологически являющихся популяциями и представляющих интерес для селекции путем индивидуального отбора на повышение сахаристости и т.д., которые и в настоящее время являются актуальными и не потеряли своего значения для привлечения в селекционный процесс [5].

Важным источником исходного материала служат местные образцы селекции [6]. Высокая приспособленность к не всегда благоприятным агроэкологическим условиям определяет их значительную селекционную ценность [7]. Для бахчевых культур местные формы представляют значительный интерес как источники ценных признаков для селекции на качество плода, такие как сахаристость, высокое содержание каротина, витаминов и других биологически активных веществ [8]. Одним из основных направлений остается восстановление и улучшение местных сортов, как наиболее приспособленных к местным условиям [9].

На Быковской бахчевой селекционной опытной станции – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» за последние несколько лет улучшающим отбором восстановлены старые, традиционно пользующиеся спросом у населения нашей страны сорта бахчевых культур, которые обладают большей выравненностью, повышенным содержанием сахаров по сравнению с исходным материалом, сохраняя при этом внешние признаки плодов, любившиеся потребителям [10].

Основные требования, которые промышленность предъявляет к тому или иному виду растительного сырья, хорошие технологические качества плодов [11].

Цель исследований – изучить изменчивость биохимических показателей вариантов (линий) восьмого ( $F_8$ ) и девятого ( $F_9$ ) поколения отбора сортовой популяции 945 тыквы столовой.

Задачи исследований:

провести анализ изменчивости вариантов  $F_8$ ,  $F_9$  сортовой популяции 945 тыквы столовой по содержанию сахаров, каротина, витамина С;

отобрать резервные варианты  $F_9$  с улучшенным химическим составом плодов.

Научная новизна состоит в следующем: дана оценка изменчивости основных хозяйственно ценных биохимических показателей отобранных вариантов (линий)  $F_8$ ,  $F_9$  сортовой популяции 945 с дальнейшим их использованием для создания нового сорта-популяции тыквы столовой, обладающего хорошими вкусовыми качествами.

## Материалы и методы

Исследования проводили в отделе картофелеводства и овощеводства ФГБНУ «ФНЦ агроботехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» в 2020–2021 гг. Почвы пойменные. Объект исследований – 6 наиболее ценных вариантов (линий)  $F_8$ ,  $F_9$  сортовой популяции 945 тыквы столовой. Площадь опытной делянки 99,0 м<sup>2</sup>. Схема посева 180 × 110 см. Количе-

ство отбираемых линий не менее 30%. Количество отбираемых растений для последующей работы в каждой отобранной линии не менее 15 [12]. Сахара определяли в лабораторных условиях с использованием рефрактометра, каротин по – ГОСТ 13496.17-2019<sup>1</sup> и витамин С – по ГОСТ 24556-89<sup>2</sup> в лаборатории агрохимических анализов ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки». Кроме обычных оценок по признакам дополнительно проведен анализ изменчивости биохимических показателей в вариантах (линиях) F<sub>8</sub>, F<sub>9</sub> сортовой популяции 945 [13], используя коэффициент вариации и коэффициент выравненности [14].

Погодные условия вегетационного периода 2020 г. характеризовались довольно высоким температурным режимом и избытком влаги в отдельные фазы вегетации растений. В 2021 г. отмечался высокий температурный режим и острый дефицит влаги в отдельные фазы вегетации растений.

## Результаты и обсуждение

В сортовой популяции 945 генетические самопроизвольные изменения одних и тех же гетерозиготных признаков (содержание сахаров, каротина, витамина С) при отборах на них, по одним и тем же критериям, происходили в течение ряда поколений в сторону увеличения или уменьшения в зависимости от направления отбора и внешних условий.

Нестабильность показателей, таких как сахар и др., приводит к ненормированному изменению их содержания в готовом продукте.

В плодах тыквы у вариантов F<sub>8</sub> содержание сахаров составило от 9,9 до 10,9%, в F<sub>9</sub> – 9,7–10,9% (табл. 1).

Варианты F<sub>8</sub>, F<sub>9</sub> по признаку «содержание сахаров» в пределах сортовой популяции имели слабую вариативность (C<sub>v</sub> = 1,9–7,7; 4,8–10,0% соответственно), выравненность (В) в F<sub>8</sub> – 92,3–98,1%, в F<sub>9</sub> – 90,0–95,2%. В F<sub>8</sub> модификационная изменчивость признака «содержания сахаров» установилась на уровне низкой лабильности. Аналогичная закономерность однонаправленной (слабой) модификационной изменчивости по этому признаку проявилась

Таблица 1

**Вариабельность признака «содержание сахаров» вариантов сортовой популяции тыквы столовой (среднее 2020, 2021 гг.)**

Вариант	Сахара, %		Показатели изменчивости					
			C <sub>v</sub> , %		В, %		x±S <sub>x</sub>	
	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>
945-13	10,5	9,8	3,4	8,5	96,6	91,5	11,6±0,2	11,8±0,4
945-27	10,4	10,9	7,7	8,2	92,3	91,8	11,7±0,4	12,2±2,4
945-11	9,9	10,2	4,3	10,0	95,7	90,0	11,7±0,2	12,0±0,7
945-12	10,0	9,7	1,9	4,8	98,1	95,2	10,4±0,1	10,3±0,2
945-22	10,5	10,3	4,2	6,4	95,8	93,6	11,9±0,2	10,9±0,3
945-31	10,9	9,8	4,7	9,4	95,3	90,6	12,7±0,3	10,6±0,4

Примечание. Здесь и в табл. 2 и 3 C<sub>v</sub> – коэффициент вариации, В – коэффициент выравненности, x±S<sub>x</sub> – ошибка выборки.

<sup>1</sup> ГОСТ 13496.17-2019. Корма. Методы определения каротина. Введ. 01.10.2020. М.: Стандартиформ, 2019. 7 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 24556-89. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С. Введ. 01.01.1990. М.: Изд-во стандартов, 1990. 10 с.

у всех вариантов популяции F<sub>9</sub>. Стабильно низкий коэффициент вариации (до 10,0%) отмечен у признака «содержание сахаров» в обоих поколениях.

Содержание каротина в F<sub>8</sub> находилось в границах от 3,6 до 5,0 мг%, в F<sub>9</sub> – от 2,8 до 3,6 мг%. Коэффициент вариации изменялся в F<sub>8</sub> в пределах от 20,0 до 60,0%, в F<sub>9</sub> – от 14,7 до 30,0% (табл. 2).

В вариантах 945-13, 945-27, 945-11, 945-12 в обоих поколениях варьирование признака «содержание каротина» было значительным – в F<sub>8</sub> от 20,8 до 60,0%, в F<sub>9</sub> от 22,2 до 30,0%. В вариантах 945-22, 945-31 в F<sub>8</sub> и в F<sub>9</sub> изменчивость по этому признаку была умеренной (до 20,0%). Показательно, что содержание каротина в F<sub>8</sub> и F<sub>9</sub> является наиболее варибельным для вариантов. Коэффициент выравненности расположился в интервале в F<sub>8</sub> от 40,0 до 80,0%, в F<sub>9</sub> – от 70,0 до 85,3%.

В F<sub>8</sub> в интервале наблюдаемых концентраций содержание витамина С составило от 14,2 до 21,7 мг%, в F<sub>9</sub> – от 19,5 до 24,4 мг% (табл. 3).

В вариантах 945-13, 945-11, 945-22, 945-31 определена средняя варибельность признака, коэффициент вариации, в F<sub>8</sub> – 12,9–20,0%, в F<sub>9</sub> – 17,8–20,0%. Выявлено существенное уменьшение коэффициента вариации на 79,3% у варианта 945-27 отобранного из поколения F<sub>8</sub> (сильная изменчивость) в F<sub>9</sub> (высокая стабильность признака). У варианта 945-12 сильная варибельность признака в F<sub>8</sub> (30,0%) перешла в среднюю изменчивость в F<sub>9</sub> (17,8%), показав снижение на 40,7%. Коэффициент выравненности находился в промежутке в F<sub>8</sub> – от 70,0 до 87,1%, в F<sub>9</sub> – от 80,0 до 93,8%.

Таблица 2

**Варибельность признака «содержание каротина» вариантов сортовой популяции тыквы столовой (среднее 2020, 2021 гг.)**

Вариант	Каротин, мг%		Показатели изменчивости					
			C <sub>v</sub> , %		B, %		x±Sx̄	
	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>
945-13	4,8	3,2	20,8	30,0	79,2	70,0	4,8±0,5	3,2±0,5
945-27	3,6	3,2	30,0	25,0	70,0	75,0	3,6±0,6	3,2±0,4
945-11	4,6	3,4	60,0	30,0	40,0	70,0	4,6±1,3	3,4±0,5
945-12	4,4	3,6	30,0	22,2	70,0	77,8	4,4±0,7	3,6±0,4
945-22	3,8	3,4	20,0	14,7	80,0	85,3	3,8±0,5	3,4±0,2
945-31	5,0	2,8	20,0	20,0	80,0	80,0	5,0±0,4	2,8±0,4

Таблица 3

**Варибельность признака «содержание витамина С» вариантов сортовой популяции тыквы столовой (среднее 2020, 2021 гг.)**

Вариант	Витамин С, мг%		Показатели изменчивости					
			C <sub>v</sub> , %		B, %		x±Sx̄	
	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>
945-13	21,7	24,4	12,9	19,2	87,1	80,8	21,7±1,3	24,4±2,1
945-27	19,4	21,0	30,0	6,2	70,0	93,8	19,4±2,9	21,0±0,6
945-11	16,0	23,9	20,0	20,0	80,0	80,0	16,0±1,6	23,9±2,9
945-12	14,2	20,2	30,0	17,8	70,0	82,2	14,2±2,1	20,2±1,6
945-22	18,9	19,7	15,8	19,7	84,2	80,3	18,9±1,3	19,7±1,8
945-31	21,0	19,5	16,6	17,8	83,4	82,2	21,0±1,6	20,2±1,6

В вариантах (линиях) F<sub>8</sub>, F<sub>9</sub> содержание аскорбиновой кислоты оказалось существенно выше технологических требований, предъявляемых по этому показателю к столовым сортам тыквы (не менее 10,0 мг%), что обусловило высокую питательность и диетическую ценность плодов.

Варианты в F<sub>8</sub>, F<sub>9</sub> выделились по содержанию сахаров и витамина С.

Во всех вариантах признаки: «сахара», «каротин» в F<sub>9</sub> перешли в категорию, промежуточно наследуемую по отношению к F<sub>8</sub>. Признак «содержание витамина С» в варианте 945-27 в F<sub>9</sub> (слабая изменчивость) перешел в доминантную форму по отношению к F<sub>8</sub> (сильная изменчивость). В остальных в вариантах F<sub>9</sub> наблюдалось промежуточное наследование по отношению к F<sub>8</sub>. Отборы закрепили возникшие генетические изменения по количественным признакам вместе с продолжающейся спонтанной изменчивостью.

## Заключение

У вариантов в F<sub>8</sub>, F<sub>9</sub> проявилась стабильная, однонаправленная (слабая) модификационная изменчивость по признаку «содержание сахаров» (C<sub>v</sub> = 1,9–7,7% и 4,8–10,0% соответственно). Показатели аскорбиновой кислоты, выше технологических требований, предъявляемых к сортам тыквы столовой для переработки, отмечены у вариантов F<sub>8</sub>, F<sub>9</sub> (14,2–21,7 и 19,5–24,4 мг% соответственно). По оценке изменчивости химических показателей качества плодов многократным индивидуальным отбором с использованием метода половинок, для сохранения в сортовой популяции 945 существенных сдвигов в нужном направлении вариантов необходимого типа, отобраны семена резервных половинок вариантов F<sub>9</sub> 945-13, 945-27, 945-11, 945-12, 945-22, 945-31 для дальнейшего испытания на хозяйственно полезные признаки.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Химич Г.А., Коротцева И.Б. Конвейер сортов тыквы столовой селекции ВНИИССОК // Овощи России. 2018. № 1. С. 63–65.
2. Корнилова М.С., Курунина Д.П., Варивода Г.В. Создание конкурентоспособных сортов дыни и тыквы с ценными хозяйственными признаками // Овощи России. 2021. № 6. С. 36–41.
3. Голубкина Н.А., Химич Г.А., Антошкина М.С., Плотникова У.Д., Надежкин С.М., Коротцева И.Б. Особенности каротиноидного состава тыквы Конфетка, перспективы использования // Овощи России. 2021. № 1. С. 111–116.
4. Кулякина Н.В., Кузьмицкая Г.А., Шестопалова Г.Е., Базилевич Л.В., Селезнева Н.Н. Оценка тыквы столовой по биохимическим показателям как перспективного сырья для продуктов функционального назначения в Дальневосточном регионе // Овощи России. 2019. № 2. С. 63–69.
5. Теханович Г.А., Елацкова А.Г., Елацков Ю.А. Исследования Н.И. Вавилова и его влияние на развитие интродукции, изучении коллекции и селекции бахчевых культур // Vavilovia. 2019. № 2 (2). С. 44–57.
6. Корнилов А.С. Селекция и семеноводство овощных культур на юге Дальнего Востока. Владивосток, 2008. 143 с.
7. Пискунова Т.М., Мутьева З.Ф. Коллекция ВИР – источник исходного материала для перспективных направлений селекции кабачка и тыквы // Овощи России. 2016. № 3 (32). С. 18–23.
8. Пискунова Т.М., Гашкова И.В., Ажмухамедова М.А. Местные сорта бахчевых культур как источники для селекции на качество плода // Современные тенденции в селекции и семеноводстве овощных культур. Традиции и перспективы: I Междунар. науч.-практ. конф., 4–6 авг. 2008 г. М.: ВНИИССОК, 2008. Т. 2. С. 243–245.
9. Тарасенков И.И. Селекция овощных и бахчевых культур во ВНИИО // Сборник научных трудов по овощеводству и бахчеводству. К 75-летию ВНИИО. Т. 1: Селекция и семеноводство. М.: ВНИИО, 2006. С. 24–29.
10. Быковский Ю.А., Варивода Е.А., Малуева С.В., Никулина Т.М. Селекция бахчевых культур для юго-востока России // Картофель и овощи. 2017. № 6. С. 37–40.

11. Линда Л.П., Каражия В.Ф., Соболева И.М., Саранди Т.А., Ботнар О., Мигалатьев О. Оценка сортов и гибридов тыквы столовой, районированных в Молдове, на пригодность к переработке // Овощи России. 2012. № 3. С. 62–68.
12. Бунин М.С., Пивоваров В.Ф., Павлов Л.В. Положение о производстве семян элиты овощных, бахчевых культур, кормовых корнеплодов и кормовой капусты. М., 2008. 28 с.
13. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М.: ВНИИО, 2011. 648 с.
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 4-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1979. 416 с.

## REFERENCES

1. Khimich G. A., Korottseva I. B. Conveyor of varieties of pumpkin of Federal Research Vegetable Center (VNISSOK) selection. *Vegetable Crops of Russia*. 2018;(1):63–65. (In Russ.).
2. Kornilova M. S., Kurunina D. P., Varivoda G. V. Creation of competitive varieties of melon and pumpkin with valuable economic trends. *Vegetable Crops of Russia*. 2021;(6):36–41. (In Russ.).
3. Golubkina N. A., Khimich G. A., Antoshkina M. S., Plotnikova U. D., Nadezhkin S. M., Korottseva I. B. Peculiarities of pumpkin carotenoid composition 'Konfetka' variety, prospects of utilization. *Vegetable Crops of Russia*. 2021;(1):111–116. (In Russ.).
4. Kulyakina N. V., Kuz'mitskaya G. A., Shestopalova G. E., Bazilevich L. V., Selezneva N. N. Evaluation of biochemical characteristics of pumpkin in production of functional food products in the Far-Eastern region. *Vegetable Crops of Russia*. 2019;(2):63–69. (In Russ.).
5. Tekhanovich G. A., Elatskova A. G., Elatskov Yu. A. Investigations by N. I. Vavilov and his influence on the promotion of introduction, collection study and breeding of cucurbitaceous crops. *Vavilovia*. 2019;2(2):44–57. (In Russ.).
6. Kornilov A. S. Seleksiya i semenovodstvo ovoshchnykh kul'tur na yuge Dal'nego Vostoka. Vladivostok; 2008. 143 p. (In Russ.).
7. Piskunova T. M., Mut'eva Z. F. The VIR collection – a source of initial breeding material for the perspective directions of breeding of a vegetable marrow and pumpkin. *Vegetable Crops of Russia*. 2016; 32(3):18–23. (In Russ.).
8. Piskunova T. M., Gashkova I. V., Azhmukhamedova M. A. Mestnye sorta bakhchevykh kul'tur kak istochniki dlya seleksii na kachestvo ploda. In: *Sovremennye tendentsii v seleksii i semenovodstve ovoshchnykh kul'tur. Traditsii i perspektivy: I Mezhdunar. nauch.-praktich. konf. = [Modern tendencies in the breeding and seed production of vegetable crops. Traditions and prospects: the 1st International scientific conference]*, August 4–6, 2008. Moscow: VNISSOK; 2008. Vol. 2. P. 243–245. (In Russ.).
9. Tarasenkov I. I. Seleksiya ovoshchnykh i bakhchevykh kul'tur vo VNIIO. In: *Sbornik nauchnykh trudov po ovoshchevodstvu i bakhchevodstvu : k 75-letiyu VNIIO*. T. 1: Seleksiya i semenovodstvo = [Collection of scientific papers on vegetable and melon growing dedicated to the 75th anniversary of the National Scientific Research Institute of Horticulture. Vol. 1: Breeding and seed production]. Moscow: Rossel'khozakademiya, VNIIO; 2006. P. 24–29. (In Russ.).
10. Bykovskii Yu. A., Varivoda E. A., Malueva S. V., Nikulina T. M. Melons breeding for the south-east of Russia. *Potato and Vegetables*. 2017;(6):37–40. (In Russ.).
11. Linda L. P., Karazhiya V. F., Soboleva I. M., Sarandi T. A., Botnar' O., Migalat'ev O. Pumpkin varieties and hybrids released in Moldova, suitable for processing. *Vegetable Crops of Russia*. 2012;(3):62–68. (In Russ.).
12. Bunin M. S., Pivovarov V. F., Pavlov L. V. Polozhenie o proizvodstve semyan ehlyty ovoshchnykh, bakhchevykh kul'tur, kormovykh korneplodov i kormovoi kapusty. Moscow; 2008. 28 p. (In Russ.).
13. Litvinov S. S. Metodika polevogo opyta v ovoshchevodstve. Moscow: Rossel'khozakademiya, VNIIO; 2011. 648 p. (In Russ.).
14. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta: (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy). 4th ed. Moscow: Kolos; 1979. 416 s. (In Russ.).

Научная статья  
УДК 634.7: 631.17  
DOI: 10.31857/S0869769824040103  
EDN: IQHXDG

## Использование генетического материала диких родичей жимолости камчатской (*Lonicera caerulea* var. *kamtschatika* Sevest.) в аналитической селекции

Е. Н. Петруша, Е. А. Русакова 

*Елена Николаевна Петруша*  
старший научный сотрудник

Камчатский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова», Камчатский край, с. Сосновка, Россия  
petrusha1960@inbox.ru  
<https://orcid.org/0009-0001-8442-8500>

*Елена Анатольевна Русакова*  
младший научный сотрудник

Камчатский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова», Камчатский край, с. Сосновка, Россия  
rubusarcticus@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0004-8480-5910>

**Аннотация.** В селекции синей жимолости жимолость камчатская (*Lonicera caerulea* var. *kamtschatika* Sevest.) является ценным донором десертного вкуса, крупноплодности и зимостойкости. Дикорастущие родичи жимолости камчатской представляют особую ценность в аналитической селекции вследствие широкого полиморфизма в популяциях дикой природы Камчатки. В статье обобщены сведения о результатах камчатской селекции с использованием форм жимолости, отобранных в диких популяциях центральных и южных районов Камчатского края. При комплексном селекционном отборе особое внимание уделялось хозяйственно ценным и селекционно значимым признакам: морозоустойчивость, различные сроки созревания, высокая урожайность, раннее вступление в плодоношение (на 3-й год после посадки), привлекательность, крупноплодность (более 1,0 г), неосыпаемость, десертный вкус, высокое содержание сахаров, витамина С, низкая кислотность. В результате поиска и отбора дикорастущих форм жимолости в селекционных питомниках изучено около 4000 семян, выделено в элиту более 50 форм, получено 6 сортов. В изучении найдены свыше 800 семян посадки 2020–2023 гг., созданы новые перспективные элитные формы – сорта 1–5 (с. Малка), 1–20 (с. Виллойка), 31–35 (с. Ганалочка), отличающиеся высокими хозяйственно ценными характеристиками. По итогам отбора семенного материала в 2023 г. генофонд жимолости камчатской пополнился 51 перспективной для селекции формой из различных популяций: 10 форм из Елизовского района, 20 форм из Мильковского

района, 8 форм из Усть-Камчатского района и 13 форм из Быстринского района. Для более эффективного и качественного выхода перспективных отборных форм в аналитической селекции необходимо продолжить перенос ценных источников из дикой природы в культуру и всестороннее их изучение.

**Ключевые слова:** Камчатский край, жимолость камчатская, аналитическая селекция, дикие родичи, отборные формы

**Для цитирования:** Петруша Е. Н., Русакова Е. А. Использование генетического материала диких родичей жимолости камчатской (*Lonicera caerulea* var. *kamtschatika* Sevest.) в аналитической селекции // Вестн. ДВО РАН. 2024. № 4. С. 126–133.  
<http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040103>

**Финансирование.** Финансирование проводилось из средств федерального бюджета в рамках выполнения государственного задания № 2023-0004.

Original article

## The use of genetic material of wild relatives of Kamchatka honeysuckle (*Lonicera caerulea* var. *kamtschatika* Sevest.) in analytical breeding

E. N. Petrusha, E. A. Rusakova

*Elena N. Petrusha*

Senior Researcher

Kamchatka Scientific Research Institute of Agriculture – N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Kamchatka Territory, Sosnovka vil., Russia

[petrusha1960@inbox.ru](mailto:petrusha1960@inbox.ru)

<https://orcid.org/0009-0001-8442-8500>

*Elena A. Rusakova*

Junior Researcher

Kamchatka Scientific Research Institute of Agriculture – N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Kamchatka Territory, Sosnovka vil., Russia

[rubusarcticus@mail.ru](mailto:rubusarcticus@mail.ru)

<https://orcid.org/0009-0004-8480-5910>

**Abstract.** In the selection of blue honeysuckle, Kamchatka honeysuckle (*Lonicera caerulea* var. *kamtschatika* Sevest.) is a valuable donor of dessert taste, large-sized berries, and winter hardiness. Wild relatives of Kamchatka honeysuckle are of particular value in analytical selection due to wide polymorphism in wild populations of Kamchatka. The article summarizes information on the results of Kamchatka selection using honeysuckle forms selected from wild populations of the central and southern regions of the Kamchatka Territory. During the complex selection process, special attention was paid to economic-valuable and selection-significant traits: frost resistance, different ripening periods, high yield, early fruiting (for 3 years after planting), attractiveness, large-sized berries (more than 1.0 g), non-shattering, dessert taste, high sugar content, vitamin C, low acidity. As a result of the search and selection of wild forms of honeysuckle in breeding nurseries about 4,000 seedlings were studied, more than 50 forms were selected as an elite, and 6 varieties were obtained. Over 800 seedlings of planting 2020–2023 are in the study, new promising elite forms-varieties have been created: 1–5 (Malka), 1–20 (Vilyuyka), 31–35 (Ganalochka), characterized by high economically valuable characteristics. According to the results of the selection of seed material in 2023,

the Kamchatka honeysuckle gene pool was replenished with 51 forms promising for breeding from various populations: 10 forms from the Elizovsky district, 20 forms from the Milkovsky district, 8 forms from the Ust-Kamchatsky district and 13 forms from the Bystrinsky district. For a more effective and high-quality output of promising selected forms for analytical breeding, it is necessary to continue transferring valuable sources from wild nature to culture and their comprehensive study.

**Keywords:** Kamchatka Territory, Kamchatka honeysuckle, analytical breeding, wild relatives, selected forms

**For citation:** Petrusha E. N., Rusakova E. A. The use of genetic material of wild relatives of Kamchatka honeysuckle (*Lonicera caerulea* var. *kamtschatika* Sevest.) in analytical breeding. *Vestnik of the FEB RAS*. 2024;(4):126–133. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040103>

**Funding.** The financing was carried out from the federal budget within the framework of the state task № 2023-0004.

Жимолость синяя (*Lonicera caerulea*) высоко ценится за сверхраннее созревание, исключительную пищевую и лекарственную ценность, привлекательность ягод и их нежный освежающий вкус. Нетребовательность растений жимолости к условиям произрастания и агротехнике, устойчивость к неблагоприятным факторам среды, стабильность плодоношения ранозревающих плодов обусловили значительное развитие селекции данной культуры [1, 2]. Одной из наиболее важных основ для успеха в современной селекции является отбор и комплексное изучение генетического потенциала диких родичей, что способствует созданию сортов с высокими хозяйственно ценными признаками [3].

Отборные дикорастущие формы подвидов синих жимолостей – жимолости камчатской (*Lonicera caerulea* var. *kamtschatika* Sevest.) послужили исходным материалом для начала селекционной работы с жимолостью в 50-х годах XX в. и стали основой для создания первых сортов. В настоящее время благодаря своему десертному вкусу, крупноплодности, высокой зимостойкости жимолость камчатская является востребованным материалом для селекции и широко используется селекционерами в различных регионах страны [4–6]. На территории края она произрастает большими массивами по несколько десятков гектаров в кустарниковом ярусе лиственных и березовых лесов. Особенно много ее в южной части полуострова, в бассейнах рек Большая, Авача и Камчатка. Кроме этого, жимолость встречается на Командорских и Курильских островах (северных – от Камчатки до о-ва Уруп), а также на Сахалине [7, 8].

Обширный ареал произрастания жимолости на полуострове представляет безусловный интерес для дальнейшего всестороннего изучения и оценки. Планомерный отбор источников селекционно значимых признаков из диких популяций дает возможность получать сорта с улучшенными дегустационными и хозяйственно-биологическими характеристиками. Особое значение имеют источники, обладающие высоким уровнем продуктивности и содержания биоактивных веществ, крупноплодностью, приятным десертным вкусом, устойчивостью к различным стрессорам, а также признаками, связанными с технологичностью (слаборослость, скороплодность) и пригодностью плодов для современных технологий консервирования. Благодаря выраженному полиморфизму жимолости камчатской посев семян, собранных с нескольких растений локальной популяции, позволяет получить семью из семян, у которых могут проявиться даже те признаки, которые не проявлялись у растений в природных условиях [9].

Работа по созданию исходных элитных форм жимолости в Камчатском НИИ сельского хозяйства – филиале ВИР ведется по долгосрочной селекционной программе, направленной на изучение и использование в аналитической селекции аборигенных форм жимолости камчатской. Реализация данной программы осуществляется посредством решения следующих задач: сбор и размножение образцов дикорастущих форм, сравнительное изучение генетически разнообразного исходного материала, выделение перспективных источников с комплексом хозяйственно ценных признаков. Постоянно осуществляемая всесторонняя оценка селекционных источников направлена на выделение качественно нового исходного материала для повышения эффективности селекции, создание доноров селекционно ценных свойств. Как исходный материал используются семена жимолости, собранные в диких популяциях различных районов края. Для закрепления разнообразия

генетического фонда отборные сеянцы размножаются вегетативно методом зеленого черенкования в питомнике размножения, что позволяет впоследствии отбирать генетический материал с признаками, не проявляющимися в природных популяциях.

Первые экспедиционные обследования дикорастущих популяций жимолости были приняты сотрудниками Камчатского НИИСХ в 1986 г. (Усть-Камчатский район – с. Ключи, Быстринский район – с. Анавгай, Елизовский район – с. Пиначево). В результате поиска и сбора семян в 1987 г. были заложены первые селекционные питомники в количестве 2000 образцов. Путем регулярных обследований дикорастущих популяций центральных и южных районов Камчатского края было проанализировано более 4000 сеянцев диких родичей жимолости камчатской и выделено более 50 наиболее ценных элитных форм. Для использования в селекционном процессе отбираются лучшие источники, выделившиеся по селективируемому признаку среди других форм. При комплексном отборе особое внимание уделяется хозяйственно ценным и селекционно значимым признакам: морозоустойчивость, различные сроки созревания, высокая урожайность, раннее вступление в плодоношение (на третий год после посадки), привлекательность, крупноплодность (более 1,0 г), неосыпаемость, десертный вкус, высокое содержание сахаров, витамина С, сухого вещества, низкая кислотность. В результате культивирования жимолости были получены сорта от свободного опыления: Сладёна, Соперница-Горянка, Атлант, Мильковчанка, Даринка, Елена. В целях сохранения генетического материала и создания сортов для улучшения и расширения ассортимента жимолости селекционная работа продолжается, идет поиск и отбор нового семенного материала, закладываются новые питомники, создаются перспективные кандидаты в сорта (рис. 1).

На сегодняшний день в питомниках отбора посадки 2020–2023 гг. находится свыше 800 перспективных форм, собранных локально из различных мест произрастания на территории Камчатского края. В процессе изучения селекционного фонда были выделены 24 элитные формы от свободного опыления жимолости камчатской с высокой зимостойкостью, различного срока созревания, из них: 13 форм с повышенной продуктивностью от 0,35 до 0,45 кг с куста; 15 – по показателю крупноплодности с массой плода от 1,0 до 1,3 г; 10 – с отличным десертным вкусом плодов; 15 – по привлекательности, включающей комплексную оценку величины, одномерности и формы плодов; 15 форм с отсутствием осыпаемости плодов. Наибольшее накопление аскорбиновой кислоты – от 51,3 до 61,4 мг% – установлено у 10 отборных форм, сухого вещества – от 13,9 до 15,9% – у 12 форм.

По результатам селекционной работы в 2023 г. для создания нового сорта определены перспективные элитные формы 1-5 (с. Малка), 1-20 (с. Вилуйка), 31-35 (с. Ганалочка), которые характеризуются высокой степенью зимостойкости, ранним и среднеранним сроком созревания, продуктивностью, превышающей стандарт на 31,6, 38,8, 18,4% соответственно, крупными привлекательными плодами отличного вкуса (см. таблицу) [10].

Одновременно проводится сортоиспытание элитных форм 57-67, 3-11-94, 2-114-93, которые являются претендентами на новые сорта. По первому году изучаемые элитные формы показали хорошие результаты: высокая зимостойкость, продуктивность плодоношения на уровне стандарта 0,15–0,20 кг с куста, неосыпаемость, крупноплодность (максимальная масса 1,6–1,7 г); вкус плодов: сладковато-кислый, сладкий и кисло-сладкий, с характерным ароматом, без горечи; высокая оценка привлекательности внешнего вида.

Путем экспедиционных сборов на протяжении многих лет регулярно пополняются селекционные питомники, где потенциал популяции жимолости наиболее полно раскрывается при семенном размножении. Так, в 2023 г. проведен очередной обширный поиск и отбор перспективных форм жимолости камчатской в дикорастущих популяциях Елизовского (пос. Вулканный; подножие Ганальского перевала), Мильковского (с. Долиновка), Быстринского (с. Эссо; подножие и склон горы Оленгендэ) и Усть-Камчатского (пос. Ключи, р. Радуга) районов Камчатского края (рис. 2).

В границах каждой из обследованных популяций у плодов наблюдалось большое разнообразие вкусовых качеств, формы, параметров привлекательности – интенсивности воскового налета и окраски. Отбирались формы, обладающие высокими дегустационными качествами, с плодами сладкого, кисло-сладкого и сладковато-кислого вкуса. Наибольшее

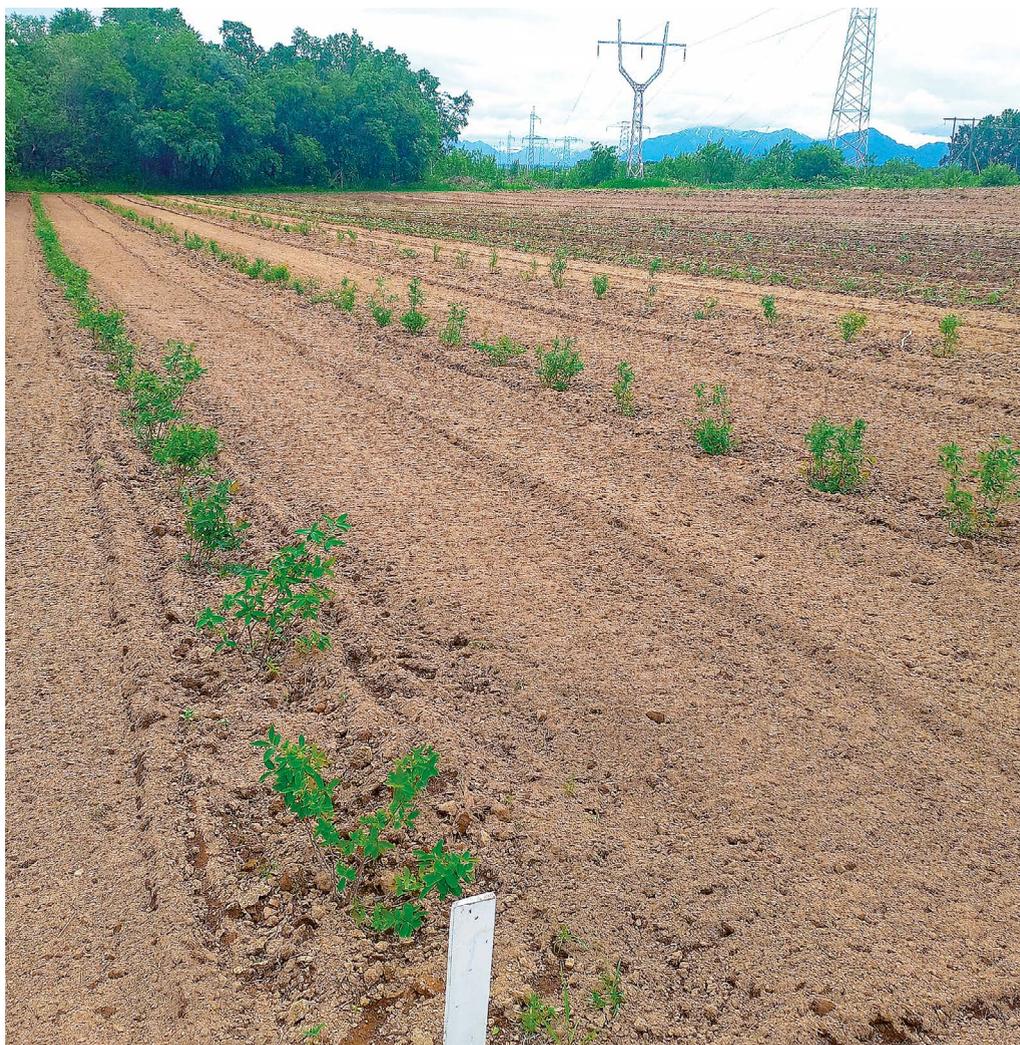


Рис. 1. Селекционный питомник дикорастущих форм жимолости камчатской, закладка 2023 г.

**Краткая характеристика перспективных элитных форм жимолости камчатской**

Сорто-образец	Продуктивность, кг/куст	Масса, г		Вкус	Содержание биохимических веществ				Форма плода
		min	max		аскорбиновая кислота, мг %	сахара, %	сухое вещество, %	кислотность, %	
1-5	0,50	1,0	1,3	5,0	50,85	8,9	14,7	1,9	Широко-кувшиновидная
1-20	0,52	1,0	1,2	4,5	42,09	7,2	12,4	2,1	Широко-веретеновидная
31-35	0,45	0,9	1,2	5,0	47,46	8,5	15,3	1,8	Удлиненно-овальная



Местонахождение популяции	Количество отобранных форм
Елизовский район, окрестности пос. Вулканный	8
Елизовский район, подножие Ганальского хребта, 182-й километр автодороги Петропавловск-Камчатский – Мильково	2
Мильковский район, с. Долиновка, правый берег р. Долиновка	10
Мильковский район, с. Долиновка, 2 км от села по старой автодороге Мильково-Атласово	10
Усть-Камчатский район, 325-й км автодороги «Мильково-Усть-Камчатск», р. Радуга	8
Быстринский район, с. Эссо, лесной массив вблизи улиц Южная и Линейная	4
Быстринский район, подножие горы Оленгендэ	9

Рис. 2. Количество отобранных дикорастущих форм жимолости камчатской в различных популяциях на территории Камчатского края (2023 г.).



Рис. 3. Полиморфизм жимолости камчатской на примере отобранных образцов из различных районов произрастания в дикой природе.

число отобранных образцов характеризовалось кувшиновидной и ширококувшиновидной, овальной и удлинённо-овальной формами плодов, реже отмечались плоды с цилиндрической, широковеретеновидной, колокольчатой и каплевидной формами, единично – округлой, яйцевидной, стручковидной (рис. 3). Интенсивность воскового налета варьировала от слабой к сильной, окраска – от белёсо-голубой до фиолетово-синей. По итогам отбора семенного материала генофонд жимолости камчатской пополнился 51 перспективной для селекции формой из различных популяций: 10 форм из Елизовского района, 20 форм из Мильковского района, 8 форм из Усть-Камчатского района и 13 форм из Быстринского района.

Возможности селекционных исследований жимолости еще не исчерпаны, необходимо как можно активнее привлекать в селекционный процесс новый исходный материал диких родичей жимолости камчатской. Для повышения эффективности селекционного процесса необходимо расширение генетического разнообразия исходного материала, а также углубление экспериментальной работы по изучению и выделению доноров и источников, обладающих комплексом селекционно значимых признаков. Прошедшие естественный отбор в природе, местные формы представляют большую ценность для селекции и являются источниками пополнения генетического потенциала.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ильин В.С. Жимолость синяя // Земляника. Малина. Орехоплодные и редкие культуры. Орёл: Изд-во ВНИИСПК, 2014. 587 с. (Помология; в 5 т.; Т. 5).
2. Сорокопудов В.Н., Александров Д.С. Жимолость: декоративная и съедобная // Перспективы внедрения результатов научных исследований в современном мире: сб. ст. междунар. науч. конф., г. Томск, 21 янв. 2023 г. СПб.: ООО «Международный институт перспективных исследований имени Ломоносова», 2023. С. 19–21.
3. Петруша Е.Н. Оценка исходного материала жимолости камчатской для селекции на крупноплодность и качество ягод // Дальневосточный аграрный вестник. 2020. № 2 (54). С. 41–46. DOI: 10.24411/1999-6837-2020-12020.
4. Софронов А.П., Фирсова С.В., Головунин В.П. Жимолость синяя (*Lonicera caeruleae* L.): технология и селекция. Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2021. 64 с.
5. Куikliна А.Г., Сорокопудов В.Н., Упадышев М.Т. и др. Состояние и перспективы селекции жимолости синей // Вестник РСХН. 2017. № 5. С. 41–46.
6. Хохрякова Л.А. Перспективы селекции жимолости // Современные направления развития садоводства в Сибири: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конференции, посвященной 95-летию со дня рождения акад. РАН И.П. Калининой, г. Барнаул, 21 окт. 2021 г. Барнаул: Азбука, 2022. С. 136–140.
7. Якубов В.В., Черягина О.А. Каталог флоры Камчатки (сосудистые растения). Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2004. 165 с.
8. Нечаев А.А. Видовой состав и ресурсные характеристики дикорастущих съедобных ягодных растений российского Дальнего Востока // Использование и воспроизводство лесных ресурсов на Дальнем Востоке: Труды. Хабаровск: ФГБУ «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», 2016. Вып. 39. С. 105–125.
9. Ерёмин Г.В., Дубравина И.В., Коваленко Н.Н., Гасанова Т.А. Предварительная селекция плодовых культур: монография. Краснодар: КубГАУ, 2015. 335 с.
10. Петруша Е.Н., Русакова Е.А. Генетическое разнообразие жимолости камчатской как источник селекции на продуктивность и качество плодов // Современное садоводство. 2023. № 3. С. 27–34. DOI: 10.52415/23126701\_2023\_0304.

#### REFERENCES

1. Il'in V.S. Zhimolost' sinjaja. Pomologija. V pjati tomah. Tom 5. Zemljanika. Malina. Orehoplodnye i redkie kul'tury= [Blue honeysuckle. Pomology. In five volumes. Vol. 5. Strawberries. Raspberries. Nutty and rare crops]. Orjol: Izd-vo VNIISPK; 2014. 587 p. (In Russ.).

2. Sorokopudov V.N., Aleksandrov D.S. Zhimolost': dekorativnaya i s"edobnaya = [Honeysuckle: decorative and edible]. *Prospects for the implementation of scientific research results in the modern world: collection of articles of the International Scientific Conference, Tomsk, 2023, January, 21*. St. Petersburg: Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu «Mezhdunarodnyi institut perspektivnykh issledovaniy imeni Lomonosova»; 2023. S. 19–21. (In Russ.).
3. Petrusha E. N. Otsenka iskhodnogo materiala zhimolosti kamchatskoi dlya selektsii na krupnoplodnost' i kachestvo yagod = [Assessment of the source material of Kamchatka honeysuckle to breed for large-fruited berries with improved qualities]. *Dal'nevostochnyi Agrarnyi Vestnik*. 2020; 54(2):41–46. (In Russ.). DOI: 10.24411/1999-6837-2020-12020.
4. Sofronov A. P., Firsova S. V., Golovunin V. P. Zhimolost' sinyaya (*Lonicera caeruleae* L.): tekhnologiya i selektsiya = [Blue honeysuckle (*Lonicera caeruleae* L.): technology and breeding]. Kirov: FGBNU FANTs Severo-Vostoka; 2021. 64 p. (In Russ.).
5. Kuklina A.G., Sorokopudov V.N., Upadyshev M.T. et al. Sostoyanie i perspektivy selektsii zhimolosti sinei = [The state and prospects of blue honeysuckle breeding]. *Vestnik RSKhN*. 2017;(5):41–46. (In Russ.).
6. Khokhryakova L.A. Perspektivy selektsii zhimolosti = [Prospects for honeysuckle breeding]. *Modern directions of horticulture development in Siberia: collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 95th anniversary of the birth of Academician of the Russian Academy of Sciences I.P. Kalinina*. Barnaul: Azbuka; 2022. P. 136–140. (In Russ.).
7. Yakubov V. V., Chernyagina O. A. Katalog flory Kamchatki (sosudistye rasteniya) = [Catalog of Kamchatka flora (vascular plants)]. Petropavlovsk-Kamchatskii: Kamchatpress; 2004. 165 p. (In Russ.).
8. Nechaev A. A. Vidovoi sostav i resursnye kharakteristiki dikorastushchikh s"edobnykh yagodnykh rasteniy rossiiskogo Dal'nego Vostoka = [Wild edible honeysuckle in the far east: species composition, distribution, resources, reclamation]. *Use and reproduction of forest resources in the Far East*. Proceedings. Khabarovsk: Far Eastern Forestry Research Institute; 2016. Iss. 39. P. 105–125. (In Russ.).
9. Eremin G.V., Dubravina I.V., Kovalenko N.N., Gasanova T.A. Predvaritel'naya selektsiya plodovykh kul'tur: monografiya = [Preliminary selection of fruit crops: monograph]. Krasnodar: KubGAU; 2015. 335 p. (In Russ.).
10. Petrusha E.N., Rusakova E.A. Geneticheskoe raznoobrazie zhimolosti kamchatskoi kak istochnik selektsii na produktivnost' i kachestvo plodov = [Genetic diversity of Kamchatka honeysuckle as a source of breeding for productivity and quality of berries]. *Contemporary Horticulture*. 2023;(3):27–34. (In Russ.). DOI: 10.52415/23126701\_2023\_0304.

Научная статья  
УДК 633.2.031/.033(571.64)  
DOI: 10.31857/S0869769824040119  
EDN: IQDBFI

## Однолетние кормовые фитоценозы как звенья технологического конвейера в условиях острова Сахалин

В.А. Чувиллина

*Вера Алексеевна Чувиллина*

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник  
Сахалинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства –  
филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт  
генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова», Южно-Сахалинск, Россия  
solovushka.06@mail.ru  
<http://orcid.org/0000-0003-0180-1849>

**Аннотация.** В статье названы основные причины недостаточной обеспеченности кормами высокопродуктивного животноводства в островном регионе (о-в Сахалин). Предложены пути перехода на новый уровень развития адаптивного кормопроизводства на основе имеющихся научных разработок в Сахалинском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (СахНИИСХ – филиал ВИР), результатов агроэкологического испытания различных видов и сортов однолетних кормовых культур с разными сроками созревания, усовершенствованных технологических приемов возделывания наиболее перспективных фитоценозов в чистом виде и травосмесях в основных, промежуточных и поукосных посевах. Впервые в условиях муссонного климата разработана технологическая схема бесперебойного поступления кормовой массы однолетних фитоценозов для организации зеленого (сырьевого) конвейера в течение летне-осеннего периода для устойчивого производства высококачественных объемистых кормов. Предлагаемый к возделыванию комплекс кормовых культур характеризуется не только разнообразием использования и высокой продуктивностью (20–60 т/га зеленой массы, 4–12 т/га сухого вещества), но также способностью продлить период функционирования зеленого (сырьевого) конвейера в среднем до 120–125 дней. Совершенствование структуры укосных площадей кормовых культур гарантирует производство высококачественных кормов с питательностью 1 кг сухого вещества не ниже 9–10 МДж обменной энергии и содержанием сырого протеина 13–14%.

**Ключевые слова:** кормопроизводство, зеленый (сырьевой) конвейер, однолетние, чистые, смешанные фитоценозы, основные, промежуточные, поукосные посевы, технологическая схема

**Для цитирования:** Чувиллина В.А. Однолетние кормовые фитоценозы как звенья технологического конвейера в условиях острова Сахалин // Вестн. ДВО РАН. 2024. № 4. С. 134–144.  
<http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040119>

# Annual forage phytocenoses as links in the technological conveyor in the conditions of Sakhalin Island

V.A. Chuvilina

*Vera A. Chuvilina*

Candidate of Sciences in Agriculture, Leading Researcher  
Sakhalin Research Institute of Agriculture – branch of the Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after. N.I. Vavilov, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia  
solovushka.06@mail.ru  
<http://orcid.org/0000-0003-0180-1849>

**Abstract.** The article identifies the main reasons for the insufficient supply of feed for highly productive livestock farming in the island region (Sakhalin Island). Ways have been proposed to transition to a new level of development of adaptive feed production based on existing scientific developments at Sakhalin Research Institute of Agriculture – branch of the Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after. N.I. Vavilov (SakhNIISKh – a branch of VIR), the results of agroecological testing of various types and varieties of annual forage crops with different ripening periods, improved technological methods for cultivating the most promising phytocenoses in their pure form and grass mixtures in the main, intermediate and mowing crops. For the first time in a monsoon climate, a technological scheme for the uninterrupted supply of feed mass from annual phytocenoses has been developed to organize a green (raw material) conveyor during the summer-autumn period for the sustainable production of high-quality bulk feed. The complex of forage crops proposed for cultivation is characterized not only by a variety of uses and high productivity (20–60 t/ha of green mass, 4–12 t/ha of dry matter), but also by the ability to extend the period of operation of the green (raw material) conveyor to an average of 120–125 days. Improving the structure of the mowing areas of forage crops guarantees the production of high-quality feed with a nutritional value of 1 kg of dry matter not lower than 9–10 MJ of metabolizable energy and a crude protein content of 13–14%.

**Keywords:** fodder production, green (raw material) conveyor, annual, pure, mixed phytocenoses, main, intermediate, mowing crops, technological scheme

**For citation:** Chuvilina V.A. Annual forage phytocenoses as links in the technological conveyor in the conditions of Sakhalin Island. *Vestnik of the FEB RAS*. 2024;(4):134–144. (In Russ.).  
<http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040119>

## Введение

Для стабилизации и дальнейшего развития животноводства в современных хозяйственных, экономических и изменяющихся природно-климатических условиях создание кормовой базы остается по-прежнему приоритетным, но имеет свои региональные особенности [1, 2].

В Сахалинской области одним из направлений сельскохозяйственного производства является молочное скотоводство, для ускоренного и стабильного развития которого важное значение приобретает организация адаптивного кормопроизводства [3].

При создании устойчивой кормовой базы необходимо использовать не только традиционный набор районированных кормовых культур, но и расширять ассортимент за счет интродукции новых видов и сортов, способных с максимальной эффективностью использовать биоклиматический потенциал территории [4–6].

Неотъемлемой частью является также разработка ресурсосберегающих технологий перспективных фитоценозов, обеспечивающих гарантированное производство высокока-

качественных кормов с обменной энергией 9–10 МДж/кг сухого вещества и содержанием сырого протеина 13–14% [7–9].

Традиционными способами улучшения обеспеченности животноводства качественными кормами, снижения затрат, удешевления продукции является постоянное совершенствование структуры посевных площадей (в частности, кормового клина), введение севооборотов с высокой насыщенностью многолетними и однолетними травами, повышение удельного веса бобового компонента, как самого низкзатратного, возделывание высокопродуктивных фитоценозов в чистом виде и в составе травосмесей [6, 9, 10].

Еще одним способом совершенствования кормовой базы является интенсивное использование кормовой площади посредством возделывания как можно более широкого набора кормовых культур в системе технологических конвейеров (зеленого и сырьевого) [11, 12].

Несмотря на определенные различия в цели использования, оба конвейера объединяет непрерывность поступления кормовой массы либо в период заготовки кормов, либо для кормления животных зеленой массой. Непрерывность достигается за счет проведения последовательной уборки различных по скороспелости видов и сортов кормовых культур, выращиваемых в основных, промежуточных и поукосных посевах [13, 14, 15].

На бесперебойную организацию поступления кормовой массы в сложных условиях муссонного климата о-ва Сахалин влияют не только современные экономические проблемы, связанные с обеспеченностью хозяйств пашней, техникой, удобрениями, семенами, трудовыми ресурсами, но и ограниченный видовой состав кормовых культур, низкое природное плодородие почв с тяжелым механическим составом, неоднородный рельеф, короткий вегетационный период, недостаток тепла, резкие перепады ночных и дневных температур, избыточное увлажнение и др. [3].

В связи с этим в СахНИИСХ – филиале ВИР проведены исследования, результаты которых могут быть основой для создания необходимого конвейерного бесперебойного поступления кормовой массы однолетних фитоценозов с середины июня до середины ноября. Это результаты агроэкологического испытания различных видов и сортов кормовых культур с разными сроками созревания [16–18], технологические приемы возделывания наиболее перспективных фитоценозов в чистом виде и травосмесях [19–22].

Цель исследований – выявление оптимальных однолетних фитоценозов в качестве звеньев научно обоснованной технологической схемы бесперебойного поступления кормовой массы для организации зеленого (сырьевого) конвейера в течение летне-осеннего периода в условиях муссонного климата о-ва Сахалин.

## **Условия, материалы и методы исследований**

Разработка технологической схемы зеленого (сырьевого) конвейера основывается на результатах серии опытов, проведенных в 2000–2022 гг. с однолетними культурами в моно- и поливидовых фитоценозах в основных, промежуточных и поукосных посевах, являющихся важными неотделимыми звеньями этой схемы.

Экспериментальные исследования проводили на землях СахНИИСХ – филиале ВИР по общепринятым методикам [23, 24].

Почва под опытами лугово-дерновая с разной степенью оглеения, старопахотная с неоднородным гранулометрическим составом (средне- и тяжелосуглинистая) и запасом питательных веществ. Агрохимические показатели зависели от места расположения опытов, культур-предшественников, года исследований, но в целом характеризовались кислой реакцией среды, высокой гидролитической кислотностью, низким содержанием минеральных форм азота, высоким – фосфора и калия.

Приемы возделывания кормовых культур соответствовали технологиям, разработанным в институте [25].

Островной регион относится к южно-таежной растительной зоне. Климат острова формируется под действием муссонов умеренных широт. Лето прохладное и относительно короткое со значительной облачностью и частыми туманами [26].

Тем не менее в целом гидротермические условия вегетационных периодов были благоприятными для роста и развития изучаемых фитоценозов и способствовали формированию высокого и качественного урожая кормовой массы.

## Результаты и обсуждение исследований

В результате исследований выявлено, что при выращивании основных кормовых культур можно организовать зеленый (сырьевой) конвейер двумя путями. Первый – это посев одной и той же культуры или травосмеси в разные сроки через определенные интервалы. В качестве однокомпонентного фитоценоза может быть использование однолетних культур – овса, райграса, рапса, люпина, имеющих короткий период от посева до фазы укосной спелости – 50–70 дней. В качестве смешанного однолетнего фитоценоза можно применять различные комбинации с овсом, ячменем, пшеницей, используя такие компоненты, как горох, вика, рапс, амарант, люпин. Период до фазы укосной спелости будет зависеть от цели использования и от качества кормовой массы (для получения протеина – упор на белковый компонент, для сухого вещества и сахаров – на злаковый компонент).

Такая организация конвейера возможна, однако она малоэффективна по продуктивности пашни, использованию вегетационного периода и тепла, по срокам поступления зеленой массы. При одноурожайном выращивании однолетних трав используется, как правило, не более 50% вегетационного периода и суммы активных температур, причем потери в зависимости от сроков сева неодинаковы. Примером могут служить результаты использования вегетационного периода овсяно-гороховой смеси в зависимости от срока посева и уборки (табл. 1).

Наступление оптимального срока уборки овсяно-виковой смеси будет примерно на неделю позже, чем овсяно-гороховой (при ориентировании на бобовый компонент). Если брать овес в чистом виде, то здесь доля использования вегетационного периода будет еще меньше, чем в травосмесях. К сожалению, горох, вика, даже рапс и овес не дают полноценной отавы, что приведет в конечном итоге к недобору максимально возможного выхода кормовой массы с единицы площади.

Таблица 1

**Использование вегетационного периода в зависимости от срока посева овсяно-гороховой смеси**

Срок посева	Количество дней			Сбор с 1 га, т/га		
	не используемых до посева	используемых для формирования урожая, % от общего количества*	не используемых до конца вегетации	зеленой массы	сухой массы	переваримого протеина
10 мая	4–5	42–48	92–83	25,2	3,9	0,43
20 мая	13–15	40–44	88–81	24,6	3,8	0,38
1 июня	26–28	36–41	81–73	23,0	4,2	0,45
10 июня	35–37	34–38	76–68	21,9	4,3	0,45
20 июня	45–47	33–38	67–58	24,7	4,3	0,42
1 июля	55–57	34–40	56–45	27,0	3,9	0,43

\* Первая цифра – при уборке в фазу начала колошения, вторая – в фазу полного колошения овса.

**Влияние сроков посева и уборки на продолжительность периода вегетации  
и продуктивность рапса ярового, т/га**

Срок уборки (фаза развития)	Срок посева (декада, месяц)						
	II.V	III.V	II.VI	I.VII	II.VII	III.VII	II.VIII
Продолжительность периода вегетации							
Посев–бутонизация	53	50	46	43	43	50	65
Посев–цветение	64	59	56	52	53	66	–
Посев–плодообразование	86	81	85	85	61	–	–
Зеленая масса							
Бутонизация	26,4	29,9	38,3	34,0	33,4	40,5	20,5
Цветение	34,1	38,2	44,8	39,1	37,6	42,6	–
Плодообразование	41,6	42,2	49,4	41,3	38,5	–	–
Сухое вещество							
Бутонизация	3,3	3,6	5,0	3,1	3,3	4,4	2,6
Цветение	4,1	4,3	5,6	4,5	4,1	6,6	–
Плодообразование	7,5	8,5	8,5	6,7	7,5	–	–
НСП <sub>05</sub> : бутонизация – 0,3; цветение – 0,5; плодообразование – 0,7 т/га							
Кормовые единицы							
Бутонизация	3,4	3,6	4,9	2,9	3,2	4,4	2,5
Цветение	4,2	4,2	5,4	4,3	4,0	6,7	–
Плодообразование	7,5	8,4	8,3	6,6	7,7	–	–
Сырой протеин							
Бутонизация	0,68	0,75	1,15	0,73	0,77	0,93	0,58
Цветение	0,80	0,92	0,98	0,95	0,81	1,25	–
Плодообразование	0,96	1,20	1,24	0,99	1,20	–	–

В табл. 2 представлена продолжительность периода вегетации и продуктивность рапса ярового в зависимости от сроков посева в качестве основного фитоценоза.

Продолжительность вегетационного периода, например рапса ярового, по фазам роста и развития в зависимости от срока посева соответствует: посев–бутонизация – от 43 до 65 дней, посев–цветение – от 52 до 66 дней, посев–плодообразование – от 61 до 86 дней. То есть период, занятый основной культурой, длится 60–90 дней, остальная часть вегетационного периода остается незадействованной.

В итоге это неэффективное использование вегетационного периода, гектара пашни, кроме того, в условиях поздней холодной весны ранние сроки посева сдвигаются, и продуктивность с майских–июньских посевов почти одинаковая и подходит одновременно. Это создает определенную аритмичность поступления кормовой массы.

Второй способ организации сырьевого конвейера при посеве основных культур заключается в подборе разных по скороспелости компонентов фитоценозов как из многолетних, так и однолетних трав.

Примером зеленого (сырьевого) конвейера из однолетних кормовых культур могут быть фитоценозы овса или ячменя с бобовым, капустным или амарантовым компонентом либо рапса ярового со злаковым и бобовым компонентом (овсом, ячменем, викой, горохом, амарантом и др.) (табл. 3).

При использовании такого подхода к организации зеленого (сырьевого) конвейера из однолетних трав поступление кормовой массы происходит более равномерно, чем в первом варианте. Однако продуктивность пашни и использование вегетационного периода в этом случае тоже не совсем эффективны из-за слабой отавности однолетних кормовых культур.

Для повышения эффективности использования пашни важная роль принадлежит промежуточным посевам кормовых культур. И это еще один важный прием в организации зеленого (сырьевого) конвейера в кормопроизводстве островного региона. Назначение промежуточных культур – получение дополнительного урожая кормовой массы за счет почвенно-климатических ресурсов, не использованных основными культурами с этой же площади. Это важнейший резерв увеличения кормов без расширения площади пашни под кормовые культуры.

Из всех промежуточных культур озимые (рожь, тритикале, пшеница, ячмень) дают наиболее высокие и стабильные урожаи. Ценность этих культур для Сахалина в том, что они рано формируют урожай независимо от значительных температурных колебаний в мае–июне. Скашивать озимую рожь нужно до цветения (можно в ранние сроки – 10–20 июня в фазу трубкования, оптимальные – 20–25 июня в фазу колошения и поздние сроки – 25 июня – 5 июля в фазу полного колошения – конца колошения). Формирование кормовой массы тритикале озимой происходит на 1,5–2 недели позже, чем озимой ржи.

Дальнейшее использование пашни может идти тремя путями: 1) получение отавы; 2) посев основной поукосной культуры (любой с коротким вегетационным периодом, при ранних

Таблица 3

**Кормовая продуктивность первого укоса однолетних кормовых культур в чистых и смешанных посевах (в период колошения мятликовых, цветения бобовых и капустных)**

Культура	Период вегетации, дни	Продуктивность, т/га			
		зеленой массы	сухого вещества	к. ед.	сырого протеина
Овес	62	24,5	4,3	3,6	0,60
Ячмень	57	22,4	5,2	4,8	0,71
Горох	60	21,9	3,8	3,4	0,68
Рапс	63	36,2	5,3	5,1	0,98
Овес + горох	60	28,4	5,0	4,4	0,79
Овес + вика	65	22,2	4,8	4,4	0,75
Овес + рапс	63	30,6	5,3	4,8	0,74
Ячмень + рапс	63	29,1	5,1	4,8	0,83
Горох + рапс	63	34,6	5,0	4,6	0,94
Овес + горох + + рапс	63	37,9	6,0	5,5	1,10
Пайза	80	28,5	5,3	4,5	0,80
Суданская трава	70	39,0	7,8	5,3	0,86
Кукуруза	90	51,3	8,9	7,4	0,67
НСР <sub>05</sub>	–	–	1,3	–	–

Таблица 4

**Продуктивность гектара пашни при посеве кормовых культур  
с получением одного и двух урожаев за вегетационный период с использованием рапса яровой**

Основная и поукосная кормовая культура	Сбор с 1 га, т			
	зеленой массы	сухого вещества	к. ед.	сырого протеина
Озимая рожь	34,9	7,0	6,2	0,99
Овес + горох	28,0	5,0	4,6	0,94
Озимая рожь + рапс яровой (поукосно)	73,5	12,0	11,2	1,86
Овсяно гороховая смесь + рапс яровой (поукосно)	60,4	8,3	8,0	1,76
Рапс яровой (укос + отава)	46,0	5,2	5,4	1,03
НСР <sub>05</sub>	–	1,3	–	–

сроках уборки можно даже посеять на зеленый корм теплолюбивые кукурузу, суданскую траву, пайзу); 3) возможный подсев однолетки в стерню с отавой ржи или тритикале.

При подборе основных поукосных культур для посева после промежуточных озимых следует четко соблюдать принцип: чем раньше скашиваются озимые, тем более теплолюбивую и позднеспелую культуру целесообразнее высевать (например, суданку, пайзу, кукурузу, злаково-бобовые смеси). И наоборот, при более позднем скашивании наилучшие результаты получаются при посеве раннеспелой и холодостойкой культуры (например, капустных – рапса, редьки масличной, сурепицы, горчицы белой, рапсо-овсяно-бобовых смесей, райграса однолетнего).

Таблица 5

**Технологическая схема зеленого (сырьевого) конвейера  
из однолетних фитоценозов в условиях острова Сахалин**

Фитоценоз (в чистом и смешанном виде)	Срок наступления укосной спелости	Сбор с 1 га, т	
		зеленой массы	сухого вещества
Озимая рожь	10.06–30.06	32,0–35,5	4,1–8,6
Озимая тритикале	20.06–10.07	34,3–37,8	5,6–9,2
Райграсс (1-й срок посева)	05.07–20.07	23,2	4,5
Овес + горох (вика) (1-й срок посева)	15.07–25.07	28,4	5,0
Овес + горох(вика) + рапс (1-й срок посева)	20.07–30.07	37,9	6,0
Райграсс (отава)	15.08–30.08	20,1	4,0
Суданская трава (поукосно)	20.08–10.09	30,3–33,1	5,9–6,8
Кукуруза	25.08–30.09	52,3–61,1	8,9–12,0
Пайза	10.09–20.09	28,5	5,3
Овес + рапс (поукосно или повторно)	10.09–10.10	30,6	5,3
Рапс яровой (поукосно)	10.09–10.10	36,2	5,3
Овес + горох (вика) (поукосно или повторно)	25.09–15.10	28,4	5,0

Примером повышения продуктивности пашни может быть использование в качестве основной и промежуточной культур соответственно овсяно-гороховой смеси и озимой ржи, поукосной – рапса ярового (табл. 4).

Виды кормовых культур в повторных посевах практически те же, за исключением теплолюбивых. Здесь главным является то, что повторный посев в условиях муссонного климата о-ва Сахалин должен быть осуществлен до 1 августа. Соответственно, и уборка первой – основной культуры или смешанного фитоценоза должна быть проведена в ранние сроки и за короткое время (15–25 июля). Технология выращивания повторной культуры практически не отличается от технологии первой культуры.

Таким образом, на основании имеющихся многочисленных научных исследований, проведенных в СахНИИСХ – филиале ВИР, можно составить технологическую схему зеленого (сырьевого) конвейера из основных, поукосных и промежуточных однолетних кормовых культур для условий муссонного климата островного региона (табл. 5).

## Заключение

Совершенствование структуры укосных площадей кормовых культур в виде разработанного технологического конвейера в островном регионе (о-в Сахалин) – это приоритетное направление развития полевого адаптивного кормопроизводства как на современном этапе, так и на перспективу; служит основой стабилизации кормовой базы для высокопродуктивного животноводства молочного направления.

Ценность фитоценозов кормовых культур, предлагаемых к возделыванию в сложных почвенно-климатических условиях Сахалина, определяется не только их высокой продуктивностью (2–60 т/га зеленой массы, 4–12 т/га сухого вещества) и питательностью (не менее 9–10 МДж/кг СВ обменной энергии, 13–14% сырого протеина), разнообразием использования, но и тем, что они позволяют продлить период функционирования зеленого (сырьевого) конвейера в среднем до 120–125 дней.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Косолапов В.М., Чернявских В.И. Кормопроизводство: состояние, проблемы и роль ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» в их решении // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 4. С. 5–14. DOI: 10.53859/02352451\_2022\_36\_4\_5.
2. Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. Районирование Дальнего Востока для оценки перспектив развития сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 4. С. 61–65. DOI: 10.53859/02352451\_2022\_36\_4\_61.
3. Чувилина В.А. Состояние кормопроизводства на Сахалине: проблемы и перспективы развития // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 11 (53), ч. 5. С. 57–60.
4. Косолапов В.М., Чернявских В.И., Костенко С.И. Новые сорта кормовых культур и технологии для сельского хозяйства России // Кормопроизводство. 2021. № 6. С. 22–26.
5. Toward new opportunities in the study of the biological potential of plants / V. Yu. Rud, V.M. Kosolapov, W. Hogland et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciencethis . 2022. Vol. 1096 (1). 012026.
6. Кутузова А.А., Шпаков А.С., Косолапов В.М. и др. Состояние и перспективы развития кормопроизводства в Нечерноземной зоне РФ // Кормопроизводство. 2021. № 2. С. 3–9.
7. Kutuzova A. A., Kosolapov V. M., Privalova K. N. et al. Agro-energy efficiency of improved technologies for the production of pasture fodder in upland meadows of the Central non-Chernozem region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciencethis. 2021. Vol. 901 (1). 012048.
8. Kutuzova A. A., Kosolapov V. M., Privalova K. N. et al. Agro-energetic efficiency of improved technologies of pasture fodder production in dry grasslands of the Non-Chernozem region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciencethis. 2021. Vol. 901 (1). 012015.

9. Субботин А.Г., Нарушев В.Б., Солодовников А.П. и др. Создание высокопродуктивных кормовых агроценозов в условиях Нижнего Поволжья. Кормопроизводство. 2019. № 5. С. 8–12.
10. Дуборезов И.В., Дуборезов В.М., Андреев И.В. Урожайность и питательность двух- и трех-компонентных смесей из вики, гороха и овса // Кормопроизводство. 2018. № 11. С. 15–22.
11. Дуборезов И.В., Виноградов В.Н., Дуборезов В.М. Зеленый конвейер для молочного скота в условиях Нечерноземной зоны // Молочное и мясное скотоводство. 2017. № 7. С. 22–25.
12. Reheul D., Cougnon M., Kayser M. et al. Sustainable intensification in the production of grass and forage crops in the Low Countries of north-west Europe. Grass and Forage Sciencethis. 2017. Vol. 72 (3). P. 369–381.
13. Морозов Д.П. Использование промежуточных посевов и организация сырьевого конвейера однолетних трав в условиях Сахалинской области: методические рекомендации. Новосибирск, 1984. 72 с.
14. Андреева О.Т., Пилипенко Н.Г., Сидорова Л.П. и др. Создание агроценозов кормовых культур для летнего и позднего использования в лесостепной зоне Забайкальского края. Кормопроизводство. 2018. № 9. С. 9–12.
15. Артемьев А.А., Гурьянов А.М., Капитанов М.П. и др. Экономическая и энергетическая оценка возделывания промежуточных культур в поукосных и пожнивных посевах. Кормопроизводство. 2018. № 10. С. 11–15.
16. Таранич Ю.В., Чувилина В.А. Агрэкологическое сортоиспытание суданской травы в условиях юга Сахалина // Кормопроизводство. 2015. № 8. С. 28–31.
17. Чувилина В.А. Продуктивность и питательная ценность кормовой массы фитоценозов с рапсом яровым в условиях муссонного климата Сахалина // Кормопроизводство. 2012. № 12. С. 40–42.
18. Чувилина В.А. Перспективы интродукции кукурузы в условиях муссонного климата Сахалина // Вестн. ДВО РАН. 2018. № 3 (199). С. 50–58.
19. Фролова Л.В. Продуктивность тритикале озимого при использовании на зеленый корм // Кормопроизводство. 2002. № 8. С. 22–23.
20. Чувилина В.А. Энергетическая эффективность возделывания однолетних кормовых фитоценозов в условиях о. Сахалин // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 6–1 (96). С. 164–168.
21. Таранич Ю.В., Чувилина В.А. Разработка приемов возделывания суданской травы в моно- и поливидовых фитоценозах в условиях Сахалина // Дальневосточный аграрный вестник. 2015. № 1 (33). С. 48–51.
22. Карбанова С.А., Чувилина В.А. Продуктивность и питательная ценность кормовой массы кукурузы в чистых и смешанных посевах в условиях юга Сахалина // Агротехнологии в мировом земледелии. Глобальные тенденции и региональные особенности: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Усурийск: ФГБОУ ВПО «Приморская ГСХА», 2014. С. 66–69.
23. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта результатов исследований (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
24. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: ВНИИК, 1983. 197 с.
25. Система земледелия Сахалинской области / под общ. ред. В.А. Чувилиной. Воронеж: Ковчег, 2017. 396 с.
26. Агроклиматические ресурсы Сахалинской области. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 104 с.

## REFERENCES

1. Kosolapov V.M., Chernyavskikh V.I. Feedproduction: state, problems and role of the FNTs “VIK im. V.R. Williams” in their solution. *Achievements of Science and Technology of APK*. 2022;36(4):5–14. (In Russ.).  
DOI: 10.53859/02352451\_2022\_36\_4\_5.

2. Trofimov I.A., Trofimova L.S., Yakovleva E.P. Regionalization of the Far East to assess the prospects for the development of agriculture. *Achievements of Science and Technology of APK*. 2022;36(4):61–65. (In Russ.). DOI: 10.53859/02352451\_2022\_36\_4\_61.
3. Chuvilina V.A. State of fodder production on Sakhalin: problems and development prospects. *International Scientific Research Journal*. 2016;53(11):57–60. (In Russ.).
4. Kosolapov V.M., Chernyavskikh V.I., Kostenko S.I. New varieties of fodder crops and technologies for Russian agriculture. *Kormoproizvodstvo*. 2021;(6):22–26. (In Russ.).
5. Rud V. Yu., Kosolapov V.M., Hogland W. et al. Toward new opportunities in the study of the biological potential of plants. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;1096(1). 012026.
6. Kutuzova A.A., Shpakov A.S., Kosolapov V.M. et al. Status and prospects for the development of fodder production in the Nonchernozem zone of the Russian Federation. *Kormoproizvodstvo*. 2021;(2):3–9. (In Russ.).
7. Kutuzova A.A., Kosolapov V.M., Privalova K.N. et al. Agro-energetic efficiency of improved technologies of pasture fodder production in dry grasslands of the Non-Chernozem region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;901(1). 012015.
8. Kutuzova A.A., Kosolapov V.M., Privalova K.N. et al. Agro-energy efficiency of improved technologies for the production of pasture fodder in upland meadows of the Central non-Chernozem region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;901(1). 012048.
9. Subbotin A.G., Narushev V.B., Solodovnikov A.P. et al. Creation of highly productive fodder agrocenoses in the conditions of the Lower Volga region. *Kormoproizvodstvo*. 2019;(5):8–12. (In Russ.).
10. Duborezov I.V., Duborezov V.M., Andreev I.V. Productivity and nutritional value of two- and three-component mixtures from vetch, peas and oats. *Kormoproizvodstvo*. 2018;(11):15–22. (In Russ.).
11. Duborezov I.V., Vinogradov V.N., Duborezov V.M. Green conveyor for dairy cattle in the Non-Chernozem zone. *Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2017;(7):22–25. (In Russ.).
12. Reheul D., Cougnon M., Kayser M. et al. Sustainable intensification in the production of grass and forage crops in the Low Countries of north-west Europe. *Grass and Forage Science*. 2017;72(3):369–381.
13. Morozov D.P. The use of intercrops and the organization of a raw material conveyor of annual grasses in the conditions of the Sakhalin region: methodological recommendations. Novosibirsk; 1984. 72 p. (In Russ.).
14. Andreeva O.T., Pilipenko N.G., Sidorova L.P. et al. Creation of fodder agrocenoses for summer and late autumn use in the forest-steppe zone of the Trans-Baikal Territory. *Kormoproizvodstvo*. 2018;(9):9–12. (In Russ.).
15. Artemyev A.A., Gur'yanov A.M., Kapitanov M.P. et al. Economic and energy assessment of catch crop cultivation in hay and stubble crops. *Kormoproizvodstvo*. 2018;(10):11–15. (In Russ.).
16. Taranich Yu.V., Chuvilina V.A. Agro-ecological variety testing of Sudanese grass in the conditions of the south of Sakhalin. *Kormoproizvodstvo*. 2015;(8):28–31. (In Russ.).
17. Chuvilina V.A. Productivity and nutritional value of the fodder mass of phytocenoses with spring rapeseed in the monsoon climate of Sakhalin. *Kormoproizvodstvo*. 2012;(12):40–42. (In Russ.).
18. Chuvilina V.A. Prospects for the introduction of corn in the monsoon climate of Sakhalin. *Vestnik of the FEB RAS*. 2018;(3):50–58. (In Russ.).
19. Frolova L.V. Productivity of winter triticale when used as green fodder. *Kormoproizvodstvo*. 2002;(8):22–23. (In Russ.).
20. Chuvilina V.A. Energy efficiency of cultivation of annual forage phytocenoses in the conditions of the island. *Sakhalin. International Scientific Research Journal*. 2020;96(6–1):164–168. (In Russ.).
21. Taranich Yu.V., Chuvilina V.A. Development of methods for cultivating Sudanese grass in mono- and polycenoses in the conditions of Sakhalin. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2015;33(1):48–51. (In Russ.).
22. Karabanova S.A., Chuvilina V.A. Productivity and nutritional value of corn feed mass in pure and mixed crops under the conditions of the south of Sakhalin. In: *Agrotechnologies in world agriculture. Global trends and regional features*: collection. mater. All-Russian scientific-practical conf. with international

participation. Ussuriysk: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education “Primorskaya State Agricultural Academy”; 2014. P. 66–69. (In Russ.).

23. Dospheov B. A. Methodology of field experience of research results (with the basics of statistical processing of research results). 5th ed., revised. and additional. M.: Alliance; 2014. 351 p. (In Russ.).

24. Guidelines for conducting field experiments with forage crops. M.: VNIIC; 1983. 197 p. (In Russ.).

25. Chuvilina V. A. (ed.). Agriculture system of the Sakhalin region. Voronezh: Publishing House “Kovcheg” LLC; 2017. 396 p. (In Russ.).

26. Agroclimatic resources of the Sakhalin region. L.: Gidrometeoizdat; 1973. 104 p. (In Russ.).

Научная статья  
УДК 616:578.828.11:636.2:574.9  
DOI: 10.31857/S0869769824040124  
EDN: IQAFQO

## Лейкоз крупного рогатого скота в Дальневосточном федеральном округе

М. Е. Остякова✉, И. С. Шульга, С. А. Щербинина

*Марина Евгеньевна Остякова*

доктор биологических наук, доцент, директор  
Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт,  
Благовещенск, Россия  
dalznividv@mail.ru  
<http://orcid.org/0000-0002-2996-0991>

*Ирина Станиславовна Шульга*

кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе  
Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт,  
Благовещенск, Россия  
dalznivilabmicro@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2514-3879>

*Светлана Алексеевна Щербинина*

научный сотрудник  
Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт,  
Благовещенск, Россия  
dalznividv@mail.ru  
<http://orcid.org/0000-0003-2262-540X>

**Аннотация.** В 2021–2022 гг. проводился мониторинг заболеваемости и распространенности лейкоза крупного рогатого скота в юго-восточных регионах Дальневосточного федерального округа. В 2021 г. лейкоз крупного рогатого скота был выявлен в Амурской и Магаданской областях, Приморском и Хабаровском краях, Еврейской автономной области, Республиках Бурятия и Саха (Якутия), а в 2022 г. к перечисленным регионам добавился Забайкальский край. В Магаданской области в 2022 г. заболевание не было зарегистрировано. Заболеваемость лейкозом крупного рогатого скота (на 1 тыс. голов) в 2022 г. снизилась на 25,0% (в сравнении с 2021 г.). Темп снижения заболевшего лейкозом крупного рогатого скота в 2021 г. составил 3,7%, в 2022 г. – 1,9%. В Еврейской автономной области в 2022 г. зарегистрировано 40 неблагополучных пунктов по лейкозу крупного рогатого скота. К концу отчетного периода было оздоровлено пять неблагополучных пунктов, экстенсивность проявления эпизоотического процесса лейкоза крупного рогатого скота снизилась на 4,5%. В Сахалинской области лейкоз крупного рогатого скота в 2021–2022 гг. не диагностировался.

**Ключевые слова:** лейкоз крупного рогатого скота, эпизоотическая ситуация, диагностические мероприятия

**Для цитирования:** Остякова М.Е., Шульга И.С., Щербинина С.А. Лейкоз крупного рогатого скота в Дальневосточном федеральном округе // Вестн. ДВО РАН. 2024. № 4. С. 145–150.  
<http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040124>

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ ДальЗНИВИ по теме FNGS-2022-0002 «Теоретическое обоснование и разработка средств, методов и способов диагностики, терапии и профилактики наиболее распространенных и экономически значимых болезней животных, птицы и пчел различной этиологии».

Original article

## Leukemia of cattle in the Far Eastern Federal District

M.E. Ostyakova, I.S. Shulga, S.A. Shcherbinina

*Marina E. Ostyakova*

Doctor of Sciences in Biology, Associate Professor, Director  
Far East Zone Research Veterinary Institute, Blagoveshchensk, Russia  
[dalznividv@mail.ru](mailto:dalznividv@mail.ru)  
<http://orcid.org/0000-0002-2996-0991>

*Irina S. Shulga*

Candidate of Sciences in Biology, Deputy Director for Scientific Work  
Far East Zone Research Veterinary Institute, Blagoveshchensk, Russia  
[dalznivilabmicro@mail.ru](mailto:dalznivilabmicro@mail.ru)  
<https://orcid.org/0000-0003-2514-3879>

*Svetlana A. Shcherbinina*

Researcher  
Far East Zone Research Veterinary Institute, Blagoveshchensk, Russia  
[dalznividv@mail.ru](mailto:dalznividv@mail.ru)  
<http://orcid.org/0000-0003-2262-540X>

**Abstract.** In 2021–2022, the incidence and prevalence of bovine leukemia was monitored in the southeastern regions of the Far Eastern Federal District. In the region, in 2021, bovine leukemia was detected in the Amur and Magadan regions, Primorsky and Khabarovsk Territories, the Jewish Autonomous Region, the Republics of Buryatia and Sakha (Yakutia), and in 2022 the Trans-Baikal Territory was added to the listed regions. The disease was not registered in the Magadan region in 2022. The incidence of leukemia in cattle (per 1 thousand heads) in 2022 decreased by 25.0% (compared to 2021). The rate of decrease in bovine leukemia in 2021 was 3.7%, in 2022 1.9%. In the Jewish Autonomous Region in 2022, 40 unfavorable points for bovine leukemia were registered. By the end of the reporting period, five unfavorable points had been rehabilitated, the intensity of the epizootic process of bovine leukemia decreased by 4.5%. In the Sakhalin region, bovine leukemia was not diagnosed in 2021–2022.

**Keywords:** bovine leukemia, epizootic situation, diagnostic measures

**For citation:** Ostyakova M.E., Shulga I.S., Shcherbinina S.A. Leukemia of cattle in the Far Eastern Federal District. *Vestnik of the FEB RAS*. 2024;(4):145–150. (In Russ.).  
<http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040124>

**Funding.** The work was carried out within the framework of the state assignment of the Federal State Budgetary Scientific Institution Far East Zone Research Veterinary Institute on the topic FNGS-2022-0002 “Theoretical justification and development of tools, methods and methods for the diagnosis, therapy and prevention of the most common and economically significant diseases of animals, poultry and bees of various etiologies”.

## Введение

Лейкоз – хронически протекающая инфекционная болезнь крупного рогатого скота с длительным латентным периодом, вызываемая онкогенным РНК-содержащим вирусом семейства *Retroviridae*, рода *Deltaretrovirus*. Заболевание характеризуется патологически усиленной пролиферацией лимфоидных клеток в местах их возникновения и за их пределами, выбросе этих клеток в циркулирующую кровь, появлении злокачественных образований в кроветворных и других органах и тканях, что приводит не только к морфологическим, но и метаболическим изменениям [1].

При проведении диагностики лейкоза крупного рогатого скота наиболее эффективным является комплексное использование методов реакции иммунодиффузии (РИД), иммуноферментного анализа (ИФА) и полимеразной цепной реакции (ПЦР), что не всегда возможно осуществить в ветеринарной лаборатории. Применение в плане оздоровительных мероприятий преимущественно только метода РИД-диагностики не может обеспечить наиболее полного и достоверного определения уровня инфицированности поголовья крупного рогатого скота [2].

Вероятность циркуляции вируса лейкоза крупного рогатого скота (ВЛКРС) в популяции восприимчивых животных существует, поэтому актуален постоянный мониторинг эпизоотической ситуации по ВЛКРС как в целом в стране, так и в отдельных регионах для выработки системы и своевременной корректировки плана профилактических мероприятий, которые должны привести к оздоровлению неблагополучных хозяйств от указанной болезни.

Цель данной статьи – изложение результатов анализа эпизоотической ситуации по лейкозу крупного рогатого скота в юго-восточных субъектах Дальневосточного федерального округа.

## Материалы и методы исследований

Материалом для проведения исследований служила ветеринарная отчетность (форма № 1-вет – сведения о заразных болезнях) Агентства ветеринарии и племенного животноводства Сахалинской области, Департамента ветеринарии при правительстве Еврейской автономной области, Управления ветеринарии правительства Хабаровского края за 2021–2022 гг. Сведения о поголовье крупного рогатого скота получены на сайте Федеральной службы государственной статистики.

## Результаты исследований

В Российской Федерации в 2021 г. ситуация по лейкозу крупного рогатого скота отмечалась как эндемичная, очаговая инцидентность, составила  $n(18) = 100$ . В III квартале было выявлено 217 неблагополучных пунктов, а в IV квартале в – 7,9 раз больше (1709 неблагополучных пунктов). По данным Департамента ветеринарии МСХ, в соответствии с правилами по лейкозу крупного рогатого скота (от 24.03.2021 г. № 156)<sup>1</sup> неблагополучные пункты диагностировались там, где выявляли РИД-положительных животных, поэтому произошел скачок зарегистрированных неблагополучных пунктов в IV квартале 2021 г. [3, 4].

В 2022 г. ситуация по лейкозу крупного рогатого скота оставалась эндемичной, очаговая инцидентность снизилась на 50,7%, составив  $n(19) = 50,7$ . Всего в 2022 г. зарегистрировано 6668 неблагополучных пунктов, в которых было 13618 тыс. гол.: I квартал – 3228 тыс. голов

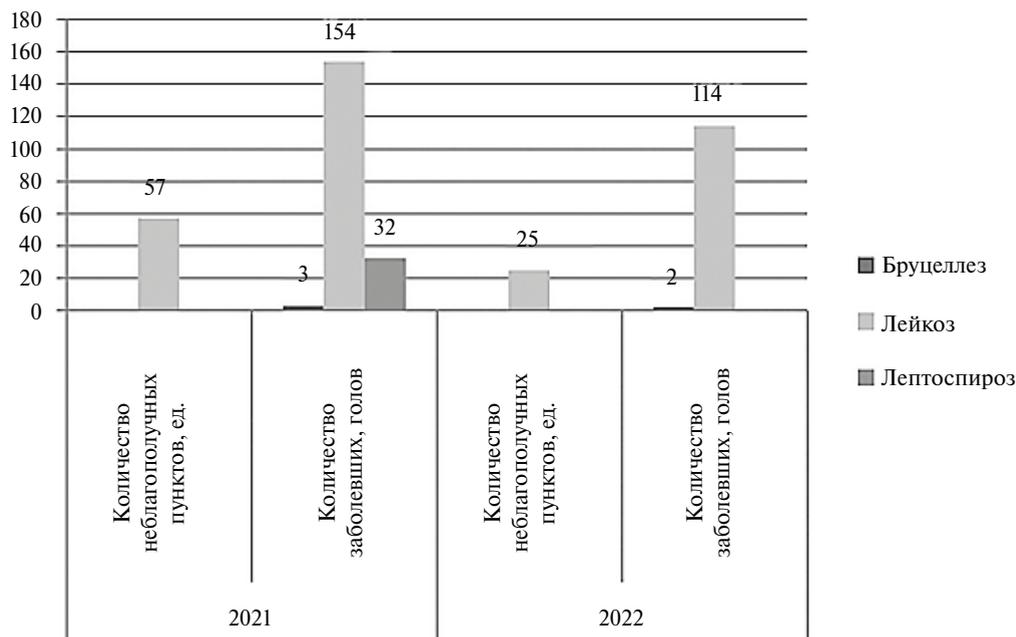
---

<sup>1</sup> Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 24 марта 2021 г. № 156 «Об утверждении Ветеринарных правил осуществления профилактических, диагностических, ограничительных и иных мероприятий, установления и отмены карантина и иных ограничений, направленных на предотвращение распространения и ликвидацию очагов лейкоза крупного рогатого скота». URL: <https://docs.cntd.ru/document/603433105> (дата обращения: 2.02.2024).

в 1061 неблагополучном пункте; II квартал – 4366 тыс. голов в 3421 неблагополучном пункте; III квартал – 1652 тыс. голов в 754 неблагополучных пунктах; IV квартал – 4372 тыс. голов в 1432 неблагополучных пунктах [3].

В Дальневосточном федеральном округе в 2021 г. заболевание диагностировалось в Амурской и Магаданской областях, Приморском и Хабаровском краях, Еврейской автономной области, Республиках Бурятия и Саха (Якутия). В 2022 г. к вышеперечисленным регионам добавился Забайкальский край. В Магаданской области в 2022 г. лейкоз не был выявлен.

В *Хабаровском крае* в 2021 г. было обнаружено восемь нозологических единиц инфекционных болезней, в том числе у крупного рогатого скота: лейкоз, бруцеллез и лептоспироз. В 2022 г. было зафиксировано шесть нозологических единиц инфекционных заболеваний, в том числе у крупного рогатого скота: лейкоз и бруцеллез (см. рисунок).



Нозологический профиль инфекционных болезней крупного рогатого скота в Хабаровском крае, 2021–2022 гг.

В 2022 г. (в сравнении с 2021 г.) уменьшилось количество инфицированного вирусом лейкоза крупного рогатого скота и количество неблагополучных пунктов.

Так как в 2022 г. поголовье крупного рогатого скота снизилось на 0,7% (в сравнении с 2021 г.) и составило 12,887 тыс. голов, то динамику инфекционного процесса изучали в перерасчете на 1 тыс. голов (см. таблицу).

В Хабаровском крае заболеваемость лейкозом крупного рогатого скота (на 1 тыс. голов) в 2022 г. снизилась на 25,0% (в сравнении с 2021 г.). Заболеваемость лейкозом крупного рогатого скота упала в 2021 г. на 3,7%, в 2022 г. – на 1,9%, что указывало на эффективность проводимых противозoonотических мероприятий.

В *Еврейской автономной области* в 2021–2022 гг. лейкоз крупного рогатого скота не был зарегистрирован, но область относится к регионам, в которых имеются нездоровленные очаги инфекции [3, 4]. В 2022 г. здесь было выявлено 40 неблагополучных пунктов (131 очаг заболевания) по ВЛКРС. Экстенсивность проявления эпизоотического процесса ВЛКРС в 2022 г. была на уровне 35,7%. В 40 неблагополучных пунктах были установлены ограничительные мероприятия (карантин). На конец отчетного периода осталось 35 неблагополучных пунктов, т.е. было оздоровлено пять неблагополучных пунктов

**Динамический ряд абсолютного прироста (снижения) показателей заболеваемости животных ВЛКРС в Хабаровском крае, 2021–2022 гг.**

Год	Поголовье крупного рогатого скота, тыс. голов	Число больных животных, тыс. гол.	Заболеваемость на 1 тыс. гол	Абсолютный прирост (снижение)	Темп прироста (снижения), %
2020	14,700	0,328	0,022	0	0
2021	12,980	0,154	0,012	-0,01	-3,7
2022	12,887	0,114	0,009	-0,003	-1,9

Примечание. Абсолютный прирост (снижение) определяется путем вычитания последующего члена ряда от предыдущего (пример:  $0,012 - 0,022 = -0,01$ ), темп прироста (снижения) определяется процентным отношением абсолютного прироста (снижения) к сравниваемому показателю (пример:  $-0,012 \times 100/0,328 = -3,7$ ).

(29 очагов). Экстенсивность проявления эпизоотического процесса ВЛКРС по показателю неблагополучия снизилась на 4,5%, составив 31,3%.

В Сахалинской области в 2021–2022 гг. лейкоз крупного рогатого скота, не диагностировался.

### Заключение

В Российской Федерации ситуация по лейкозу крупного рогатого скота определялась как эндемичная, с очаговой инцидентностью  $n(18) = 100$  и  $n(19) = 50,7$  соответственно в 2021 и 2022 г.

В Дальневосточном федеральном округе в 2021 г. лейкоз крупного рогатого скота был выявлен в Амурской и Магаданской областях, Приморском и Хабаровском краях, Еврейской автономной области, Республиках Бурятия и Саха (Якутия), а в 2022 г. к перечисленным регионам добавился Забайкальский край. В Магаданской области в 2022 г. заболевание не было зарегистрировано.

Заболеваемость лейкозом крупного рогатого скота (на 1 тыс. голов) в 2022 г. снизилась на 25,0% (в сравнении с 2021 г.). Темп снижения заболеваемости лейкозом крупного рогатого скота в 2021 г. был 3,7%, в 2022 гг. – 1,9%.

В Еврейской автономной области в 2022 г. зарегистрировано 40 неблагополучных пунктов по ВЛКРС. К концу отчетного периода было оздоровлено пять неблагополучных пунктов, экстенсивность проявления эпизоотического процесса лейкоза крупного рогатого скота снизилась на 4,5%.

В Сахалинской области ВЛКРС в 2021–2022 гг. лейкоз не диагностировался.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гулюкин М.И., Надточей Г.А., Гулюкин А.М. и др. К 130-летию вирусологии – исторические аспекты изучения вирусов, вызывающих инфекционные болезни у сельскохозяйственных животных // Ветеринария и кормление. 2023. № 1. С. 4–9. DOI: 10.30917/АТТ-VK-1814-9588-2023-1-1.
2. Пономарева И.С., Сычева М.В., Поляков М.А. и др. Эффективность диагностики лейкоза крупного рогатого скота методами РИД, ИФА и ПЦР в хозяйствах Оренбургской области // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 9. С. 134.
3. Эпизоотическая ситуация в Российской Федерации за 2021 г. URL: <https://fsvps.gov.ru/jepizooticheskaja-situacija/rossija/analiticheskij-ezhekvaralnyj-s-narastajushhim-itogom-otchet-pojepidsituacii-v-strane-po-dannym-departamenta-veterinarii-msh/> (дата обращения: 22.07.2024).
4. Эпизоотическая ситуация в Российской Федерации за 2022 г. URL: <https://fsvps.gov.ru/jepizooticheskaja-situacija/rossija/analiticheskij-ezhekvaralnyj-s-narastajushhim-itogom-otchet-pojepidsituacii-v-strane-po-dannym-departamenta-veterinarii-msh/> (дата обращения: 22.07.2024).

## REFERENCES

1. Gulyukin M.I., Nadtochei G.A., Gulyukin A.M. et al. K 130-letiyu virusologii – istoricheskie aspekty izucheniya virusov, vyzyvayushchikh infektsionnye bolezni u sel'skokhozyaistvennykh zivotnykh. *Veterinariya i Kormlenie*. 2023;(1):4–9. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-1-1.
2. Ponomareva I.S., Sycheva M.V., Polyakov M.A. et al. Ehffektivnost' diagnostiki leikoza krupnogo rogatogo skota metodami RID, IFA i PTSR v khozyaistvakh Orenburgskoi oblasti. *Sovremennye Naukoemkie Tekhnologii*. 2010;(9):134.
3. Ehpizooticheskaya situatsiya v Rossiiskoi Federatsii za 2021 g. URL: <https://fsvps.gov.ru/jepizooticheskaja-situacija/rossija/analiticheskij-ezhekvaralnyj-s-narastajushhim-itogom-otchet-po-jepidsituacii-v-strane-po-dannym-departamenta-veterinarii-msh/> (date of application: 22.07.2024).
4. Ehpizooticheskaya situatsiya v Rossiiskoi Federatsii za 2022 g. URL: <https://fsvps.gov.ru/jepizooticheskaja-situacija/rossija/analiticheskij-ezhekvaralnyj-s-narastajushhim-itogom-otchet-po-jepidsituacii-v-strane-po-dannym-departamenta-veterinarii-msh/> (date of application: 22.07.2024).

Научная статья  
УДК 619:616.995.1  
DOI: 10.31857/S0869769824040136  
EDN: IPXUWZ

## Особенности гельминтофауны крупного рогатого скота в весенне-летний период в условиях Амурской области

Г. А. Бондаренко✉, И. А. Соловьева, Т. И. Трухина

*Галина Анатольевна Бондаренко*

научный сотрудник

Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт,  
Благовещенск, Россия

[galy78@yandex.ru](mailto:galy78@yandex.ru)

<http://orcid.org/0000-0001-8641-2388>

*Ирина Александровна Соловьева*

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт,  
Благовещенск, Россия

[sia\\_storm@mail.ru](mailto:sia_storm@mail.ru)

<http://orcid.org/0000-0003-3946-4593>

*Тамара Ивановна Трухина*

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт,  
Благовещенск, Россия

[toma.trukhina@mail.ru](mailto:toma.trukhina@mail.ru)

<http://orcid.org/0000-0003-4882-6971>

**Аннотация.** Проведены исследования гельминтофауны крупного рогатого скота в различных хозяйствах животноводческого направления Амурской области в течение весенне-летнего периода. У крупного рогатого скота в весенний период регистрировались 7 видов гельминтов из класса нематод, цестод и трематод, в летний период 3 вида гельминтов из класса нематод и цестод. Определены особенности изменения по экстенсивности инвазии у часто регистрируемых в течение весеннего и летнего периода *Moniezia benedeni* и *Strongyloides papillosus*. Полученные данные рекомендуется учитывать при разработке лечебно-профилактических противопаразитарных мероприятий.

**Ключевые слова:** гельминты, крупный рогатый скот, весенний сезон, летний сезон, Амурская область, экстенсивность инвазии

**Для цитирования:** Бондаренко Г. А., Соловьева И. А., Трухина Т. И. Особенности гельминтофауны крупного рогатого скота в весенне-летний период в условиях Амурской области // Вестн. ДВО РАН. 2024. № 4. С. 151–157. <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040136>

**Финансирование.** Средства федерального бюджета.

© Бондаренко Г. А., Соловьева И. А., Трухина Т. И., 2024

# Features of the helminth fauna of cattle in the spring-summer period in the Amur region

G. A. Bondarenko, I. A. Solovyeva, T. I. Trukhina

*Galina A. Bondarenko*

Researcher

Far East Zone Research Veterinary Institute, Blagoveshchensk, Russia

[galy78@yandex.ru](mailto:galy78@yandex.ru)

<http://orcid.org/0000-0001-8641-2388>

*Irina A. Solovyeva*

Candidate of Sciences in Biology, Leading Researcher

Far East Zone Research Veterinary Institute, Blagoveshchensk, Russia

[sia\\_storm@mail.ru](mailto:sia_storm@mail.ru)

<http://orcid.org/0000-0003-3946-4593>

*Tamara I. Trukhina*

Candidate of Sciences in Agriculture, Senior Researcher

Far East Zone Research Veterinary Institute, Blagoveshchensk, Russia

[toma.trukhina@mail.ru](mailto:toma.trukhina@mail.ru)

<http://orcid.org/0000-0003-4882-6971>

**Abstract.** Research was carried out on the helminth fauna of cattle in various livestock farms in the Amur region during the spring-summer period. In cattle, 7 species of helminths from the class of nematodes, cestodes and trematodes were recorded in the spring, and 3 species of helminths from the class of nematodes and cestodes in the summer. The features of changes in the extent of invasion in *Moniezia benedeni* and *Strongyloides papillosus*, which are often recorded during the spring-summer period, were determined. It is recommended to take the obtained data into account when developing treatment and prophylactic antiparasitic measures.

**Keywords:** helminths, cattle, spring season, summer season, Amur region, extent of invasion

**For citation:** Bondarenko G. A., Solovyeva I. A., Trukhina T. I. Features of the helminth fauna of cattle in the spring-summer period in the Amur region. *Vestnik of the FEB RAS*. 2024;(4):151–157. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824040136>

**Funding.** Federal budget funds.

## Введение

В Амурской области Дальневосточного федерального округа, сложные природно-климатические условия для развития животноводства, что отражается на уровне продуктивности животных и состоянии их здоровья. Согласно статистическим данным, производство продукции животноводства в Амурской области не показывает устойчивого положительного роста в основных отраслях [1, 2, 3]. Влияние оказывают различные болезни, в том числе и гельминтозы – паразитарные заболевания, вызываемые попаданием в организм животного различных видов гельминтов, которые могут нанести серьезный ущерб здоровью животных и снизить их продуктивность. Некоторые виды гельминтов вызывают заражение у человека. При этом одной из главных задач в сельском хозяйстве является выпуск полноценных и безопасных в ветеринарном отношении продуктов животноводства. В Амурской области у крупного рогатого скота за период с 2016 по 2019 г. выявлена циркуляция 12 нозологических единиц гельминтов из классов Nematoda, Cestoda

и Trematoda [4, 5, 6]. Известно, что выявляются нематоды рода *Strongylata* spp. и видов *Strongyloides papillosus*, *Neoascaris vitulorum*, *Trichocephalus* spp., которые выделяют в окружающую среду яйца с развивающимися в них личинками, на них оказывают влияние факторы окружающей среды (температура, влажность, свет, состав воздуха), которые соответственно меняются в зависимости от текущего месяца. На регистрируемые трематоды и их промежуточных хозяев – моллюсков также в значительной степени влияют температура, pH среды, особенно для развития из яиц мирацидиев, для отдельных видов имеет значение изменение влажности.

В литературных данных мало информации по изменению заражения крупного рогатого скота в Амурской области с зависимости от сезона года, поэтому была поставлена следующая цель: изучение фауны гельминтов и динамики инфицирования ими крупного рогатого скота в весенне-летний период в условиях Амурской области.

## Материал и методы исследований

Работа выполнена в отделе паразитологии и зооэкологии ФГБНУ ДальЗНИВИ. В течение весенне-летнего периода ежемесячно (март, апрель, май, июнь, июль, август) производился отбор проб фекалий с последующим определением наличия в них яиц и личинок гельминтов. Всего было проведено 242 исследования проб фекалий от крупного рогатого скота из трех хозяйств Амурской области. Исследование фекалий проводилось седиментационными и флотационными методами согласно МУК 4.2.13145-13<sup>1</sup>. Для обнаружения личинок легочных и кишечных нематод использовали метод Бермана. Идентификацию яиц и личинок гельминтов проводили по атласу Черепанова А. А. с соавт. [7], Ивашкина В. М., Мухамадиева С. А. [8].

Обработка полученных данных произведена методами вариационной статистики с использованием стандартных компьютерных программ.

## Результаты исследований

В ходе собственных исследований, проведенных в период весенних и летних месяцев, были выявлены гельминты, относящиеся к трем классам (см. таблицу).

Крупный рогатый скот в весенний период был инфицирован представителями 3 классов гельминтов, среди которых *Dicrocoelium lanceatum*, *Fasciola hepatica*, *Strongyloides papillosus*, *Strongylata* spp., *Neoascaris vitulorum*, *Trichocephalus* spp., *Moniezia benedeni*. В летний период выявлены представители 2 классов гельминтов – *Moniezia benedeni*, *Strongyloides papillosus*, *Strongylata* spp.

На протяжении весенне-летнего периода постоянно регистрируемыми видами гельминтов у крупного рогатого скота Амурской области были *M. benedeni* и *S. papillosus*.

Для *M. benedeni* было характерно снижение экстенсивности инвазии с марта (ЭИ = 17,65%) по август (ЭИ = 1,45%). Выявление яиц и личинок *S. papillosus* регистрировалось с апреля по август. При этом экстенсивность инвазии увеличивалась по нарастающей: наименьшие показатели отмечены в апреле (ЭИ = 6,90%), наибольшие – в августе (ЭИ = 43,48%) (см. рисунок).

## Обсуждение результатов

Мониезии развиваются с участием промежуточных хозяев почвенных панцирных клещей подотряда *Oribatei*. Количество панцирных клещей, включая голарктические и палеарктические виды, увеличивается по мере перемещения с севера на юг, достигая пика

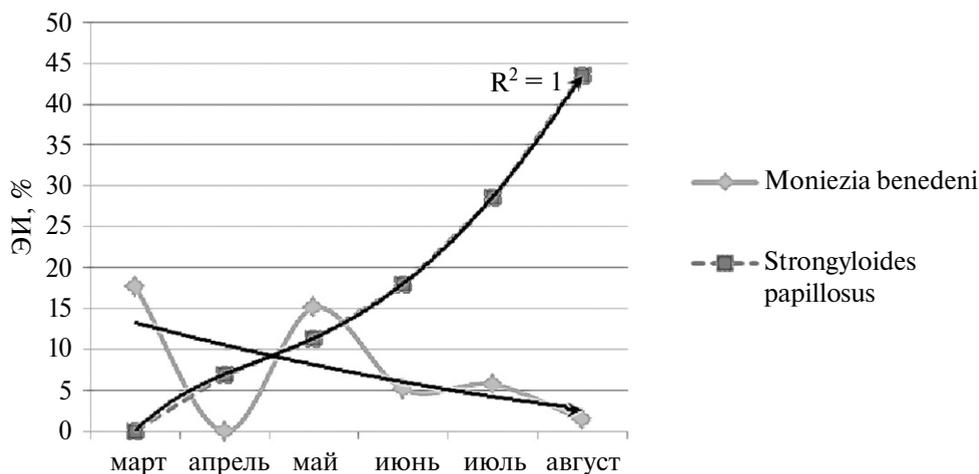
---

<sup>1</sup> МУК 4.2.13145-13. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Лабораторная диагностика гельминтозов и протозоозов.

### Гельминты крупного рогатого скота Амурской области, выявленные в весенне-летний период

Род, вид гельминта	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август
	n = 17	n = 29	n = 53	n = 39	n = 35	n = 69
Класс Trematoda (Rudolphi, 1808)						
<i>Dicrocoelium lanceatum</i> (Stiles et Hassal, 1896)	1/5,88	–	–	–	–	–
<i>Fasciola hepatica</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	5/9,43	–	–	–
Класс Cestoda (Rudolphi, 1808)						
<i>Moniezia benedeni</i> (Moniez, 1879)	3/17,65	–	8/15,09	2/5,13	2/5,71	1/1,45
Класс Nematoda (Rudolphi, 1808)						
<i>Strongyloides papillosus</i> (Wedl, 1856)	–	2/6,90	6/11,32	7/17,95	10/28,57	30/43,48
<i>Strongylata</i> spp. (Railliet et Henry, 1913)	–	1/3,45	–	2/5,13	–	2/2,89
<i>Neascaris vitulorum</i> (Goeze, 1782)	1/5,88	–	–	–	–	–
<i>Trichocephalus</i> spp. (Schränk, 1788)	–	1/3,45	–	–	–	–
Всего	5/29,41	4/13,79	19/35,85	11/28,21	12/34,29	33/47,82

Примечание. В числителе – заражено голов, в знаменателе – экстенсивность инвазии; n – количество исследований. Прочерк – отсутствие гельминтов.



Экстенсивность инвазии крупного рогатого скота основными видами гельминтов в весенне-летний период.

в лесах Амурской области [9]. Продолжительные заморозки и наводнения неблагоприятно влияют на этот процесс. В Амурской области было установлено, что у орибитид в большинстве их местообитаний наблюдаются два пика численности: весенне-летний (май–июнь) и осенний (октябрь) [10]. Следовательно, изменение численности промежуточных хозя-

ев в разные сезоны года приводит к изменению степени зараженности основных хозяев определенными видами гельминтов у крупного рогатого скота на территории Амурской области. По всей видимости, высокие показатели экстенсивности инвазии мониезиями в марте связаны с тем, что скот еще не подвергался плановой весенней дегельминтизации после стойлового периода. Достаточно высокие показатели экстенсивности инвазии в мае (ЭИ = 15,09%) связаны с тем, что в конце апреля – начале мая поголовье крупного рогатого скота перемещают в открытые загоны и на пастбища, где в природных условиях присутствуют орибатидные клещи, являющиеся промежуточными хозяевами *Moniezia benedeni*. В связи с пиковой численностью орибатидных клещей, которая приходится на май–июнь [10, 11, 12], можно предположить, что они являются источником заражения крупного рогатого скота, что и объясняет высокую экстенсивность.

Увеличение числа зараженных животных *Strongyloides papillosus* в летний период объясняется тем, что стронгилоиды являются типичными геогельминтами, яйца и личинки которых при благоприятных условиях (положительные температуры, влажность) созревают во внешней среде. Содержание крупного рогатого скота в открытых загонах и выпас на пастбищах в теплое время года создают оптимальные условия для заражения возбудителем стронгилоидоза на протяжении весенне-летнего периода.

Для выживаемости личинок стронгилят в период их созревания до инвазионной стадии также важное значение имеют определенная температура и влажность [13], при благоприятных природных условиях происходит развитие личинок и заражение скота стронгилятозами.

Выявление неоскарисов, отмеченное точно в марте, вероятнее всего, связано с зараженной яйцами неоскарисов подстилкой или кормом животных. Регистрацию *Trichocephalus* spp. в апреле можно связать с выгоном скота в открытые загоны или употреблением некачественного корма.

Также отмечают редко выявляемые в течение весенне-летнего периода трематоды *Dicrocoelium lanceatum* и *Fasciola hepatica*. Известно, что у яиц дикроцелий хорошо развита внутренняя оболочка, которая предохраняет зародыш от низкой или высокой температуры и способствует выживанию в неблагоприятных условиях. Для *Fasciola hepatica* нужны более благоприятные условия, так как яйца фасциол гибнут при  $-7^{\circ}\text{C}$ , не переносят высушивание, развитие яиц проходит во взаимосвязи с водной средой. Обнаружение заражений в мае связано с выгоном на откормочные площадки, где имеются необходимые условия для развития фасциол и заражения крупного рогатого скота.

## Заключение

В весенний период среди поголовья крупного рогатого скота регистрировались гельминты 3 классов, в том числе *Dicrocoelium lanceatum*, *Fasciola hepatica*, *Strongyloides papillosus*, *Strongylata* spp., *Neoscaris vitulorum*, *Trichocephalus* spp., *Moniezia benedeni*. В летний период выявлены представители 2 классов гельминтов – *Moniezia benedeni*, *Strongyloides papillosus*, *Strongylata* spp. Постоянно циркулирующими видами гельминтов среди поголовья крупного рогатого скота Амурской области на протяжении всего весенне-летнего периода были *Moniezia benedeni* и *Strongyloides papillosus*. Результаты исследований наглядно показывают изменения в структуре и динамики инфицирования в весенний и летний периоды.

Таким образом, важнейшей задачей при разработке лечебно-профилактических противопаразитарных мероприятий в целях повышения их эффективности необходимо учитывать изменения в структуре гельминтофауны, регистрирующейся у крупного рогатого скота в весенний и летний периоды.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Енина Д.В. Оценка уровня самообеспеченности Амурской области продуктами молочно-продуктового и мясopодуктового подкомплексов // Вестн. Белгород. ун-та кооперации, экономики и права. 2017. № 3 (64). С. 283–295.

2. Чурилова К.С., Волкова Е.А. Проблемы обеспечения продуктами питания животного происхождения в Амурской области // *Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы Всерос. науч.-практ. конф.: в 2 ч., г. Благовещенск, 11 апр. 2018 г. Благовещенск: Дальневост. гос. аграрн. ун-т, 2018. Ч. 2. С. 96–99.*
3. Кушнарев Е.Н. Государственная поддержка животноводства в Амурской области // *Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф., г. Благовещенск, 17 апр. 2019 г. Благовещенск: Дальневост. гос. аграрн. ун-т, 2019. С. 120.*
4. Бондаренко Г.А., Трухина Т.И., Соловьева И.А. Особенности эпизоотологического процесса по основным гельминтозам у крупного рогатого скота в Амурской области // *Вестн. НГАУ. 2021. № 1 (58). С. 75–80. DOI: 10.31677/2072-6724-2021-58-1-75-80.*
5. Бондаренко Г.А., Соловьева И.А., Трухина Т.И., Иванов Д.А. Паразитозенозы крупного рогатого скота Амурской области // *Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2021. № 3 (51). С. 28–30. DOI: 10.24412/2074-5036-2021-3-28-30.*
6. Бондаренко Г.А., Соловьева И.А., Трухина Т.И. Распространение гельминтозов крупного рогатого скота в Амурской области // *Ветеринария. 2023. № 1. С. 40–42. DOI: 10.30896/0042-4846.2023.26.1.40-42.*
7. Черепанов А.А., Москвин А.С., Котельников Г.А., Хренов В.М. Дифференциальная диагностика гельминтозов по морфологической структуре яиц и личинок возбудителей. М., 1999. 76 с.
8. Ивашкин В.М., Мухамадиев С.А. Определитель гельминтов крупного рогатого скота. М.: Наука, 1981. 259 с.
9. Рябинин Н.А. Особенности распространения панцирных клещей в почвах Дальнего Востока России // *Вестн. ДВО РАН. 2009. № 3 (145). С. 54–60.*
10. Рябинин Н.А. Панцирные клещи (Acariformes, Oribatida) Дальнего Востока России // *Чтения памяти Алексея Ивановича Куренцова. 2003. № 13. С. 153–162.*
11. Белова Е.Е., Садов К.М. Видовой состав орибатидных клещей и сезонная динамика инвазивности ими пастбищ различного типа в условиях Среднего Поволжья // *Рос. паразитол. журн. 2012. № 1. С. 9–12.*
12. Зубайрова М.М., Атаев А.М., Карсаков Н.Т. и др. Биоразнообразие орибатидных клещей в экосистемах Дагестана и их зараженность процеркоидами мониезий // *Рос. паразитол. журн. 2021. № 4. С. 36–42.*
13. Гайрабеков Р.Х., Алтамирова Л.А., Салманова М.М., Шарипова А.К. Развитие инвазионных начал стронгилят желудочно-кишечного тракта во внешней среде. // *Юг России: экология, развитие. 2011. № 6 (4). С. 216–218. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2011-4-216-218>.*

## REFERENCES

1. Enina D. V. Ocenka urovnja samoobespechennosti Amurskoj oblasti produktami molochnoпродуктового i mjasoproductovого podkompleksov = [Assessment of the level of self-sufficiency of the Amur region with dairy and meat products subcomplexes]. *Vestnik Belgorodskogo Universiteta Kooperacii, Jekonomiki i Prava. 2017;(3):283–295. (In Russ.)*.
2. Churilova K.S., Volkova E.A. Problemy obespechenija produktami pitaniya zhivotnogo proishozhdenija v Amurskoj oblasti = [Problems of providing food products of animal origin in the Amur region]. *Agropromyshlennyj kompleks: problemi perspektivy razvitiya: Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. V 2 chastjah. Blagoveshchensk: Far Eastern State Agrarian University; 2018. Part 2. P. 96–99. (In Russ.)*.
3. Kushnarev E.N. Gosudarstvennaja podderzhka zhivotnovodstva v Amurskoj oblasti = [State support for livestock farming in the Amur region]. *Agro-industrial complex: problems and development prospects: Abstracts of reports of the All-Russian scientific and practical conference. Blagoveshchensk, April 17, 2019. Blagoveshchensk: Far Eastern State Agrarian University; 2019. P. 120. (In Russ.)*.
4. Bondarenko G.A., Truhina T.I., Solov'eva I.A. Osobennosti jepizootologicheskogo processa po osnovnym gel'mintozam u krupnogo roगतого skota v Amurskoj oblasti = [Features of the epizootological process for the main helminthiasis in cattle in the Amur region]. *Vestnik NGAU. 2021;58(1):75–80. DOI: 10.31677/2072-6724-2021-58-1-75-80. (In Russ.)*.
5. Bondarenko G.A., Solov'eva I.A., Truhina T.I., Ivanov D.A. Parazitocenozy krupnogo roगतого skota Amurskoj oblasti = [Parasitocenoses of cattle in the Amur region]. *Aktual'nye Voprosy Veterinarnoj Biologii. 2021;51(3):28–30. DOI: 10.24412/2074-5036-2021-3-28-30. (In Russ.)*.

6. Bondarenko G. A., Solov'eva I. A., Truhina T. I. Rasprostranenie gel'mintozov krupnogo rogatogo skota v Amurskoj oblasti = [Distribution of helminthiasis in cattle in the Amur region]. *Veterinarija*. 2023;(1):40–42. DOI 10.30896/0042-4846.2023.26.1.40-42. (In Russ.).
7. Cherepanov A. A., Moskvina A. S., Kotel'nikov G. A., Hrenov V. M. Differencial'naja diagnostika gel'mintozov po morfoloicheskoj strukture jaic i lichinok vozбудitelej = [Differential diagnosis of helminthiasis based on the morphological structure of eggs and larvae of pathogens]. M.; 1999. 76 s. (In Russ.).
8. Ivashkin V. M., Muhamadiev S. A. Opredelitel' gel'mintov krupnogo rogatogo skota = [Determinant of helminths in cattle]. M.: Nauka; 1981. 259 s. (In Russ.).
9. Rjabinin N. A. Osobennosti rasprostraneniya pancirnyh kleshhej v pochvah Dal'nego Vostoka Rossii = [Features of the distribution of oribatid mites in the soils of the Russian Far East]. *Vestnik of the FEB RAS*. 2009;(3):54–60. (In Russ.).
10. Rjabinin N. A. Pancirnyekleshhi (Acariformes, Oribatida) Dal'nego Vostoka Rossii = [Armored mites (Acariformes, Oribatida) of the Russian Far East]. *Chtenija pamjati Alekseja Ivanovicha Kurencova*. 2003;13:153–162. (In Russ.).
11. Belova E. E., Sadov K. M. Vidovoj sostav oribatidnyh kleshhej i sezonnaja dinamika invazirovannosti imi pastbishch razlichnogo tipa v uslovijah Srednego Povolzh'ja = [Species composition of oribatid mites and seasonal dynamics of their infestation of pastures of various types in the conditions of the Middle Volga region]. *Rossijskij Parazitologičeskij Zhurnal*. 2012;(1):9–12. (In Russ.).
12. Zubairova M. M., Ataev A. M., Karsakov N. T. et al. Bioraznoobrazie oribatidnyh kleshhej v jekosistemah Dagestana i ih zarazhennost' procerkoidami moniezij = [Biodiversity of oribatidmites in the ecosystems of Dagestan and their infestation with moniesia procercooids]. *Rossijskij Parazitologičeskij Zhurnal*. 2021;(4):36–42. (In Russ.).
13. Gairabekov R. Kh., Altamirova L. A., Salmanova M. M., Sharipova A. K. Razvitie invazionnykh nachal strongilyat zheludochno-kishechnogo trakta vo vneshnei srede = [Development of invasive beginnings of strongylates of the gastrointestinal tract in the external environment]. *Jug Rossii: Ekhkologiya, Razvitie*. 2011;6(4):216–218. (In Russ.). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2011-4-216-218>.

## Академику РАН В.И. Сергиенко – 80 лет



Биография Валентина Ивановича Сергиенко неразрывно связана с Дальним Востоком, Приморским краем. Он здесь родился, рос, учился и более полувека служит российской науке. Вот лишь некоторые этапы большого пути: студент физико-математического факультета Дальневосточного государственного университета (1961–1966), лаборант кафедры теоретической физики ДВГУ (1963–1965), аспирант (1970, окончание), кандидат химических наук (1971), заместитель директора по научной работе Института химии ДВНЦ (ДВО) АН СССР (1972–1977), доктор химических наук (1989), заведующий отделом строения вещества Института химии ДВО РАН (1993), член-корреспондент РАН (1997), действительный член РАН (2000), председатель ДВО РАН (2001–2022), директор Института химии ДВО РАН (2002–2017), вице-президент РАН (2013–2022), научный руководитель Института химии ДВО РАН (с 2018), советник Российской академии наук (с 2023), председатель Объединенного ученого совета по химическим наукам (с 2022). Более 20 лет являлся главным редактором журнала «Вестник ДВО РАН».

Основные направления исследований В.И. Сергиенко связаны с изучением атомного и электронного строения неорганических фторидов, динамики ионов в кристаллах, квантово-химическим моделированием строения и свойств комплексных фторидов и фторидных стекол, с разработкой научных основ нетрадиционных подходов к решению конкретных производственных проблем физико-химического и технологического характера. Валентин Иванович является лидером научной школы «Направленный синтез, состав, строение поверхностных структур и сорбционных материалов во взаимодействии с изучением механизмов переноса заряда на фазовых границах раздела».

Высокую оценку и широкое признание получили оригинальные, инновационные технологии очистки промышленных стоков от нефтепродуктов; создания на поверхности изделий из титана и его сплавов многофункциональных защитных покрытий; переработки жидких радиоактивных отходов. Он автор и соавтор более 400 публикаций в отечественных и зарубежных изданиях, свыше 30 авторских свидетельств и 40 патентов РФ и двух патентов ЕU, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники (1997), лауреат премии РАН имени В.Г. Хлопина (2019), награжден орденом Трудового Красного Знамени, орденом «Знак Почета» и медалями СССР, имеет ведомственные награды РФ. В 2021 г. удостоен ордена Восходящего Солнца (Япония).

Не столь очевидная, но не менее важная заслуга Валентина Ивановича – умение противостоять чиновничьему произволу в науке. На его долю выпала, как писала газета «Золотой Рог», «нелегкая миссия с минимальными потерями провести сквозь штормовое море реформ действующие на Дальнем Востоке научные учреждения РАН». И эту миссию он достойно выполнил.

В.И. Сергиенко всегда уделял большое внимание подготовке высококвалифицированных научных кадров, поддержке молодых ученых и продолжает щедро отдавать ученикам свои знания, талант педагога и ученого-организатора.

Редакция и редколлегия журнала «Вестник ДВО РАН» от всей души поздравляют Вас, Валентин Иванович, со знаменательным событием в Вашей жизни и желают здоровья на долгие годы, добра, неиссякаемой энергии, новых успехов в Вашей деятельности. Пусть Ваши замечательные качества человека и исследователя будут залогом дальнейшей плодотворной работы Ваших учеников и преемников!

*Подписка на журнал «Вестник Дальневосточного отделения РАН»  
принимается с любого номера Агентством подписки  
и доставки периодических изданий Урал-Пресс (www.ural-press.ru).  
Подписной индекс 70193 в Каталоге периодических изданий «Газеты и журналы»  
Урал-Пресс.*

*Полнотекстовые варианты статей можно найти в Интернете:  
<http://elibrary.ru/issues.asp?id=2774>, <http://journals.rcsi.science/0869-7698/issue/view/>*

Ответственные за номер: В.А. Стоник, Д.Л. Аминин  
Над номером работали: В.С. Жердев, Л.А. Русова, Н.С. Мун, Г.А. Веренцова

Учредители  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение «Российская академия наук»  
119991, г. Москва, Ленинский просп., д. 14  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение «Дальневосточное отделение  
Российской академии наук»  
690091, г. Владивосток, ул. Светланская, д. 50

Адрес редакции:  
690091, Владивосток, ул. Светланская, 50, к. 51  
Тел. +7(423)222-25-88  
E-mail: [vestnikdvo@hq.febras.ru](mailto:vestnikdvo@hq.febras.ru)  
<http://www.vestnikdvo.ru>

Издатель  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение «Российская академия наук»  
119991, Москва, Ленинский просп., д. 14  
Исполнитель по контракту 4У-ЕП-039-24  
ФГБУ «Издательство «Наука»  
121099, г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1.  
Отпечатано в ФГБУ «Издательство «Наука»  
121099, г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1

Подписано к печати  
Дата выхода в свет  
Формат 70 × 108 1/16  
Усл. печ. л.  
Уч.-изд. л.  
Тираж экз.  
Заказ  
Цена свободная

Свидетельство Роскомнадзора о регистрации ПИ № ФС 77-75560 от 12.04.2019 г.