

Научный журнал

Учредители  
ФГБУ ДВО РАН  
ФГБУНО ЦНБ ДВО РАН

Журнал основан в 1932 г.  
Издание прекращено в 1939 г.,  
возобновлено в 1990 г.

# ВЕСТНИК

ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО  
ОТДЕЛЕНИЯ

РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ  
НАУК

1 (209). 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

### Новые технологии

Ю.Н. КУЛЬЧИН, В.П. БУЛГАКОВ, Д.О. ГОЛЬЦОВА, Е.П. СУББОТИН. Оптогенетика растений – светорегуляция генетического и эпигенетического механизмов управления онтогенезом ..... 5

### Химические науки

Л.Г. КОЛЗУНОВА, Е.В. ЩИТОВСКАЯ, М.А. КАРПЕНКО, И.Г. РОДЗИК. Потенциостатическое формирование композита полимер/наночастицы серебра ..... 26

В.В. КАБАНОВ, В.С. РУДНЕВ, П.М. НЕДОЗОРОВ, Д.С. ПИВОВАРОВ, Н.И. ФЕДОСЕВИЧ, В.М. ДОЛГОРУК. Композиционный способ наплавки. Оборудование, технология, примеры внедрения ..... 32

О.Н. ЦЫБУЛЬСКАЯ, Т.В. КСЕНИК, А.А. КИСЕЛЬ, А.А. ЮДАКОВ, А.В. ПЕРФИЛЬЕВ. Доработка технологических узлов опытно-промышленной установки для обезвреживания опасных отходов производства ..... 38

### Биологические науки

Ю.Н. ЖУРАВЛЁВ, М.А. ГУЗЕВ, А.И. ГУДИМЕНКО. Роль конверсии в становлении действительности ... 46

М.Л. БУРДУКОВСКИЙ, П.А. ПЕРЕПЕЛКИНА, В.И. ГОЛОВ. Изменение агрофизических свойств залежных буроподзолистых почв Приморского края ..... 60

В.И. ГОЛОВ, М.Л. БУРДУКОВСКИЙ, Н.В. ИВАНЕНКО, Ю.А. ПОПОВА. Экологическое состояние пахотных почв Дальнего Востока и ближайшие перспективы их использования ..... 66

А.Н. БЫКОВСКАЯ, М.Л. СИДОРЕНКО, Н.А. СЛЕПЦОВА, А.Г. КЛЫКОВ, В.В. БЕРЕЖНАЯ, Д.А. КОЛЕСНИКОВА. Применение агрономически ценных бактерий для повышения почвенного плодородия и урожайности ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) ..... 75

С.П. ЗАХАРКОВ, Е.В. ЛЕПСКАЯ, О.Б. ТЕПНИН, Е.А. ШТРАЙХЕРТ, Т.Н. ГОРДЕЙЧУК. Первичная продукция Авачинской бухты летом 2017 г. .... 83

Ж.В. МАРКИНА. Рост и физиологическое состояние морских зеленых микроводорослей *Chlorella minutissima* и *Tetraselmis striata* в условиях загрязнения среды обитания медью ..... 90

А.В. ЕРМОЛЕНКО, А.Ф. ПОПОВ, Е.В. ЗАГНЕЙ, Т.Ф. ХОМИЧУК, Г.А. ЗАХАРОВА, Ю.В. НЕСТЕРОВА. Возбудители гельминтозов людей в Приморском крае ..... 97

### Науки о Земле

Д.С. ОСТАПЕНКО. Определение рения в углеродистых породах и породах с органической матрицей методом ИСП-МС ..... 115

А.Г. АНДРЕЕВ. Влияние стока реки Амур и прибрежного апвеллинга на циркуляцию вод в Татарском проливе (Японское море) ..... 120

О.В. КАРПЕЦ, Е.С. ЮРЧЕНКО. Анализ подходов к развитию высокоскоростного железнодорожного сообщения в развивающихся странах (на примере Индии) ..... 127

### Научная смена

Е.И. ЯРОЩУК. Рудные корки возвышенности Шевалдина и горы Петра Великого (Центральная котловина Японского моря) ..... 138

### Ученые Дальнего Востока

А.С. Хоментовский – выдающийся ученый и организатор академической науки на Дальнем Востоке России. П.В. ИВАШОВ ..... 146

## Юбилей

Пётр Фёдорович Бровко – путешественник, ученый, педагог. *М.В. ВАСИНА, М.Г. ЖУКОВИНА* ..... 153

Правила для авторов..... 157

### Главный редактор вице-президент РАН академик РАН В.И. СЕРГИЕНКО

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
- акад. РАН В.А. АКУЛИЧЕВ – научный руководитель Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток
- чл.-корр. РАН Д.Л. АМИНИН – зав. лабораторией Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, Владивосток
- акад. РАН П.Я. БАКЛАНОВ – научный руководитель Тихоокеанского института географии ДВО РАН, Владивосток
- акад. РАН В.В. БОГАТОВ (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 А.А. ГОНЧАРОВ – главный научный сотрудник 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 М.А. ГУЗЕВ – директор Института прикладной математики ДВО РАН, Владивосток
- акад. РАН Г.И. ДОЛГИХ – зам. директора по научным вопросам Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток
- акад. РАН Ю.Н. ЖУРАВЛЁВ – главный научный сотрудник Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток
- чл.-корр. РАН А.Г. КЛЫКОВ – зав. отделом Федерального научного центра агроботехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Уссурийск
- чл.-корр. РАН П.В. КРЕСТОВ – директор Ботанического сада-института ДВО РАН, Владивосток
- акад. РАН Ю.Н. КУЛЬЧИН – научный руководитель Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток
- акад. РАН В.Л. ЛАРИН – научный руководитель Института истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток
- д.г.-м.н. Ю.А. МАРТЫНОВ – зав. лабораторией Дальневосточного геологического института ДВО РАН, Владивосток
- акад. РАН П.А. МИНАКИР – научный руководитель Института экономических исследований ДВО РАН, Хабаровск
- д.г.-м.н. 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
- д.ф.-м.н. С.В. ПРАНЦ – зав. отделом Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО 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 – главный научный сотрудник Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан
- акад. РАН А.И. ХАНЧУК – научный руководитель Дальневосточного геологического института ДВО РАН, Владивосток

Scientific journal

Founders

Far Eastern Branch of RAS

Central Scientific Library, FEB RAS

The journal was found in 1932

The publication was discontinued in 1939,  
was resumed in 1990

# VESTNIK

OF THE FAR EAST BRANCH

OF THE RUSSIAN  
ACADEMY  
OF SCIENCES

1 (209). 2020

## CONTENTS

### New technologies

Yu.N. KULCHIN, V.P. BULGAKOV, D.O. GOLTSOVA, E.P. SUBBOTIN. Plant optogenetics – photoregulation of genetic and epigenetic mechanisms of ontogenesis control ..... 5

### Chemical sciences

L.G. KOLZUNOVA, E.V. SHCHITOVSKAYA, M.A. KARPENKO, I.G. RODZIK. Potentiostatic formation of the polymer/silver nanoparticles composite ..... 26

V.V. KABANOV, V.S. RUDNEV, P.M. NEDOZOROV, D.S. PIVOVAROV, N.I. FEDOSEVICH, V.M. DOLGORUK. Composite method of surfacing. Equipment, technology, examples of implementation ..... 32

O.N. TSYBULSKAYA, T.V. KSENIK, A.A. KISEL, A.A. YUDAKOV, A.V. PERFILEV. Rework of technological units of the pilot plant for the disposal of hazardous production wastes ..... 38

### Biological sciences

Yu.N. ZHURAVLEV, M.A. GUZEV, A.I. GUDIMENKO. Role of conversion in the reality formation ..... 46

M.L. BURDUKOVSKII, P.A. PEREPELKINA, V.I. GOLOV. Changes in agrophysical properties of fallow brown podzolic soils in the Primorsky Region ..... 60

V.I. GOLOV, V.L. BURDUKOVSKII, N.V. IVANENKO, Yu.A. POPOVA. The ecological state of the arable soil of the Far East and the immediate prospects for their use ..... 66

A.N. BYKOVSKAYA, M.L. SIDORENKO, N.A. SLEPTSOVA, A.G. KLYKOV, V.V. BEREZHNYAYA, D.A. KOLESNIKOVA. The agronomically valuable bacteria application for increasing of soil fertility and spring barley (*Hordeum vulgare* L.) productivity ..... 75

S.P. ZAKHARKOV, E.V. LEPSKAYA, O.B. TEPNIN, E.A. SHTRAIKHERT, T.N. GORDEICHUK. Primary production of the Avacha Bay in summer 2017 ..... 83

Zh.V. MARKINA. Growth and physiological state of marine green microalgae *Chlorella minutissima* and *Tetraselmis striata* in copper polluted environment ..... 90

A.V. ERMOLENKO, A.F. POPOV, E.V. ZAGNEY, T.Ph. KHOMICHUK, G.A. ZAKHAROVA, Ju.V. NESTEROVA. Helminths of humans in the Primorsky Region ..... 97

### Earth sciences

D.S. OSTAPENKO. Determination of rhenium in carbonaceous and organic matrix rocks by ICP-MS ..... 115

A.G. ANDREEV. Impact of the Amur River discharge and coastal upwelling on the water circulation in the Tartar Strait (the Japan Sea) ..... 120

O.V. KARPETS, E.S. YURCHENKO. The analysis of possibilities and perspectives for the high-speed railway construction in developing countries (by the example of India) ..... 127

### New scientific personnel

E.I. YAROSHCHUK. Ore crusts of the Shevaldin Seamount and the Peter the Great Seamount (The Central Basin of the Sea of Japan) ..... 138

### Scientists of the Far East

A.S. Khomentovskiy – the outstanding scientist and organizer of the academic science in the Russian Far East. P.V. IVASHOV ..... 146

### Anniversaries

Petr Fedorovich Brovko – traveler, scientist and educator. M.V. VASINA, M.G. ZHUKOVINA ..... 153

Rules for the authors ..... 157

**Chief Editor V. I. SERGIENKO, Academician, 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
- V. A. AKULICHEV, Academician of RAS – Research Supervisor, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok
- D.L. AMININ, Corresponding Member of RAS – Chief of Laboratory, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
- P.Ya. BAKLANOV, Academician of RAS – Research Supervisor, Pacific Geographical Institute, 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 – Deputy Director for Research, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok
- E.Ya. FRISMAN, Corresponding Member of RAS – Chief Researcher, Institute of Complex Analysis of Regional Problems, FEB RAS, Birobidzhan
- A.A. GONCHAROV, Corresponding Member of RAS – Chief Researcher, 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
- M.A. GUZEV, Academician of RAS – Director, Institute of Applied Mathematics, FEB RAS, Vladivostok
- P.V. KRESTOV, Corresponding Member of RAS – Director, Botanical Garden-Institute FEB RAS, Vladivostok
- A.I. KHANCHUK, Academician of RAS – Research Supervisor, Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok
- A.G. KLYKOV, Corresponding Member of RAS – Head of the Department, Federal Scientific Center of Agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk
- Yu.N. KULCHIN, Academician of RAS – Research Supervisor, Institute of Automation and Control Processes, 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
- Yu.A. MARTYNOV, Doctor of Geological-Mineralogical Sciences – Chief of Laboratory, Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok
- P.A. MINAKIR, Academician of RAS – Research Supervisor, Economic Research Institute, FEB RAS, Khabarovsk
- A.Yu. OSEROV, Doctor of Geological-Mineralogical Sciences – 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, Doctor of Physical-Mathematical Sciences – Head of the Department, 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 – Chief Researcher, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok

Ю.Н. КУЛЬЧИН, В.П. БУЛГАКОВ, Д.О. ГОЛЬЦОВА, Е.П. СУББОТИН

## Оптогенетика растений – светорегуляция генетического и эпигенетического механизмов управления онтогенезом

*Подбор стратегии освещения растений позволяет контролировать их развитие и стимулировать раскрытие их генетического, продукционного, фотосинтетического потенциала. В статье рассматриваются вопросы световой регуляции генетической системы растений и светового управления морфогенезом. Дано представление о механизмах трансляции светового сигнала в клетке. Показана взаимосвязь между фоторецепторными белками и эндогенными программами развития растений. Охарактеризована роль пигментных белков и фитогормонов в процессах регуляции онтогенеза растений. Приведены экспериментальные результаты, демонстрирующие световое управление морфогенезом растений. Обоснована необходимость развития нового междисциплинарного, с большой инновационной компонентой, научного направления – оптогенетика растений, задачей которого должно стать определение процессов и путей управляющего действия света на генетический потенциал растений.*

*Ключевые слова: оптогенетика растений, свет, спектр излучения, пигментные белки, фитогормоны, онтогенез растений.*

**Plant optogenetics – photoregulation of genetic and epigenetic mechanisms of ontogenesis control.** Yu.N. KULCHIN<sup>1,3</sup>, V.P. BULGAKOV<sup>2</sup>, D.O. GOLTSOVA<sup>1</sup>, E.P. SUBBOTIN<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Institute of Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok, <sup>2</sup>Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok, <sup>3</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok).

*Selection of lighting strategy of plants allows controlling their development and stimulating the disclosure of their genetic productive and photosynthetic potential. The purpose of this article is to consider the issues of light regulation of the plant genetic system and light control of morphogenesis. The idea of the mechanisms of light signal translation in the cell is given. The relationship between photoreceptor proteins and endogenous programs of plant development is shown. The role of pigment proteins and phytohormones in the regulation of plant ontogenesis is characterized. Experimental results demonstrating light control of plant morphogenesis are presented. It is concluded that it is necessary to develop a new interdisciplinary scientific direction, with a large innovative component, – plant optogenetics, whose task should be to determine the processes and ways of controlling the action of light on the plant genetic potential.*

*Key words: plant optogenetics, light, emission spectrum, pigment proteins, plant hormones, plant ontogenesis.*

---

\*КУЛЬЧИН Юрий Николаевич – академик РАН, доктор физико-математических наук, научный руководитель (Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток), профессор (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток), ГОЛЬЦОВА Дарья Олеговна – младший научный сотрудник, СУББОТИН Евгений Петрович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник (Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток), БУЛГАКОВ Виктор Павлович – член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, заведующий отделом (Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток). \*E-mail: kulchin@iacp.dvo.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Соглашение от 02.12.2019 г. № 05.604.21.0229, уникальный идентификатор проекта – RFMEFI60419X0229).

## Введение

В связи с ужесточением экологических и фитосанитарных требований потенциал развития сельского хозяйства, основанный на генетической модификации культур растений и широкомасштабном применении химических средств, в значительной мере исчерпан. Одной из современных тенденций в направлении биологизации сельского хозяйства и повышения урожайности сельскохозяйственных культур являются максимальное раскрытие генетических особенностей и продукционного потенциала, а также индукция иммунитета растений посредством воздействия на них различными средствами как биогенного, так и абиогенного характера.

Солнечный свет – важный адаптационный стимул, и многие живые организмы приспособливают свой метаболизм к условиям изменяемой освещенности в окружающей среде, воспринимая световые сигналы и реагируя на них изменением своих физиологических функций. В частности, растения ведут прикрепленный образ жизни и постоянно находятся под воздействием большого числа внешних факторов, среди которых определяющую роль играет свет, так как он служит и источником энергии для фотосинтеза, и сигналом, участвующим в регуляции жизнедеятельности растений. Свет чрезвычайно важен для реализации соответствующих программ развития растений (деэтиоляции, фотоморфогенеза, фотопериодизма, фототропизма и др.) [6]. При этом свет выступает многогранным фактором, характеризующимся качественными (диапазоном длин волн) и количественными (интенсивностью, интегральной суточной радиацией, фотопериодом) параметрами, а также направлением и поляризацией. Ниже приведены характеристики влияния разных спектров светового излучения на развитие растений [30].

<b>Спектр излучения, нм</b>	<b>Роль спектра излучения в развитии растений</b>
280–320	Необходим для нормального развития некоторых видов растений
320–400	Выполняет регуляторную роль в развитии растений
400–500, синий	Имеет ярко выраженное регуляторное действие, необходим для обеспечения высокого уровня фотосинтеза
500–600, желто-зеленый	Обладает регуляторным действием
600–700, красный	Имеет ярко выраженное регуляторное действие, необходим для обеспечения высокого уровня фотосинтеза
700–750, дальний красный	Имеет ярко выраженное регуляторное действие
750–1050, ближнее ИК-излучение	Роль в жизни растений минимальна
>1050, среднее и дальнее ИК-излучение	Важен для обеспечения теплового режима растений, в связи с чем играет регуляторную роль в обменных процессах

Как правило, основная причина низкой продуктивности растущих в естественных условиях растений заключается в том, что громадное количество поступающей от Солнца энергии обесценивается как фактор фотосинтеза вследствие неблагоприятных сочетаний параметров освещения с другими условиями продуктивности: теплом, влажностью и условиями почвенного плодородия [25]. Учитывая, что свет контролирует функционирование систем эндогенной регуляции (генной, ферментативной, трофической, гормональной и т.п.), совокупное действие которых обеспечивает адекватную реакцию растений на условия освещения, мы можем попытаться, манипулируя характеристиками освещения,

максимально раскрыть потенциал, определяемый генетическим планом растения. Тем самым, используя различные части спектра, мы можем задавать растению входные данные, или «инструкции», которые приведут к предсказуемым биохимическим событиям и ощутимым практическим результатам, которыми можно управлять. Наблюдаемые эффекты управления морфогенезом растений, основанные на использовании различных спектров освещения, в некотором смысле родственны генной модификации, но при этом не изменяют самого генофонда растения [8].

Идея использования разных спектральных компонент света для управления развитием растений не нова. Но чтобы понять, почему этот подход возможен, необходимо знать, как формируются отклики растений в результате экспрессии разных генов под воздействием света. Эти исследования представляют огромный интерес, так как открывают возможность максимального раскрытия генетического потенциала культур растений без генетической модификации или увеличения использования химических веществ. Цель настоящей работы заключается в рассмотрении вопросов, связанных со световым управлением морфогенезом растений, которые уже имеют в своем составе заложенные природой разнообразные светочувствительные сигнальные компоненты.

### **Пигментные белки в онтогенезе растений**

Для того чтобы свет мог оказывать влияние на растительные организмы и, в частности, использоваться в процессе фотосинтеза, необходимо его поглощение фоточувствительными белками (антеннами) – пигментами. Пигменты – это окрашенные вещества, цвет которых определяется наличием в их молекулах хромофорных групп [1], обуславливающих избирательное поглощение света. Пигменты играют важную и разнообразную роль в жизнедеятельности организмов, особенно в протекающих в них фотобиологических процессах.

Главный фотобиологический процесс – фотосинтез, в ходе которого энергия электромагнитного излучения превращается в химическую энергию органических соединений. Сначала свет поглощается молекулами пигментов в светособирающей антенне, затем энергия возбуждения передается реакционному центру, который содержит хлорофилл. В реакционном центре происходит первичная фотохимическая реакция – разделение зарядов. Энергию света, запасаемую при разделении зарядов, растение использует для осуществления реакций электронного транспорта, которые дают энергию для синтеза устойчивых высокоэнергетических соединений (АТФ, НАДФН+Н, углеводов) [33].

Набор, состав и соотношение пигментов специфичны для различных групп организмов и во многом зависят от среды их обитания [2]. Пигменты фотосинтеза у высших растений сконцентрированы в пластидах. Их можно разделить на четыре группы: хлорофиллы, каротиноиды, фикобилины и флавоноиды [4, 33].

Важнейшую роль в процессе фотосинтеза играют зеленые пигменты – хлорофиллы [38]. Известно около десяти типов хлорофиллов. Они отличаются по химическому строению и окраске. У всех высших растений содержатся хлорофиллы *a* и *b*. По химическому строению они представляют собой сложные эфиры дикарбоновой органической кислоты – хлорофиллина и двух остатков спиртов – фитола и метилового. Хлорофилл *a* в растворе имеет максимум поглощения на длинах волн 440 и 700 нм, а хлорофилл *b* – на длинах волн 460 и 660 нм. Однако есть формы хлорофилла, поглощающие свет с длиной волны 642, 710 и даже 720 нм. Синтез хлорофилла – многоэтапный процесс с участием различных ферментов, образование которых ускоряется на свету. При исследовании влияния света на образование хлорофилла в большинстве случаев проявилась положительная роль красного света. Большое значение имеет также интенсивность освещения. Существуют нижний и верхний пределы освещенности, начиная с которых образование хлорофилла тормозится.

Наряду с зелеными пигментами в хлоропластах и хроматофорах содержатся пигменты, относящиеся к группе каротиноидов. Каротиноиды – это желтые и оранжевые пигменты алифатического строения (производные изопрена). Они присутствуют у всех высших растений и у многих микроорганизмов [19]. Каротиноиды, содержащие кислород, получили название ксантофиллы. Основными представителями каротиноидов у высших растений являются два пигмента –  $\beta$ -каротин (оранжевый) и ксантофилл (желтый).  $\beta$ -каротин имеет два максимума поглощения, соответствующие длинам волн 452 и 482 нм. Каротиноиды принимают участие в процессе фотосинтеза. Установлено, что каротиноиды, поглощая определенные участки солнечного спектра, передают энергию этих лучей на молекулы хлорофилла и тем самым способствуют использованию спектрального диапазона света, который хлорофиллом не поглощается. Физиологическая роль каротиноидов не ограничивается их участием в передаче энергии на молекулы хлорофилла. Имеются данные, что каротиноиды выполняют защитную функцию, предохраняя различные органические вещества клеток растений, в первую очередь молекулы хлорофилла, от разрушения на свету в процессе фотоокисления. При формировании листьев каротиноиды образуются и накапливаются в пластидах и не требуют света при синтезе.

Фикобилины – красные и синие пигменты, присутствующие у цианобактерий и некоторых водорослей [16]. Они представлены следующими пигментами: фикоцианином, фикоэритрином и аллофикоцианином. Фикобилины поглощают лучи в зеленой и желтой частях спектра светового излучения. Это та часть спектра, которая находится между двумя основными линиями поглощения хлорофилла. Фикоэритрин поглощает лучи с длиной волны 495–565 нм, а фикоцианин – 550–615 нм. Считается, что фикобилины поглощают энергию света и, подобно каротиноидам, передают ее на молекулу хлорофилла, после чего она используется в процессе фотосинтеза.

Флавоноиды – крупнейший класс растительных пигментов, находящихся в виде гликозидов в соке растений. К ним относят антоцианы, антоцианидины, ауруны, дигидрохалконы, изофлавоны, катехины, лейкоантоцианидины, флавонолы, флавоны, флаваноны, флавонолы и халконы. В зависимости от pH среды флавоноиды имеют красную, желтую, синюю и фиолетовую окраску. Они принимают участие в фотосинтезе, образовании лигнина, вовлечены в регуляцию процессов прорастания семян, пролиферации и отмирания (путем апоптоза) клеток [20, 35].

Известно, что успешная закладка генеративных структур и вызревание плодов, семян и других хозяйственно ценных органов культурных растений во многом зависят от регуляции этих процессов, в которых задействовано множество генных комплексов. В настоящее время ясно, что размер и стабильность антенн фотосинтетического аппарата важны не только для фотосинтетической функции, но и для осуществления регуляторных сигналов, распространяющихся за пределы хлоропластов клеток растений [31].

В ходе онтогенеза клетки растений должны эффективно координировать активность двух геномов – ядерного и пластидного. Такая координация оказывается возможной благодаря существованию двух противоположно направленных процессов. С одной стороны, это ядерный контроль над экспрессией генома хлоропластов, с другой – это обратная регуляция, направленная от хлоропластов к ядру, несущая информацию о состоянии и функционировании этих органелл в данных конкретных условиях и обеспечивающая таким образом обратную связь между цитоплазмой и ядром. В данном случае при изменении спектрального состава или интенсивности освещения меняются стехиометрический состав белков светособирающих комплексов хлоропластов, а также интенсивность процессов биосинтеза хлорофиллов, каротиноидов, фикобилинов и флавоноидов. Практически все вовлеченные в осуществление этих процессов белки кодируются в ядре. В связи с этим информация об изменении спектрального состава или интенсивности освещения должна поступать в ядро от хлоропластов и приводить к изменению экспрессии соответствующих ядерных генов. Конкретные механизмы генерации и передачи пластидно-ядерных сигналов у растений изучены на сегодняшний день недостаточно. Считается, что такими

сигналами являются активные формы кислорода, генерируемые при участии связанных с пластидами белков, которые посредством ряда каскадов с участием более стабильных форм соединений обеспечивают передачу информации через цитоплазму в ядро [37, 46]

### **Фотоморфогенез растений**

Рост и развитие растений контролируются генетическими детерминантами, продуктами их экспрессии и сигналами внешней среды. Свет относится к числу главных внешних факторов, оказывающих наибольшее влияние на морфогенетические процессы в клетках растений. Физиологические эффекты световых сигналов в растениях весьма дифференцированы: свет является уникальным источником энергии, обеспечивающим фотосинтез, но он также оказывает мощное стимулирующее влияние на морфогенез растений [6]. Фоторецепция – важнейшая функция, необходимая растениям для приспособления к условиям освещения и другим параметрам среды, ибо свет служит для них синхронизатором суточных и сезонных биоритмов, а также источником специфической сигнальной информации [32]. При этом на фоторегуляцию развития растений требуется в 100–1000 раз меньше энергии, чем на фотосинтез. Морфогенез растений, который управляется параметрами освещения (его наличием или отсутствием, интенсивностью, спектром, поляризацией, направлением, временем и длительностью действия, динамикой изменения и пр.), называется фотоморфогенезом [28].

На сегодняшний день общепринятыми считаются несколько механизмов регуляторного влияния света на растения, действие которых может носить как изолированный, так и совместный характер [46]:

1) непосредственное действие светового излучения на генетический аппарат растений через возбуждение фоторецепторов, которое способствует синтезу необходимых белков;

2) эндогенная регуляция, проявляющаяся через возбуждение светом фоторецепторов активности фитогормонов, которые являются одними из ближайших к фотохромным белкам звеньев регуляторной системы в клетках растений;

3) влияние света на функциональную активность клеточных мембран, осуществляемое через изменение электрических характеристик мембран клеток и тканей облучаемых светом органов растений, что вызывает определенные физиологические эффекты: новообразование фитогормонов и активацию некоторых генов.

Вследствие эволюционной адаптации к изменяющимся и экстремальным условиям освещенности растения имеют усложненную специализированную фоторецепторную сеть. У растений с наиболее развитой системой рецепции света, ответственной за реализацию разнообразных фотоответов, функционирует несколько типов регуляторных фоторецепторных белков (фоторецепторов), спектральная чувствительность которых позволяет использовать для управления морфогенезом практически все области оптического спектра. К ним относятся фитохромы – сенсоры красного (R) и дальнего красного (FR) света (600–750 нм), криптохромы и фототропины – рецепторы ближнего ультрафиолетового (UV-A) и синего (B) света (320–500 нм), а также белок *UVR8* – рецептор фотонов дальней ультрафиолетовой (UV-B) области спектра (290–320 нм) [62].

Экспрессия светорегулируемых генов у растений контролируется различными классами фоторецепторов [41, 49], которые трансформируют световые сигналы в биохимические сигнальные каскады, вызывающие физиологические клеточные ответы. Сенсорами фотонов у фоторецепторных белков служат молекулы хромофоров, фотопревращение которых инициирует структурные изменения в фотосенсорном домене с последующей трансдукцией сигнала к эффекторным доменам фоторецепторов или взаимодействующим белкам, вызывая модуляцию их активности.

Таким образом, основой фотоморфогенеза растений является детектирование специальными фоточувствительными образованиями – фоторецепторными белками

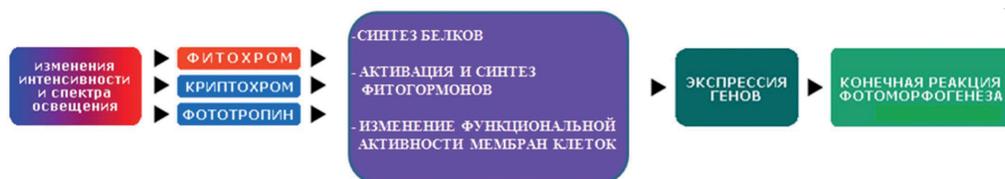


Рис. 1. Предполагаемая схема процесса фотоморфогенеза у растений

(фоторецепторами) – наличия или отсутствия световой энергии заданной интенсивности в заданном диапазоне длин волн. Предполагается, что световые сигналы, принятые фоторецепторами, должны быть преобразованы и далее должны передаваться через фоторегуляторные системы, вызывая экспрессию генов, что в конечном итоге приводит к физиологическому ответу. Доказано, что растительные гормоны через систему фоторецепции также вовлечены в реакцию на свет. В результате при обнаружении заданных изменений параметров света фоторецептор запускает цепочку биохимических процессов, активирующих в конечном итоге требуемую реакцию организма растения (рис. 1).

Взаимосвязь между фоторецепторными белками и эндогенными программами развития растений заключается в их влиянии на рост и развитие клеток, которое проявляется в регуляции движения хлоропластов, изменении проницаемости мембран, синтезе ферментов и фитогормонов. При этом предполагается, что поглощенный квант (или несколько квантов) света переводит фоторецепторный белок в активную форму. В дальнейшем генерируется некий сигнал, поступающий в ядро клетки к ДНК, который дерепрессирует потенциально активный ген, приводя его в активное состояние, в результате чего происходит переключение в матричном синтезе информационной РНК (иРНК) и белков.

Гены фитохромов находятся в ядерной ДНК. Поэтому экспрессия генов осуществляется в ядре, а синтез белков фитохромов – в цитоплазматических рибосомах. Фитохромобилин (хромофор фитохрома) синтезируется в пластидах, а уже потом поступает в цитоплазму. В цитоплазме происходит автокаталитическое ковалентное присоединение хромофора к белку фитохрома. В результате образуется функционально активная молекула фитохрома [17].

Таким образом, между сигнальными системами и геномом растений существует двусторонняя связь: с одной стороны, белки сигнальных систем закодированы в геноме, с другой – сигнальные системы управляют геномом, экспрессируя или подавляя активность других генов. Поэтому исследования, связанные с изучением сигнальных систем растений, интенсивно развиваются [8].

### Фитогормональная регуляция онтогенеза растений

Синтезируемые в клетках растений фитогормоны – низкомолекулярные органические вещества, вырабатываемые растениями и имеющие регуляторные функции. Действующими являются низкие концентрации фитогормонов ( $\sim 10^{-10}$ – $10^{-5}$  моль/л). При этом фитогормоны вызывают различные физиологические и морфологические изменения в чувствительных к их действию частях растений. Вещества, традиционно считающиеся фитогормонами, – ауксины, гиббереллины, цитокинины, этилен, брассиностероиды и абсцизовая кислота. Часто к ним добавляют жасмоновую, салициловую кислоты и некоторые фенольные соединения [10, 34].

В отличие от животных, растения не имеют специальных органов, синтезирующих гормоны. Вместе с тем отмечается большая насыщенность гормонами некоторых их органов по сравнению с другими. Например, ауксинами обогащены верхушечные меристемы стебля и апикальная часть корня [9], абсцизины обычно действуют в точке синтеза, распространяясь лишь на небольшое расстояние, а этилен транспортируется только в виде предшественника [24].

Фитогормоны обладают широким спектром действия и осуществляют координацию между отдельными клетками и тканями растений. Они регулируют многие процессы жизнедеятельности растений: прорастание семян, рост, дифференциацию тканей и органов, цветение и созревание плодов. Образуюсь в одном органе (или его части) растения, фитогормоны обычно транспортируются в другой орган (или его часть). Экзогенные фитогормоны проникают в растения достаточно равномерно, а эндогенные локализируются в отдельных депо клеток. Поэтому гормональная «подкормка» растений извне не заменяет естественный синтез фитогормонов и способна помочь растениям только в определенных условиях, в связи с чем необходимо развитие управляемого процесса синтеза фитогормонов.

Фитогормональное регуляторное воздействие на рост и развитие растений достигается двумя путями: изменением дозы фитогормона и взаимодействием фитогормонов. В зависимости от концентрации фитогормона его действие на один и тот же процесс может изменяться от стимуляции до ингибирования. Кроме того, изменение его концентрации может привести и к изменению характера действия фитогормона и физиологического ответа [23].

Согласно современным представлениям, регуляторное воздействие фитогормонов обусловлено тем, что они регулируют экспрессию генов в растении [18], при этом действуют на разных уровнях. Фитогормоны взаимодействуют в растительной клетке с белками-рецепторами и образуют своеобразный гормон-рецепторный комплекс, который далее проникает в ядро и вступает в контакт с хроматином. Рецепторы располагаются как на мембранах, так и в цитозоле. Поэтому один и тот же гормон может связываться с разными рецепторами, тем самым вызывая различные ответные физиологические реакции. Именно это является одной из причин многоуровневости действия фитогормонов. На первом уровне прямое взаимодействие фитогормона с ДНК изменяет структурное состояние хроматина и тем самым влияет на его матричную активность. Второй возможный уровень воздействия фитогормонов связан с реализацией наследственной информации посредством их влияния на специфические ферменты РНК-полимеразы, способные «узнавать» определенные гены и синтезировать гигантские молекулы – предшественники информационной РНК (пре-иРНК). При этом фитогормоны могут регулировать время жизни мРНК, а также процесс ее поступления в цитоплазму. Фитогормональная регуляция экспрессии генов возможна и на уровне трансляции – синтеза белка в рибосомах (третий уровень).

Таким образом, фитогормоны не только регулируют рост и развитие клетки, но и являются надклеточными механизмами регуляции. Способы регуляции могут быть разными: одни фитогормоны могут понизить экспрессию целевого гена, другие, наоборот, могут его активировать. Поэтому между фитогормонами возникают конкурентные отношения. Образование и накопление одного гормона вместо другого приводит к изменению характера ростовых процессов. Кроме того, один гормон может стимулировать или ингибировать синтез другого гормона.

Наряду с дифференциальным действием на активность генома большое значение имеет влияние фитогормонов на регуляцию проницаемости клеточных мембран. В результате связи фитогормона с рецептором мембраны изменяется мембранный потенциал, что приводит к активации функциональной системы клетки, вследствие чего происходит активация/инактивация соответствующих генов [21, 24, 26].

Гормональная система на каждом этапе развития растения характеризуется определенным статусом: состоянием фитогормональной системы в онтогенезе растения, уровнем концентрации и соотношением между фитогормонами в процессах их образования, передвижения, использования и инактивации в ответ на внешние воздействия [36]. Гормональный статус зависит от биологии растения, этапа онтогенеза, условий внешней среды. Он может быть изменен воздействием экзогенных факторов (различных технологических приемов, изменяющих условия роста). Исходя из этого, можно предположить, что наиболее перспективный способ изменения гормонального статуса растений, а следовательно, и регуляции онтогенеза – воздействие на растения экзогенными факторами, одним из которых является свет.

## Световая регуляция морфогенеза растений

Специфический ответ клетки на световой сигнал предполагает, что: 1) разные клетки в одном организме отвечают на стимул неодинаково; 2) одна и та же клетка реагирует на разные стимулы по-разному. Это достигается за счет того, что в ядре экспрессируется разный набор мРНК, а в клетке вырабатываются новые белки, что позволяет развивать адекватную реакцию на стимул. Поэтому восприятие светового сигнала зависит от состояния, в котором находилась клетка перед его получением [6]. В качестве отдельных механизмов реализации светового воздействия в растениях выступают общие неспецифические физиолого-биохимические реакции, результатом которых являются сдвиги в гормональном балансе, вносящие свой вклад в изменение структуры и функции клеток и способствующие переключению их функциональной активности, а также изменению донорно-акцепторных отношений между ними [34].

В настоящее время активно формируется представление о механизмах трансляции светового сигнала в клетке. Считают, что после поглощения кванта света трансформированный световой сигнал транслируется по компонентам сети на уровне мембран, цитозоля и генома. Восприятие светового сигнала фоторецептором сопряжено с изменениями ионных потоков через клеточные мембраны, фосфорилированием мембранных белков, активацией цитозольных компонентов, экспрессией генов *COP*, *DET*, *FUS*, продукты которых участвуют в регуляции морфогенеза [11, 56, 67]. В этом случае рецепторами называют участки мембраны клеток, чувствительные к определенным веществам и передающие информацию о таком сигнале внутрь клетки. Фактически мембранные рецепторы – это особые молекулы белка, способные опознавать молекулы определенных соединений: белков, пептидов, низкомолекулярных гормонов и других веществ.

В большинстве случаев соединение рецептора с сигнальной молекулой активирует специальный фермент. Рецепторы устроены так, что опознаваемые ими молекулы или части этих молекул способны входить в рецепторы, как ключ в замочную скважину. При этом состояние и деятельность клетки меняются.

В последние годы получены данные о том, что в клетках растений и животных многочисленные белки семейства митоген-активируемых протеинкиназ (МАРК) причастны к передаче различных типов сигналов из окружающей среды (ЕРК-типы МАРК) и от фитогормонов. Сеть серин/треониновых протеинкиназ в клетках растений является универсальным механизмом передачи сигналов и функционирует как единый центральный процессор: принимает и обрабатывает информацию, поступающую от чувствительных к сигналам окружающей среды рецепторов, таких как свет, изменение температуры, гравитация, атаки микробов или осмотический дисбаланс, а также фитогормоны, – и далее, на основании этой информации, вызывает изменения в экспрессии генов, делении, метаболизме и росте клеток, способствуя таким образом адаптации растений к условиям окружающей среды [39, 50, 61, 63].

Фотоморфогенетическое воздействие света на растение реализуется через регуляторные фоторецепторы, которые состоят из поглощающего свет пигмента (хромофора), связанного с молекулой белка-эффектора (апопротеина). Поглощение света хромофором вызывает изменение окислительно-восстановительного потенциала или конформационного состояния апопротеина рецептора, которое запускает трансдукцию светового сигнала через цепь вторичных посредников. Среди них выделяют четыре типа фоторецепторов: фоторецепторы синей и ближней ультрафиолетовой областей спектра (В и UV-A) – криптохромы *Cry1*, *Cry2* и *Cry3* [55]; фоторецепторы синей части спектра (В) – фототропины *Phot1* и *Phot2* [53, 64]; фоторецепторы ближнего красного и дальнего красного спектров излучения (R и FR) – фитохромы *PhyA–PhyE* [48]; фоторецептор ультрафиолетового излучения (UV-B) [75].

В настоящее время относительно хорошо изучено действие фоторецепторов красного и синего света.

Наиболее изучена фитохромная система регуляции, включаемая ближней и дальней красной областями спектра излучения [14, 15, 44, 54, 65, 68]. Фитохром обнаружен у всех зеленых растений, даже у синезеленых водорослей. К реакциям, регулируемым фитохромной системой, относятся такие, как ингибирование роста стебля, открытие гипокотила, разворачивание семядолей, дифференциация эпидермиса и устьиц, образование элементов ксилемы, ориентация хлоропластов, фотопериодическая реакция растения и др.

Заметим, что, в отличие от гена фитохрома-А (*PhyA*), гены фитогормонов (*PhyB-PhyE*) экспрессируются с меньшей активностью, но их мРНК и белки имеют большую стабильность. Поэтому в темноте в этилированных проростках преобладает фитохром-А, а на свету – фитохром-В, который принимает участие в фитохромных реакциях растения в процессе их развития в условиях освещения.

Принцип действия фитохромов основан на их фотоконверсии между двумя взаимопревращающимися формами – *PhyB<sub>FR</sub>*, поглощающей ближний красный свет (со спектральным максимумом поглощения 660 нм), и *PhyB<sub>R</sub>*, поглощающей дальний красный свет (со спектральным максимумом поглощения 740 нм). Конверсия *PhyB<sub>R</sub>-PhyB<sub>FR</sub>* связана с обратимой Z/E-фотоизомеризацией билиновых хромофоров под воздействием соответствующего излучения. При определенных условиях освещенности существует динамическое равновесие между основными формами фитохрома, так как спектры поглощения для *PhyB<sub>R</sub>* и *PhyB<sub>FR</sub>* имеют перекрывающиеся участки в красной, дальней красной и синей областях. На протяжении большей части дня соотношение энергии красных и дальних красных лучей составляет 3 : 1, что благоприятствует превращению пассивного *PhyB<sub>R</sub>* в активный *PhyB<sub>FR</sub>*. В темноте преобладает *PhyB<sub>R</sub>*, поскольку фитохром синтезируется в клетках растений именно в этой форме.

Конкретная природа хромофоров разных субсемейств фитохромов неодинакова. Например, растительные и цианобактериальные фитохромы встраивают фитохромобилин (РНУВ) и фикоцианобилин (РСВ), а фитохромы неоксигенных фототрофных и нефотосинтезирующих бактерий, а также грибов – биливердин IXa (BV) [73]. Локализованные в ядре фитохромы связаны со специфическими белковыми комплексами, названными фототелами. Размер и распределение этих структур регулируются интенсивностью и продолжительностью освещения, и они включаются в подстройку передачи сигналов фитохрома [58].

При освещении ближним красным светом (R) экспортированный в ядро активный конформер *PhyB<sub>R</sub>* физически взаимодействует с регулятором транскрипции PIF6, обуславливая уменьшение накопления транскрипционных факторов в клетке, сопровождающееся изменением транскрипции определенных генов и началом светового управления. Предполагаемая схема такого управляющего воздействия светового излучения на геномную подсистему клетки растения через фоторецепторный белок фитохрома проиллюстрирована на рис. 2.

В данном случае ближняя красная подсветка (660 нм) преобразует неактивный белок *PhyB<sub>R</sub>* в активную форму *PhyB<sub>FR</sub>* и вызывает его гетеродимеризацию с помощью регулятора транскрипции PIF6, присоединенного через ДНК-связывающий домен (BD) к сайту оператора. *PhyB*, слитый с доменом активации (AD), рекрутирует комплекс инициации транскрипции PolIII и запускает активацию минимального промотора (Pmin). Поглощение фотона дальнего красного света (740 нм) превращает *PhyB<sub>FR</sub>* в неактивную форму *PhyB<sub>R</sub>* и запускает его диссоциацию от PIF6, что приводит к деактивации целевого промотора митоген-активируемых протеинкиназ, причастных к передаче различных типов сигналов из окружающей среды и от фитогормонов. Таким образом, через фитохром происходит активация экспрессии генов хлоропластных белков и стимуляция процесса дифференцировки хлоропластов, что оказывает непосредственное действие на формирование фотосинтетического аппарата растений.

На основании запускаемых светом с той или иной длиной волны сигналов фитохромной системы растение изменяет стратегию своего развития. Следует отметить, что многие контролируемые фитохромом процессы фотоморфогенеза зависят от длительности и

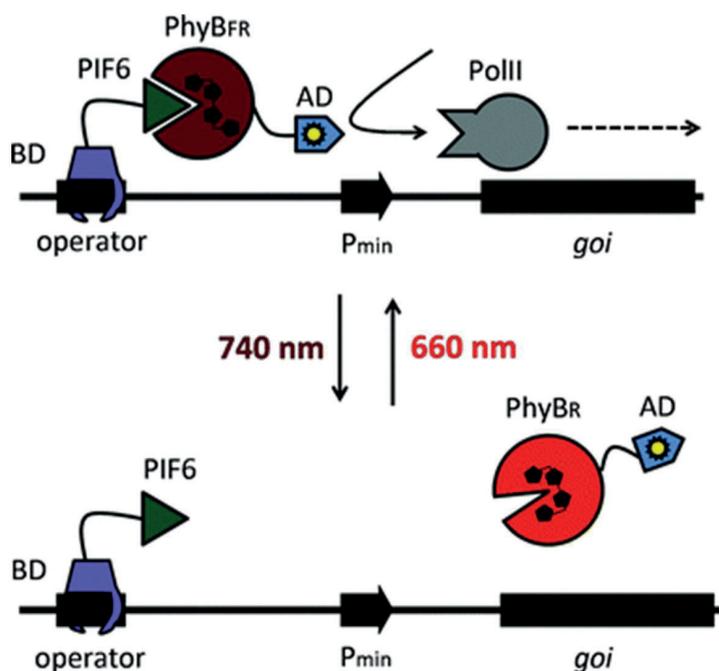


Рис. 2. Схема молекулярного дизайна системы экспрессии генов посредством реагирующих на красный свет фитохромных белков [75]

интенсивности освещения. Например, кратковременное и низкоинтенсивное освещение стимулирует низкоэнергетические реакции растений: подавление удлинения междоузлий, ускорение роста листа, выпрямление крючка гипокотыля и др., а более длительное и более интенсивное облучение способствует нормальному росту побегов.

Синий (390–500 нм) и ближний ультрафиолетовый (370–390 нм) свет с помощью фоторецепторов (криптохромов и фототропинов) регулирует у высших растений такие реакции, как движение хлоропластов, подавление элонгации гипокотыля, циркадный ритм, экспрессия генов и открывание устьиц.

В криптохромах хромофорными группами служат флавин и птерин (или деазафлавин). Светособирающим хромофором является птерин. Белки криптохромов родственны ДНК-фотолиазам – ферментам, которые участвуют в восстановлении повреждений ДНК, вызванных УФ-светом. Хотя криптохромы не могут непосредственно восстанавливать ДНК, первичные акты захвата света у них такие же, как у фотолиаз. Криптохромная фоторецепторная система локализована в ядре. Предполагают наличие светозависимого транспорта криптохромов через ядерную мембрану [57].

Криптохромы и *UVR8* в растениях контролируют биосинтез антоцианов и каротиноидов [42]. От криптохромного сигнала зависит экспрессия генов халконсинтазы, халконизомеразы, дигидрофлавонолредуктазы и других ферментов биосинтеза антоцианов. Криптохромный сигнал тормозит рост гипокотыля на свету, контролирует процессы деэтиоляции и устьичную проводимость. Центральное место в криптохромном процессе регуляции развития растений занимает светозависимое расщепление конститутивного белка, участвующего в фотоморфогенезе *COP1* (constitutive photomorphogenic 1). Например, С-концевой домен *Cry1* взаимодействует с белком *COP1* (Е3-убиквитинлигазой), который участвует в светорегулируемом расщеплении транскрипционных факторов с доменом типа «лейциновой молнии» *HY5* (long hypocotyl 5), *HYH* (гомолог *HY5*), *HFR1* (long hypocotyl in far-red) и *LAF1* (long after far-red light 1). Вызванные светом конформационные изменения криптохромов индуцируют структурную модификацию *COP1*, что приводит к освобождению *HY5*, связанного с *COP1* в темноте [42].

Рассмотренная сигнальная система *Cry1-COP1-HY5*, по всей видимости, участвует в индукции ответных реакций растений на свет высокой интенсивности [57]. Фоторецептор *Cry2* функционирует в основном при низких интенсивностях синего света и, в отличие от *Cry1*, быстро разрушается под действием ближнего ультрафиолетового, синего и зеленого света. На синем свете низкой интенсивности этот рецептор ингибирует элонгацию гипокотыля. Оба криптохрома являются основными регуляторами индуцируемых синим светом генов [42].

Фототропины (*Phot1* и *Phot2*) – мембранные рецепторы синего света. В клетке растения свет влияет на уровень экспрессии фототропинов. Фототропины регулируют такие процессы, как фототропизм побега, движение хлоропластов, устьичные движения, и управляют фототропизмом растений. В качестве хромофора в фототропине присутствует флаavin, а также хромофор на основе каротиноида. В связи с этим помимо синего света фототропин воспринимает также и ближний ультрафиолет. *Phot1* и *Phot2* обладают разной фотосенсорной чувствительностью к синему свету. Это приводит к оптимизации фотосинтеза и способствует росту растений в условиях низкой освещенности [51]. *Phot1* является протеинкиназой и функционирует при различных интенсивностях синего света, в то время как *Phot2* действует только на интенсивном синем свете. Этот рецептор играет основную роль в хлоропластной реакции избегания интенсивного света и вместе с *Cry1* защищает растения от избыточного освещения [57].

Известно, что красный и синий свет изменяет содержание отдельных групп фитогормонов [52], а некоторые фитогормоны в темноте могут вызывать реакции, подобные световым [71]. Такие проявления позволяют судить о том, что фитогормоны выступают в роли некоторых промежуточных передатчиков светового сигнала [72].

В настоящее время обнаружен лишь один рецептор – *UVR8*, способный специфично распознавать фотоны ультрафиолетового излучения UV-B [3]. *UVR8* представляет собой белок, который в неактивном состоянии существует в форме димера, локализованного в цитоплазме, а при поглощении ультрафиолетового излучения переходит в активную мономерную форму, способную перемещаться в ядро. Значительная часть активной формы рецептора остается в цитоплазме, но ее функции там пока не известны. Хромофором, поглощающим ультрафиолетовое излучение, выступают остатки триптофана. Редимеризация и инактивация рецептора происходят в темноте в течение нескольких часов. Показано, что *UVR8* запускает фототропизм и зависимый от дальнего ультрафиолетового света фотоморфогенез, который может включать деэтиоляцию, остановку роста гипокотыля проростков, активацию биосинтеза флавоноидов и даже регуляцию циркадных ритмов и устойчивость растений к патогенам и грызущим насекомым. Также установлено, что освещение дальним ультрафиолетовым излучением усиливает уровень иммунитета растений как зависимо, так и независимо от жасмонатного сигналинга.

Несмотря на то что зеленый свет преобладает в спектре солнечного излучения, управляющее действие его на растения мало изучено. До сих пор сохраняется представление об отсутствии фотохимической и физиологической активности зеленого света, и поэтому он используется в качестве «темноты» при постановке физиологических экспериментов [69]. Исследования последних лет показывают существенную активность зеленого света в регуляции морфологии клеток, тканей и органов, процессов фотосинтеза, дыхания и роста, продолжительности этапов онтогенеза растений [7, 70, 74]. Регуляторные пигменты на зеленый свет запускают у растений каскады вторичных мессенджеров, которые активируют геном (ядерный, хлоропластный, митохондриальный) и контролируют активность процессов жизнедеятельности растений. Кроме того, зеленый свет является одним из факторов, управляющих реакциями растений при «синдроме избегания тени» и позволяющих растениям конкурировать с соседями в плотном фитоценозе [45]. Этот синдром затрагивает также экспрессию определенных генов. Одновременно сигналы зеленого света инициируют экспрессию генов, профили которых напоминают профили экспрессии генов, опосредованные длинноволновым красным светом, т.е. фитохром может

быть преобразован зеленым светом в биологически активную форму, поглощающую длинноволновый красный свет [74]. Несмотря на то что пороговая величина интенсивности зеленого света для возбуждения фитохрома в 2,5 раза выше, чем красного света, его действие при насыщающих фитохромный эффект дозах близко к регуляторному действию красного света. Зеленый свет участвует в регуляции эндогенного уровня фитогормонов, поддерживая синтез и перераспределение ауксина, в деградации белков семейства DELLA и увеличивает экспрессию генов, активированных ауксинами, гиббереллинами и брассиностероидами [43]. Однако остается нераскрытой природа рецептора зеленого света, практически не изучен гормональный статус растений при адаптации к такому свету, не выяснена трансдукция сигнала зеленого света.

### Экспериментальные результаты изучения светового управления морфогенезом растений

Каким образом свет управляет геномом растений и как комбинацией спектральных компонент излучения и их интенсивности создать оптимальный режим освещения, чтобы максимально раскрыть генетический потенциал и обеспечить максимальную урожайность растений? Решение этих проблем должно быть основано на экспериментах с различными растениями. Множество ранее выполненных исследований с использованием монохроматоров и специальных спектральных фильтров позволило детально изучить влияние качественного состава света на развитие растений [30]. Однако эти исследования до сих пор не дали однозначного ответа на поставленные выше вопросы. По-видимому, в значительной мере это было обусловлено отсутствием широкополосных источников излучения с управляемым спектральным составом. Одним из способов получения широкополосного светового излучения является совместное использование в одном осветительном приборе различных полупроводниковых светодиодов. Современные светодиоды перекрывают чрезвычайно широкий диапазон спектров излучения – от ультрафиолетового до инфракрасного [27]. Таким образом, комбинируя набор разных светодиодов, можно создать мультиспектральные управляемые источники света, позволяющие получить свет любой интенсивности и

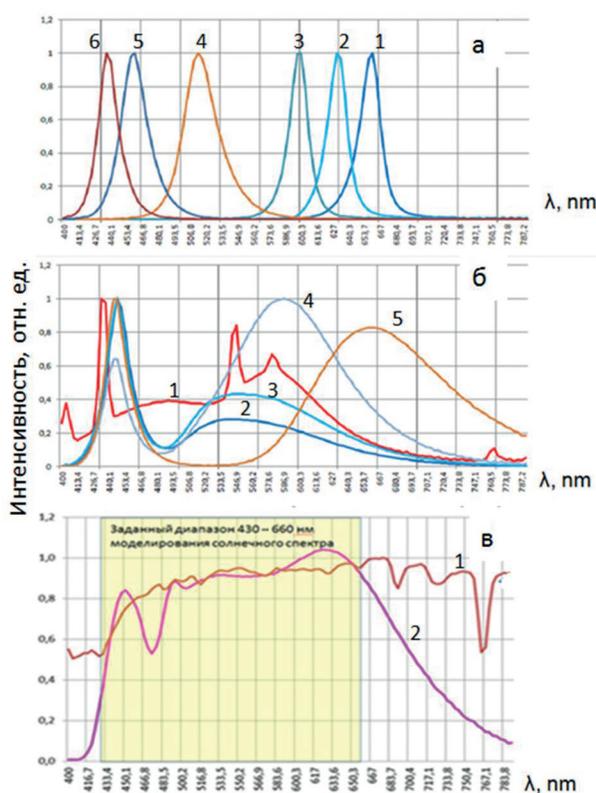


Рис. 3. Примеры спектров излучения, создаваемых многоэлементным матричным светодиодным источником света: а – монохроматический спектр: 1 – красный (R), 2 – глубокий красный (DR), 3 – желтый (Y), 4 – зеленый (G), 5 – голубой (B), 6 – глубокий голубой (RB); б – спектры излучения: 1 – люминесцентная лампа белого света (LFW), 2–5 – полихроматический спектр матричного многоэлементного LED: 2 – холодный белый (CW), 3 – белый (W), 4 – теплый белый (WW), 5 – холодный спектр (FS); в – спектр излучения Солнца (S) – 1, полный спектр многоэлементного матричного LED (SS) – 2

с практически любым спектральным составом. На рис. 3 приведены спектральные характеристики управляемого многоэлементного матричного светодиодного источника света, описанного в работах [47, 60]. Данный источник света позволяет по заданной программе изменять интенсивность, спектральный состав и длительность светового потока.

В работе [59] изучено влияние спектрального состава и интенсивности широкополосного светового излучения на рост и развитие растений с использованием многоэлементного матричного светодиодного источника света, спектр излучения которого варьировался в диапазоне длин волн 440–660 нм (SS) и мог быть близким по спектральному составу к спектру излучения Солнца. Эксперименты проводили на растениях – регенерантах картофеля *Solanum tuberosum* L., оздоровленных методом апикальной меристемы и культивируемых в условиях *in vitro*. Для контроля использовали растения, выращенные под люминесцентными лампами (LFW). Результаты экспериментов, иллюстрирующие динамику развития растений при воздействии разных спектров излучения, представлены на рис. 4 [5].

Опыты показали, что растения, выросшие на синем свете (B, RB), приземисты, а на красном (R, DR) – вытянуты. Листья первых имеют нормальные размеры, вторых – недоразвиты и неправильной формы. Красные лучи спектра стимулируют фазу растяжения клеток, а сине-фиолетовые – фазу дифференциации. Растения, выросшие под желтым и зеленым излучением (Y, G), демонстрируют вытянутость и слабое развитие листовой, т.е. монохроматический желтый и зеленый свет способствует быстрому росту в длину (при этом формируются хрупкие и тонкие растения), но это не приводит к накоплению достаточной биомассы. В целом для растений, культивируемых при монохроматическом свете (кроме синего и глубокого синего), отмечена максимальная высота стебля, в 1,5 раза превышающая аналогичный показатель у контрольной группы растений, выращиваемых под люминесцентной лампой. Наибольшее увеличение длины стебля у данных групп растений происходит за счет вытягивания междоузлий.

Переход к полихроматическому излучению (CW, W, WW, FS и SS) демонстрирует явное отличие от монохроматического освещения, которое проявляется в более интенсивном развитии листовой и корневой системы растений. В то же время высота растений, культивируемых при полихроматическом свете, в 0,6 раза меньше, чем в контроле (люминесцентная лампа – LFW). Наибольшая длина и ширина листьев выявлены у растений, выращиваемых при глубоком синем (RB) и холодном белом свете (CW). Максимальная масса надземной части растений отмечена у экземпляров, выращенных при полихроматическом свете (CW и W). Это свидетельствует об эффективности полихроматического светового излучения, имеющего парные спектральные максимумы на длинах волн 446,8 и 546,9 нм (CW), 446,8 и 550,2 нм (W).

Очень часто универсальность и эффективность не совпадают. Исследования на ценозах показали, что у растений разных видов наблюдаются различные требования к оптимальному сочетанию спектральных и энергетических характеристик светового режима [13]. Как отмечалось выше, основную роль в регуляции морфогенетических процессов у растений выполняют фоторецепторы: фитохромы, криптохромы и фототропин, управляющие фитогормонами клеток растений, синтез и воздействие на которые активированных светом фоторецепторных белков либо не исследованы вообще, либо изучены недостаточно. В частности, известно, что красный и синий свет изменяет содержание отдельных групп фитогормонов, что может проявиться в специфичности действия спектра излучения на морфогенез растений.

Были проведены эксперименты по выращиванию *in vitro* микроклональных растений картофеля *Solanum tuberosum* L. при освещении двухкомпонентным излучением с длинами волн 460 и 660 нм, которые попадают в максимум поглощения хлорофилла *b*, а также при освещении широкополосным, близким по спектральному составу к излучению Солнца, светодиодным излучением (SS) в диапазоне длин волн от 440 до 660 нм. В последнем случае SS-спектр излучения позволяет не только возбудить хлорофилл *a* и *b*, но и активировать практически все фоторецепторные белки растений. На рис. 5 приведены

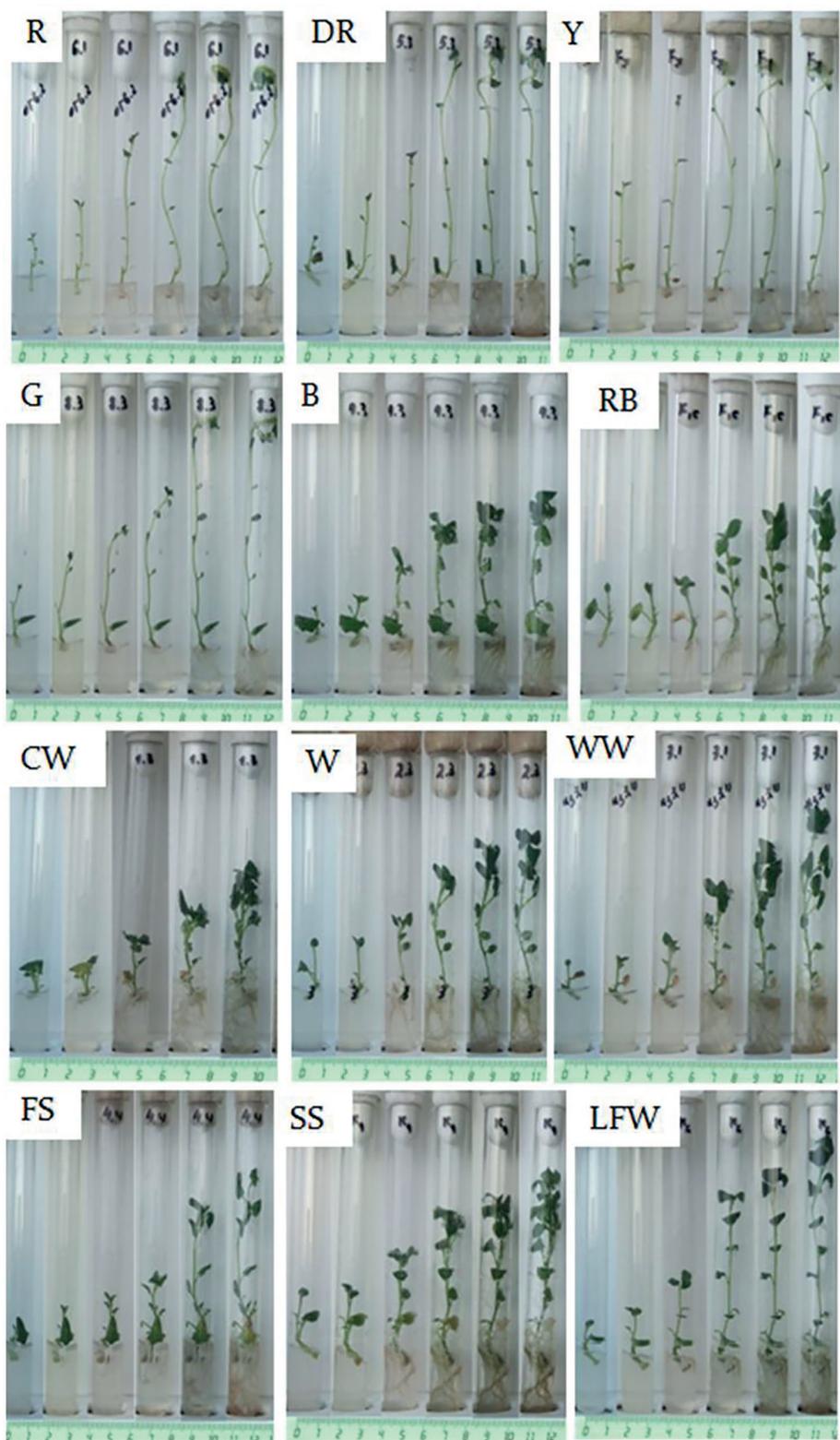


Рис. 4. Фотографии микроклональных растений картофеля, выращенных *in vitro* при облучении разными спектрами излучения, создаваемого управляемыми матричными LED-источниками света (интервал фиксации результатов эксперимента – 7 дней)

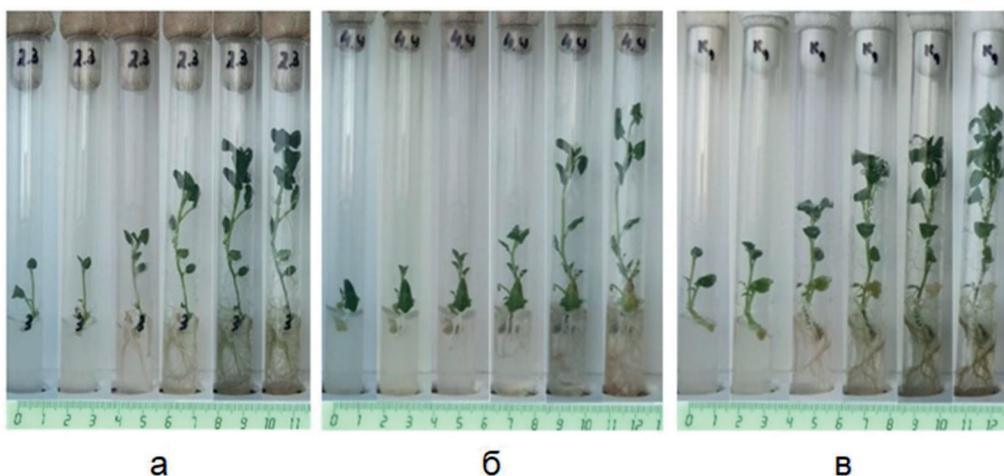


Рис. 5. Фотографии микроклональных растений картофеля, выращенных *in vitro* при облучении: *а* – люминесцентной лампой белого света (LFW), *б* – двухспектральным LED-источником с максимумами на длинах волн 460 и 660 нм, *в* – управляемым SS-многокомпонентным матричным LED-источником с разными спектрами излучения на длинах волн 440–660 нм. Интервал фиксации развития растений – 7 дней

фотографии динамики развития микроклональных растений в сравнении с контрольным освещением люминесцентной лампой белого света. Результаты экспериментов показали, что использование SS-источника излучения позволяет добиться увеличения биомассы растений на 30 % в сравнении с двухволновым облучением и увеличения биомассы на 17 % по отношению к контрольному освещению. Таким образом, для обеспечения максимальной продуктивности растений целесообразно использование широкополосного светового излучения.

Существующие источники искусственного света, за редким исключением, не могут воспроизводить солнечный спектр в диапазоне фотосинтетически активной радиации или генерируют похожий спектр, но с пиковыми выбросами на ряде отдельных частот (рис. 1), что не позволяет добиться максимальной эффективности. Поэтому SS-многокомпонентный матричный LED-источник излучения представляет значительный интерес для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. В то же время наряду с подбором спектрального состава излучения необходимо обращать внимание и на энергетическую компоненту излучения. Исследования, выполненные *in vitro* с растениями – регенерантами картофеля *S. tuberosum* сортов «Рождественский» и «Снегирь», а также стевии медовой (*Stevia rebaudiana*), показали наличие оптимальной интенсивности широкополосного освещения растений, при которых достигается их максимальный отклик [22, 29].

На рис. 6 приведены фотографии, иллюстрирующие эффективность процесса развития стевии медовой при разном уровне интенсивности ее освещения широкополосным источником излучения спектра SS.

Воспринимая световые сигналы, фоторецепторы иницируют внутриклеточные сигнальные пути и тем самым регулируют развитие растений на протяжении всего жизненного цикла. Сигналом для запуска морфогенеза растений служит изменение соотношения фитогормонов цитокининов и ауксинов, которые являются регуляторами не только роста, но и дифференцировки клеточных структур. Взаимодействие гормонов растений может наблюдаться в формах синергизма и антагонизма. Синергическое действие связано с взаимным усилением действия гормонов на какой-либо процесс. Так, в частности, регенерация побегов из каллуса активизируется под действием цитокининов в присутствии ауксинов. Как правило, существует несколько путей, по которым может пойти развитие каллусной клетки. Поскольку основную роль в регуляции морфогенетических процессов светом выполняют фоторецепторы, то в каллусной структуре под воздействием света

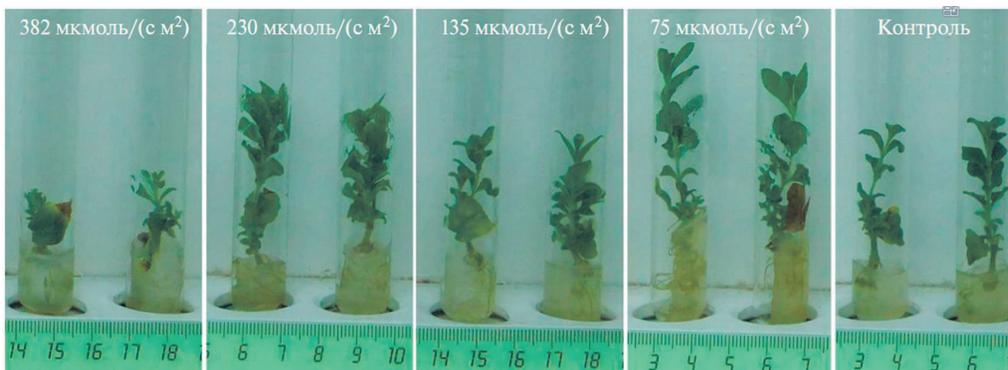


Рис. 6. Внешний вид растений стевии медовой *Stevia rebaudiana*, культивируемых при разной интенсивности света

происходит синтез фитогормонов, который активируется различным спектром излучения через фоторецепторные белки.

В культуре каллусных тканей под морфогенезом понимают возникновение организованных структур из неорганизованной массы клеток. В работе [60] исследовалось влияние спектра облучения на развитие дифференцированных зон в каллусной массе клеточной культуры риса сорта «Долинный».

На рис. 7 приведены фотографии, иллюстрирующие понедельную динамику развития культуры в *in vitro*.

Было установлено, что для каждого спектра излучения существует оптимальная интенсивность излучения, при которой наблюдается максимальная скорость развития каллусной культуры. Приведенные в таблице результаты наблюдений позволяют проследить динамику влияния регулируемого различным спектром излучения фоторецепторного отклика на взаимодействия гормонов ауксинов и цитокининов. Известно, что ауксины действуют на рост клеток двухфазно, в зависимости от концентрации: при низких дозах ускоряют, а при более высоких тормозят процессы роста. В стерильных тканевых культурах добавление цитокининов вызывает дифференцировку клеток в зависимости от концентрации гормона.

В частности, под действием цитокинина синтезируется хлорофилл. Как видно, присутствие значительной части синего света с небольшим содержанием красного в полихроматическом излучении LFW и CW (спектральный состав излучения показан на рис. 3) приводит к росту зеленой (хлорофилльной) массы, что, по-видимому, обусловлено

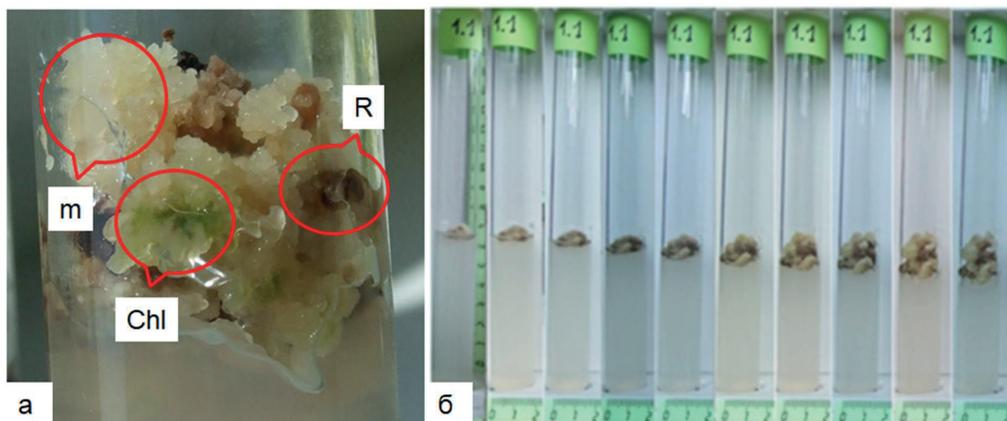


Рис. 7. Фотография каллусной массы (m) клеточной культуры риса сорта «Долинный» (a) с включениями зеленой (Chl) и коричневой (R) зон, а также понедельная динамика развития культуры *in vitro* (б)

**Динамика роста зеленой и коричневой зон, а также каллусной массы клеточной культуры риса сорта «Долинный» под воздействием различных спектров излучения**

День наблюдения	Спектр излучения									
	LFW	CW	W	WW	DR	R	Y	G	B	RB
42	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	m	m	m	m	m	-
49	++	+	+	+	-	-	-	-	++	++
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	m	m	m	m	-	-
56	++	+	+	+	-	-	-	-	+++	++
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	m	m	m	m	-	-
63	+++	+	+	+	-	-	-	-	+++	+
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	m	m	m	m	-	m
70	+++	+++	+	+	-	-	-	-	++	-
	-	-	-	R	-	-	-	-	R	-
	-	-	-	-	m	m	m	m	-	m
77	+++	+++	-	+	-	-	-	-	+	-
	-	-	-	R	R	R	-	-	R	-
	-	-	-	-	m	m	m	m	m	m
84	+++	++++	-	++	-	-	-	-	+	-
	-	-	-	R	R	R	-	-	R	-
	-	-	-	-	m	m	m	m	m	m
91	+++	+++++	-	++	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	R	R	R	-	-	R	-
	-	-	m	m	m	m	m	m	m	m
98	+++	+++++	-	++	-	-	-	-	-	-
	R	-	-	R	-	R	-	-	R	-
	-	-	m	m	m	-	m	m	m	m
105	+++	+++++	-	++	-	-	-	-	+	-
	R	R	-	R	-	R	-	-	R	-
	-	m	-	m	-	-	m	m	m	m

Примечание. + – увеличение объема хлорофилла, R – увеличение объема коричневой зоны, m – увеличение объема каллусной массы. Прочерк означает отсутствие роста.

повышением концентрации цитокининов по отношению к ауксинам. Уменьшение или отсутствие доли синего света в спектре излучения тормозит образование хлорофилльной массы, тогда как повышение доли красной компоненты ведет к образованию коричневой (корневой) клеточной структуры и росту массы каллуса, что, видимо, обусловлено повышением концентрации ауксинов.

Таким образом, выявленный процесс регуляторного действия спектра излучения на ключевые этапы дифференцировки клеток каллуса, зависящие от соотношения гормонов ауксинов и цитокининов, образующихся под воздействием фоторецепторной системы в клеточной массе каллусов, дает основание говорить о необходимости дальнейшего развития фундаментальных исследований регуляторного действия света, которые должны послужить прогрессу в создании новых механизмов эндогенной регуляции развития растений.

### **Заключение**

Последние 10 лет в научном сообществе прочно укоренился термин «оптогенетика». Сегодня оптогенетика – междисциплинарное научное направление, объединяющее генную инженерию, оптику и физиологию. Оптогенетика позволяет избирательно изучать определенные клетки и управлять их работой путем внедрения в мембрану клеток методами генной инженерии светочувствительных компонентов (белков), которые в ответ на световое излучение определенной длины волны могут изменять свойства клетки-носителя

и служить ее флуоресцентными метками [12, 40]. В отличие от животных, растения изначально должны реагировать на свет, чтобы жить. Для этого у них существует созданная природой фоторецепторная система. Поэтому свет для растений не только источник энергии, но и важный фактор окружающей среды, который контролирует различные пути передачи сигналов. Свет является одним из основных регуляторов развития растений и их метаболизма. Экспрессия генов у растений регулируется светом на многих уровнях. Уровень генного продукта может контролироваться путем регуляции уровня транскрипции его гена или путем регуляции трансляции его мРНК в белок [66].

На сегодня взаимосвязь между фоторецепторной системой растений и эндогенными программами их развития по-прежнему остается малоизученной. Хотя активация светом генетического аппарата биосинтеза белков уже не вызывает сомнений, следует подчеркнуть, что подобный эффект представляет собой не начальный, а один из заключительных этапов действия фоторецепторных белков, а материальная природа сигнала, распространяющегося от фоторецептора к ядру клетки, остается невыясненной. При этом морфогенетические реакции могут происходить, по-видимому, вообще без участия ядерного аппарата клетки. Положение усложняется еще и тем, что отклики различных фоторецепторных белков в ряде случаев дублируются или обладают сходным действием, и не все эффекты имеют одинаковые временные характеристики. Большинству световых реакций растений соответствует длительный (несколько часов) латентный период, однако известны и такие реакции, которые происходят практически сразу же после освещения. Поэтому до сих пор нет общепринятых критериев для разграничения первичных, промежуточных и конечных индуцированных фотохромных эффектов.

Ответить на все эти вопросы необходимо, если человечество ставит своей задачей овладеть процессом фотоморфогенеза растений в целях повышения эффективности производства сельскохозяйственных культур и наиболее полного раскрытия их генетического потенциала.

Таким образом, актуальным становится формирование нового междисциплинарного, с большой инновационной компонентой, научного направления – оптогенетика растений.

Оптогенетика растений – это набор технологий, которые позволяют при помощи излучения возбуждать или затормаживать активность определенных генов клеток растений, используя природную фоторецепторную белковую систему. Главная цель создаваемого научного направления – расшифровать процессы активации светом генетического аппарата биосинтеза белков и сигнальных механизмов в клетках растений и на базе этого разработать технологию эффективного стимулирования внутренних механизмов продукционного развития без геномной модификации растений и стимулирования химикатами.

Основные задачи исследования оптогенетического управления развитием растений можно сформулировать следующим образом:

- 1) исследовать взаимосвязь между фоторецепторной системой растений и эндогенными программами их развития;
- 2) изучить сигнальные каскады и процессы взаимодействий между фитохромами и фитогормонами;
- 3) исследовать процессы регуляции светом гормонального и генетического аппаратов биосинтеза белков в клетках растений;
- 4) найти гены, работа которых при воздействии на растение излучением определенного спектра и интенсивности ведет клетки по пути той или иной дифференцировки;
- 5) изучить механизмы, которые при воздействии излучения определенного спектра и интенсивности включают или выключают эти гены в нужный момент;
- 6) понять, как световое излучение стимулирует взаимодействие разных генов и каков порядок их работы и характер (торможение или активация);
- 7) создать схему светового генетического контроля развития клетки, ткани, частей и всего растения;

8) научиться управлять с помощью света не только продуктивностью, но и стрессоустойчивостью растений;

9) разработать технологии эффективного светового стимулирования внутренних механизмов продукционного развития растений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Беленький Е.Ф., Рискин И.В. Химия и технология пигментов. 4-е изд., пер. и доп. Л.: Химия, 1974. 656 с.
2. Бриттон Г. Биохимия природных пигментов. М.: Мир, 1986. 422 с.
3. Войцеховская О.В. Фитохромы и другие (фото)рецепторы информации у растений // Физиол. растений. 2019. Т. 66, № 3. С. 163–177.
4. Воскресенская Н.П. Фотосинтез и спектральный состав света. М.: Наука, 1965. 309 с.
5. Гафицкая И.В., Наконечная О.В., Журавлев Ю.Н., Субботин Е.П., Кульчин Ю.Н. Перспективы использования светодиодного излучения при культивировании *in vitro* растений – регенерантов картофеля // Перспективы фотобиотехнологии для улучшения качества жизни на Севере: сб. материалов III науч.-практ. конф. с международным участием. Якутск, 2018. С. 35–37.
6. Головацкая И.Ф. Морфогенез растений и его регуляция. Ч. 1. Фоторегуляция морфогенеза растений. Томск: Томский гос. ун-т, 2016. 172 с.
7. Головацкая И.Ф., Карначук Р.А. Роль зеленого света в жизнедеятельности растений // Физиол. растений. 2015. Т. 62, № 6. С. 776–791.
8. Гречкин А.Н., Тарчевский И.А. Сигнальные системы клеток и геном // Биоорган. химия. 2000. Т. 26, № 10. С. 779–781.
9. Гэлстон А., Девис П., Сэттер Р. Жизнь зеленого растения. М.: Мир, 1983. 552 с.
10. Дерфлинг К. Гормоны растений. Системный подход. М.: Мир, 1985. 304 с.
11. Дубовская Л.В., Молчан О.В., Волотовский И.Д. Фоторегуляция цГМФ в проростках овса // Физиол. растений. 2001. Т. 48, № 1. С. 26–29.
12. Ерофеев А.И., Матвеев М.В., Терехин С.Г., Захарова О.А., Плотникова П.В., Власова О.Л. Оптогенетика – новый метод исследования нейрональной активности // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Физ.-мат. науки. 2015. № 3 (225). С. 61–74.
13. Жилинский Ю.М., Кумин В.Д. Электрическое освещение и облучение. М.: Колос, 1982. 268 с.
14. Заворуева Е.Н., Заворуев В.В., Крум С.П. Лабильность первой фотосистемы фототрофов в различных условиях окружающей среды. Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2011. 152 с.
15. Карначук Р.А., Негрецкий В.А., Головацкая И.Ф. Гормональный баланс листа растения на свету разного спектрального состава // Физиол. растений. 1990. Т. 37, № 3. С. 527–534.
16. Конев С.В. Фотобиология. Минск: БГУ, 1979. 385 с.
17. Кулаева О.Н. Как свет регулирует жизнь растений // Соросовский образоват. журн. 2001. Т. 7, № 4. С. 6–12.
18. Кулаева О.Н., Кузнецов В.В. Новейшие достижения и перспективы изучения механизма действия фитогормонов и их участия в сигнальных системах целого растения // Вестн. РФФИ. 2004. № 36. С. 12–36.
19. Ладыгин В.Г., Ширшикова Г.Н. Современные представления о функциональной роли каротиноидов в хлоропластах эукариот // Журн. общ. биологии. 2006. Т. 67, № 3. С. 163–189.
20. Макаренко О.А., Левицкий А.П. Физиологические функции флавоноидов в растениях // Физиол. и биохимия культ. раст. 2013. Т. 45, № 2. С. 100–112.
21. Муромцев Г.С., Агнистикова В.Н. Гиббереллины. М.: Наука, 1984. 208 с.
22. Наконечная О.В., Гафицкая И.В., Бурковская Е.В., Хроленко Ю.А., Грищенко О.В., Журавлев Ю.Н., Субботин Е.П., Кульчин Ю.Н. Влияние интенсивности света на морфогенез *Stevia rebaudiana* в условиях *in vitro* // Физиол. растений. 2019. Т. 66, № 4. С. 304–312.
23. Полевой В.В. Внутриклеточные и межклеточные системы регуляции у растений // Соросовский образоват. журн. 1997. № 9. С. 6–11.
24. Полевой В.В. Фитогормоны. Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. 248 с.
25. Протасова Н.Н. Светокультура как способ выявления потенциальной продуктивности растений // Физиол. растений. 1987. Т. 34, № 4. С. 812–822.
26. Роньжина Е.С. Цитокинины в регуляции донорно-акцепторных связей у растений. Калининград: Изд-во КГТУ, 2005. 266 с.
27. Светодиоды и их применение для освещения / под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Знак, 2011. 280 с.
28. Синнот Э. Морфогенез растений. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 601 с.
29. Субботин Е.П., Гафицкая И.В., Наконечная О.В., Журавлев Ю.Н., Кульчин Ю.Н. Влияние искусственного солнечного света на рост и развитие растений – регенерантов *Solanum tuberosum* // Turczaninowia. 2018. Т. 21(2). С. 32–39.
30. Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 213 с.

31. Тюреева Е.В., Дмитриева В.А., Войцеховская О.В. Хлорофилл *b* как источник сигналов, регулирующих развитие и продуктивность растений // Сельхоз. биология. 2017. Т. 52, вып. 5. С. 843–855.
32. Фрайкин Г.Я. Белковые сенсоры света: фотовозбужденные состояния, сигнальные свойства и применение в оптогенетике. М.: АР-Консалт, 2018. 87 с.
33. Холл Д., Рао К. Фотосинтез: пер. с англ. М.: Мир, 1983. 134 с.
34. Цыганкова В.А., Галкина Л.А., Мусатенко Л.И., Сытник К.М. Генетический и эпигенетический контроль роста и развития растений. Гены биосинтеза ауксинов и ауксинрегулируемые гены, контролирующие деление и растяжение клеток растений // Биополимеры и клетка. 2005. Т. 21, № 2. С. 107–133.
35. Червяковский В.П., Курченко В.А., Костюк Е.М. Роль флавоноидов в биологических реакциях с переносом электронов // Тр. Белорус. гос. ун-та. 2009. Т. 4, № 1. С. 9–26.
36. Шевелуха В.С. Периодичность роста сельскохозяйственных растений и пути ее регулирования. 2-е изд., доп. М.: Колос, 1980. 455 с.
37. Baier M., Dietz K.J. Chloroplasts as source and target of cellular redox regulation: A discussion on chloroplast redox signals in the context of plant physiology // J. Exp. Bot. 2005. Vol. 56, N 416. P. 1449–1462.
38. Blankenship R.E. Molecular Mechanisms of Photosynthesis. Oxford; Paris: Blackwell Science, 2002. 321 p.
39. Bogre L., Meskiene I., Heberle-Bors E., Hirt H. Stressing the role of MAP kinases in mitogenic stimulation // Plant. Mol. Biol. 2000. Vol. 43, N 5/6. P. 705–718.
40. Boyden E.S., Zhang F., Bamberg E., Nagel G., Deisseroth K. Millisecond-timescale, genetically targeted optical control of neural activity // Nat. Neurosci. 2005. Vol. 8, N 9. P. 1263–1268.
41. Briggs W.R., Olney M.A. Photoreceptors in plant photomorphogenesis to date. Five phytochromes, two cryptochromes, one phototropin, and one superchrome // Plant physiol. 2001. Vol. 125, N 1. P. 85–88. – <http://www.plant-physiol.org/content/125/1/85>.fu
42. Bulgakov V.P., Avramenko T.V., Tsitsiashvili G.Sh. Critical analysis of protein signaling networks involved in the regulation of plant secondary metabolism: focus on anthocyanins // Crit. Rev. Biotechnol. 2017. Vol. 37, N 6. P. 685–700.
43. Casal J.J. Shade avoidance // The Arabidopsis Book. 2012. N 10. – <https://doi.org/10.1199/tab.0157>
44. Chen M., Chory J. Phytochrome signaling mechanisms and the control of plant development // Trends in Cell Biol. 2011. Vol. 21, N 11. P. 664–671.
45. Folta K.M., Maruhnich S.A. Green light: a signal to slow down or stop // J. Exp. Bot. 2007. Vol. 58. P. 1–13.
46. Folta K.M., Childers K.S. Light as a growth regulator: controlling plant biology with narrow-bandwidth solid-state lighting systems // HortScience. 2008. Vol. 43, N 7. P. 1957–1964.
47. Gafitskaya I.V., Nakonechnaya O.V., Grishchenko O.V., Bulgakov V.P., Zhuravlev Yu.N., Subbotin E.P., Kulchin Yu.N. Growth of *Solanum tuberosum* plantlets *in vitro* under LED light sources // Asia-Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto- and Microelectronics. Taipei, Taiwan, 2017. Proceedings. 2019. Vol. 11024. – DOI: 10.1117/12.2314903.
48. Galvão R.M., Li M., Kothadia S.M., Haskel J.D., Decker P.V., Van Buskirk E.K., Chen M. Photoactivated phytochromes interact with HEMERA and promote its accumulation to establish photomorphogenesis in Arabidopsis // Genes Dev. 2012. Vol. 26. P. 1851–1863.
49. Galvão V.C., Fankhauser C. Sensing the light environment in plants: photoreceptors and early signaling steps // Curr. Opin. Neurobiol. 2015. Vol. 34. P. 46–53.
50. Garrington T.P., Johnson G.L. Organization and regulation of mitogen-activated protein kinase signaling pathways // Curr. Opin. Biol. 1999. Vol. 11. P. 211–218.
51. Goh Ch.H. Phototropins and chloroplast activity in plant blue light signaling // Plant Signal Behav. 2009. Vol. 4 (8). P. 693–695.
52. Hirose F., Shinomura T., Tanabata T., Shimada H., Takano M. Involvement of rice cryptochromes in de-etiolation responses and flowering // Plant and Cell Physiol. 2006. Vol. 47. P. 915–925.
53. Ito S., Song Y.H., Imaizumi T. LOV domain-containing F-box proteins: light-dependent protein degradation modules in Arabidopsis // Mol. Plant. 2012. Vol. 5. P. 573–582.
54. Jabben N., Shanklin J., Vierstra R.D. Red light-induced accumulation of ubiquitin-phytochrome conjugates in both monocots and dicots // Plant Physiol. 1989. Vol. 90. P. 380–384.
55. Kagawa T., Sakai T., Suetsugu N., Oikawa K., Ishiguro S., Kato T., Tabata S., Okada K., Wada M. Arabidopsis NPL1: a phototropin homolog controlling the chloroplast high-light avoidance response // Science. 2001. Vol. 291. P. 2138–2141.
56. Kim T.H., Kim B.H., Armin A.G. Repressors of photomorphogenesis // Int. Rev. Cytol. 2002. Vol. 220. P. 185–223.
57. Kleine T., Kindgren P., Benedict C., Hendrickson L., Strand A. Genome-wide gene expression analysis reveals a critical role for CRYPTOCHROME1 in the response of Arabidopsis to high irradiance // Plant Physiol. 2007. Vol. 144. P. 1391–1406.
58. Klose C., Viczian A., Kircher S., Schäfer E., Nagy F. Molecular mechanisms for mediating light-dependent nucleo/cytoplasmic partitioning of phytochrome photoreceptors // New Phytol. 2015. Vol. 206. P. 965–971.
59. Kulchin Yu.N., Nakonechnaya O.V., Gafitskaya I.V., Grishchenko O.V., Epifanova T.Yu., Orlovskaya I.Yu., Zhuravlev Yu.N., Subbotin E.P. Plant Morphogenesis under Different Light Intensity // Defect and Diffusion Forum. 2018. Vol. 386. P. 201–206.

60. Kulchin Yu.N., Zmeeva V.N., Subbotin E.P., Kostyanko A.A. The Effect of Multispectral Light Emitting Diodes (LEDs) on the Activation of Morphogenic Processes in Cell Culture of Rice *Oryza Sativa* L // Defect and Diffusion Forum. 2018. Vol. 386. P. 236–243.
61. Kùltz D. Phylogenetic and functional classification of mitogen- and stress-activated protein kinases // J. Mol. Evol. 1998. Vol. 46. P. 571–588.
62. Li J., Gang L., Haiyang W., Deng X.W. Phytochrome Signaling Mechanisms // Arabidopsis Book. 2011. Vol. 9. P. e0148. – DOI: 10.1199/tab.0148.
63. Machida Y., Nishihama R., Kitakura S. Progress in studies of plant homologs of mitogen-activated protein (MAP) kinase and potential upstream components in kinase cascades // Crit. Revs Plant Sci. 1997. Vol. 16. P. 481–496.
64. Moglich A., Moffat K. Engineered photoreceptors as novel optogenetic tools // Photochem. Photobiol. Sci. 2010. Vol. 9. P. 1286–1300.
65. Mohr H., Schopfer P. Plant physiology. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 629 p.
66. Mural R.J. Fundamentals of Light-Regulated Gene Expression // Plant Genetic Eng. / eds B.B. Biswas, J.R. Harris. Boston: Springer, 1991. P. 191–211. (Subcellular Biochem.; vol. 17).
67. Neuhaus G., Bowler C., Kern R., Chua N.A. Calcium/calmodulin-dependent and independent phytochrome signal transduction pathways // Nature. 1999. Vol. 400. P. 781–784.
68. Parks B.M., Folta K.M., Spalding E.P. Photocontrol of stem growth // Curr. Opin. Plant Biol. 2001. Vol. 4. P. 436–440.
69. Perdon J., Thiery L., Agnes C., Simond-Côte E. Polar auxin transport is required for inhibition by blue light of the elongation-related LeEXT tomato gene // Plant Growth Regul. 2004. Vol. 42. P. 113–123.
70. Pfeiffer A., Kunkel T., Hiltbrunner A., Neuhaus G., Wolf I., Speth V., Adam E., Nagy F., Schäfer E. A cell-free system for light-dependent nuclear import of phytochrome // Plant J. 2009. Vol. 57. P. 680–689.
71. Su W., Howell S.H. The effects of cytokinin and light on hypocotyl elongation in Arabidopsis seedlings are independent and additive // Plant Physiol. 1995. Vol. 108. P. 1423–1430.
72. Tanaka Y., Asaoka K., Takeda S. Different feeding and gustatory responses to ecdysone and 20-hydroxyecdysone by larvae of the silkworm, *Bombix mori* // J. Chem. Ecol. 1994. Vol. 20, N 1. P. 125–133.
73. Terry M.J., Maines M.D., Lagarias J.C. Inactivation of phytochrome- and phycobiliprotein-chromophore precursors by rat liver biliverdin reductase // J. Biol. Chem. 1993. Vol. 268, N 35. P. 26099–26106.
74. Wang Y., Folta K.M. Contributions of green light to plant growth and development // Amer. J. Bot. 2013. Vol. 100. P. 70–78.
75. Wu D., Hu Q., Yan Z., Chen W., Yan C., Huang X., Zhang J., Yang P., Deng H., Wang J., Deng X.W., Shi Y. Structural basis of ultraviolet-B perception by UVR8 // Nature. 2012. Vol. 484. P. 214–219.

Л.Г. КОЛЗУНОВА, Е.В. ЩИТОВСКАЯ,  
М.А. КАРПЕНКО, И.Г. РОДЗИК

## Потенциостатическое формирование композита полимер/наночастицы серебра

*Показана принципиальная возможность формирования композита ПМАА пленка/AgNPs с использованием стадии электрохимической иммобилизации наночастиц серебра в режиме потенциостатического электролиза в полиметилолакриламидную матрицу. Установлено, что масса серебра зависит от потенциала и времени электровосстановления ионов серебра, состава фонового электролита. Определены оптимальные параметры введения наночастиц серебра в полимерную пленку:  $E = 170$  мВ, время электролиза 10–15 мин, фоновый электролит 0,1 моль/л  $KNO_3$  + 0,01 моль/л  $AgNO_3$ . Показано, что частицы AgNPs имеют сферическую форму со средним радиусом 6–10 нм.*

*Ключевые слова:* электрополимеризация, электровосстановление, полиметилолакриламид, наночастицы серебра, композиты.

**Potentiostatic formation of the polymer/silver nanoparticles composite.** L.G. KOLZUNOVA (Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok), E.V. SHCHITOVSKAYA (Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok, Far Eastern Federal University, Vladivostok), M.A. KARPENKO (Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok), I.G. RODZIK (Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok).

*The fundamental possibility of the formation of a PMAA film / AgNPs composite using the stage of electrochemical immobilization of silver nanoparticles in the mode of potentiostatic electrolysis into a polymethylolacrylamide matrix has been shown. It was found that the silver mass depends on the potential and time of electroreduction of silver ions, the composition of the background electrolyte. The optimal parameters for introducing silver nanoparticles into the polymer film were determined:  $E = 170$  mV, electrolysis time 10–15 min, background electrolyte 0.1 mol/l  $KNO_3$  + 0.01 mol/l  $AgNO_3$ . It was shown that AgNPs particles had a spherical shape and their average radius was 6–10 nm.*

*Key words:* electropolymerization, electroreduction, polymethylolacrylamide, silver nanoparticles, composites.

### Введение

Гибридные материалы, представляющие собой композиты на основе полимерной матрицы с включением в ее объем наночастиц металлов, чрезвычайно актуальны для применения в химии, биологии, медицине, вычислительной технике, оптико-электронных приборах и других областях науки и техники [1, 4, 6, 7, 9, 10, 13, 15]. Их можно исполь-

---

\*КОЛЗУНОВА Лидия Глебовна – доктор химических наук, главный научный сотрудник, КАРПЕНКО Максим Александрович – кандидат химических наук, научный сотрудник, РОДЗИК Ирина Генриховна – ведущий инженер-технолог (Институт химии ДВО РАН, Владивосток), ЩИТОВСКАЯ Елена Владимировна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник (Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток). \*E-mail: kolzunova@ich.dvo.ru

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии ДВО РАН на 2017–2019 гг., номер гос. регистрации АААА-А17-117-03-09-100-84-4, тема 1, и при частичной финансовой поддержке по гранту по Программе фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток», проект № 18-3-031.

зывать как катализаторы, различного рода конденсаторы и суперконденсаторы большой емкости, в качестве сенсоров, селективных электродов для аналитических исследований, создания умных полимеров, реагирующих на различные изменения в среде, как материалы с биоцидными и антисептическими свойствами и т.д.

Особый интерес представляют композиты с включением в полимерную матрицу наночастиц серебра. Они востребованы в медицине в качестве обеззараживающих материалов, а также в химических, биологических, оптических производствах как катализаторы и различного рода электроды и сенсоры [2, 6, 8, 11, 12, 14, 16, 17]. Способы получения таких материалов различны. Это может быть раздельное получение частиц серебра и полимерной матрицы с последующим их объединением в композит либо полимеризация смеси мономера и Ag порошка в присутствии инициатора [8], либо синтез полимера, его последующее насыщение солью серебра и восстановление ионов серебра до металла [6]. Обычно инициирование полимеризации и восстановление серебра проводят химическими способами [3, 5, 6, 18]. Иногда для формирования композита полимер/частицы серебра применяют радиационное облучение [19]. Альтернативным, на наш взгляд, может быть практически не исследованный электрохимический способ как синтеза полимера, так и иммобилизации в него наночастиц серебра AgNPs. Цель настоящей работы – изучение возможностей электрохимического внедрения AgNPs в полимерную пленку в режиме потенциостатического электролиза.

### Материалы и методы исследования

Полимерные пленки формировали методом электрополимеризации при потенциале  $E = -1,16$  В относительно насыщенного хлоридсеребряного электрода из водного раствора, содержащего акриламид (3 моль/л), формальдегид (3 моль/л), N,N'-метиленабис-акриламид (0,05 моль/л), хлорид цинка (0,2 моль/л). Время электролиза 5 мин.

Синтез пленок и композитов на их основе, а также электрохимические исследования проводили с использованием потенциостата/гальваностата IPC-Pro «Cronas» (Россия). Рабочим электродом (катод) служил стержень из нержавеющей стали (НС) AISI 304 диаметром 2,5 мм; вспомогательный электрод (анод) – платиновая пластина размером  $1,9 \times 4,8$  см. Электрод сравнения хлоридсеребряный ЭВЛ-1М1. Рабочие электроды предварительно шлифовали, обезжировали пастой из мелкодисперсного оксида магния, тщательно промывали деионизированной водой. Электролиз проводили в стеклянных ячейках объемом 10 см<sup>3</sup> без разделения катодного и анодного пространства, без дегазации раствора.

Подслой металлического цинка, выделяющегося между катодом и полиметилоакриламидной (ПМАА) пленкой в процессе электрополимеризации, удаляли в растворе HCl (0,1 моль/л), после чего пленки промывали деионизированной водой.

Композиты на основе полиметилоакриламидных пленок получали введением наночастиц серебра в матрицу полимера в две стадии. Первоначально электрод с отмытой ПМАА пленкой погружали в раствор AgNO<sub>3</sub> (0,01 моль/л) на 48 ч. Подготовленные образцы помещали в стеклянную ячейку объемом 10 см<sup>3</sup>, заполненную раствором AgNO<sub>3</sub> (0,01 моль/л) + KNO<sub>3</sub> (0,1 моль/л). Восстановление серебра проводили в потенциостатическом режиме.

Рентгенофазовый анализ выполняли на пленках в режиме ночной съемки на дифрактометре Advance D-8 (Bruker-AXS, Германия).

Для оценки распределения частиц серебра в композите и определения их размера использовали метод малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР) на дифрактометре HECUSS-3 (Micro-Pix, Австрия).

Определение количества серебра в ПМАА пленке и на поверхности катода (НС) проводили методом атомно-абсорбционного анализа на приборе SOLAARM-series (Thermo, США). Серебро, осажденное на НС и восстановленное в ПМАА, отдельно растворяли в горячей концентрированной (65 %) азотной кислоте.

## Результаты и обсуждение

Предварительные исследования были направлены на определение оптимального рабочего значения потенциала восстановления соли  $\text{AgNO}_3$  до металлического серебра в полимерной матрице. Выбор потенциала восстановления серебра проводили путем снятия катодных поляризационных зависимостей в растворе  $\text{KNO}_3$  (0,1 моль/л) или в этом же растворе с добавкой  $\text{AgNO}_3$  (0,01 моль/л) (рис. 1).

Как следует из рис. 1, пленка ПМАА электрохимически устойчива в фоновом электролите 0,1 моль/л  $\text{KNO}_3$  (рис. 1, кривая 1), поскольку при поляризации от 750 до 400 мВ плотность тока практически не меняется, следовательно, не протекает никаких побочных редокс-процессов. Дальнейшие исследования показали, что в растворе фона  $\text{KNO}_3$  с добавкой  $\text{AgNO}_3$ , как на НС (рис. 1, кривая 2), так и на катоде, модифицированном пленкой ПМАА (рис. 1, кривая 3), в интервале потенциалов от 420–380 до –50 мВ наблюдается подъем плотности тока, соответствующий электровосстановлению серебра, с максимумом при  $E = +270$  мВ. Область максимума соответствует наибольшей скорости восстановления ионов серебра до металла. Полученные результаты показали, что электрохимическое восстановление  $\text{AgNO}_3$  до  $\text{AgNPs}$  можно проводить в оптимальном диапазоне потенциалов максимума без деградации полимерной матрицы.

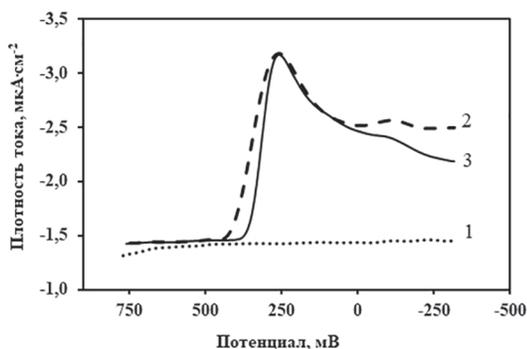


Рис. 1. Поляризационные зависимости для НС/ПМАА в растворе  $\text{KNO}_3$  (0,1 моль/л) (1) и для НС (2) и НС/ПМАА (3) в растворе  $\text{KNO}_3$  (0,1 моль/л) с добавкой  $\text{AgNO}_3$  (0,01 моль/л)

Внедрение электровосстановленных частиц серебра в полимерную пленку подтверждено с помощью рентгенофазового анализа. Как следует из рис. 2, в пленке ПМАА кроме металлических частиц серебра присутствует оксид серебра. Это может быть связано с тем, что в процессе электролиза часть восстановленного серебра успевает перейти в оксидную форму, поскольку формирование композита проводится в негерметичной ячейке без дегазации раствора.

Функции распределения частиц серебра по радиусам, полученные методом МУРР, приведены на рис. 3. Вид

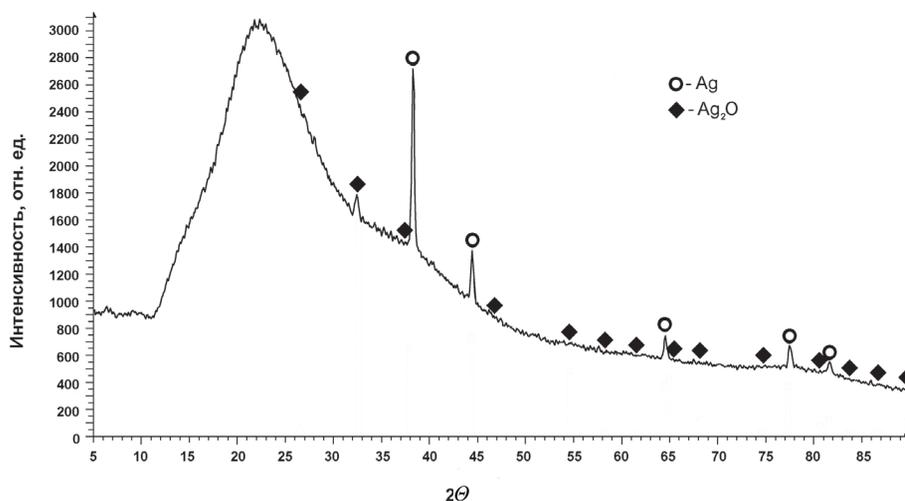


Рис. 2. РФА-спектр композитной пленки ПМАА/Ag

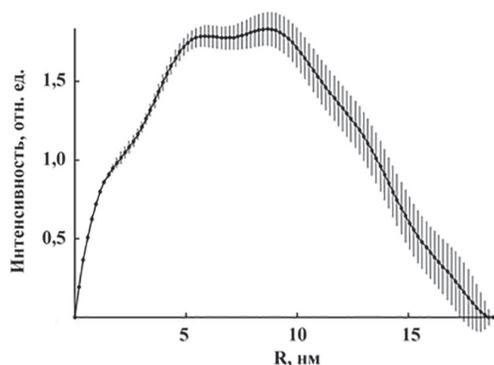


Рис. 3. Распределение частиц серебра по размерам (метод малоуглового рентгеновского рассеяния) ПМАА/Ag

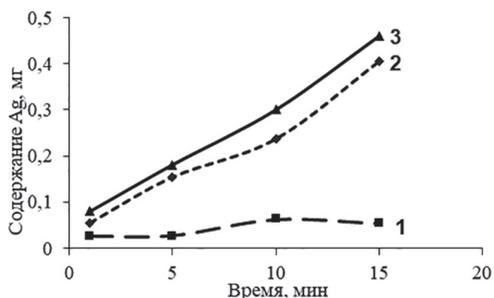


Рис. 4. Зависимость количества восстановленного серебра от времени поляризации в растворе 0,1 моль/л  $\text{KNO}_3$  + 0,01 моль/л  $\text{AgNO}_3$  для ПМАА (1), НС (2), суммарное количество серебра (3)

спектра указывает на то, что частицы имеют сферическую форму и состоят из более мелких частиц. При этом средний радиус частиц AgNPs составляет 6–10 нм.

Исследования показали, что выделение металлического серебра происходит одновременно как на катоде НС, так и в полимерной матрице, причем масса Ag на поверхности НС примерно на порядок больше, чем иммобилизованного в пленку ПМАА (рис. 4).

В обоих случаях количество серебра возрастает с увеличением времени поляризации. Причем для НС эта зависимость практически прямо пропорциональна продолжительности электролиза (рис. 4, кривая 2), тогда как для композита прирост массы серебра в объеме полимера со временем незначительный (рис. 4, кривая 1). Полученные данные позволили заключить, что оптимальное время иммобилизации электровосстановленного серебра в пленку ПМАА составляет 10–15 мин.

Установлено, что количество электровосстановленного серебра как в пленке, так и на поверхности катода зависит от условий его восстановления, в частности от состава фона (рис. 5, 6) и потенциала электролиза (рис. 7, 8).

Как видно из рис. 5 и 6, и для НС, и для пленки ПМАА, предварительно насыщенной раствором  $\text{AgNO}_3$ , масса электровосстановленного серебра, полученная при использовании фонового электролита, содержащего 0,1 моль/л нитрата калия с добавлением 0,01 моль/л нитрата серебра, значительно выше (рис. 5, кривая 2, рис. 6, кривая 2) по сравнению с процессом восстановления серебра в растворе нитрата калия (рис. 5, кривая 1 и рис. 6, кривая 1).

Установлено, что количество серебра, внедренного в пленку ПМАА, и общая масса электровосстановленного серебра зависят от потенциала электролиза (рис. 7, 8).

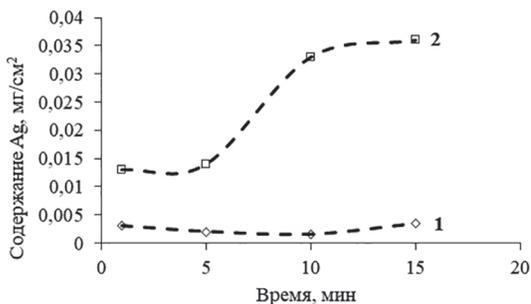


Рис. 5. Зависимость количества восстановленного серебра в пленке ПМАА от времени поляризации в 0,1 моль/л  $\text{KNO}_3$  (1) и 0,1 моль/л  $\text{KNO}_3$  + 0,01 моль/л  $\text{AgNO}_3$  (2)

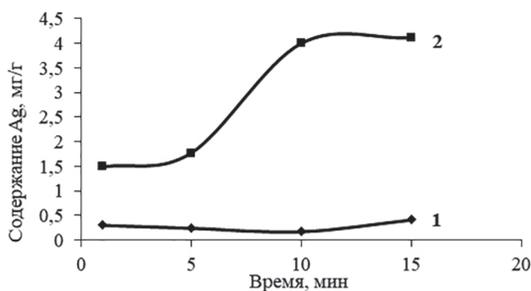


Рис. 6. Зависимость количества восстановленного серебра на НС от времени поляризации в 0,1 моль/л  $\text{KNO}_3$  (1); 0,1 моль/л  $\text{KNO}_3$  + 0,01 моль/л  $\text{AgNO}_3$  (2)

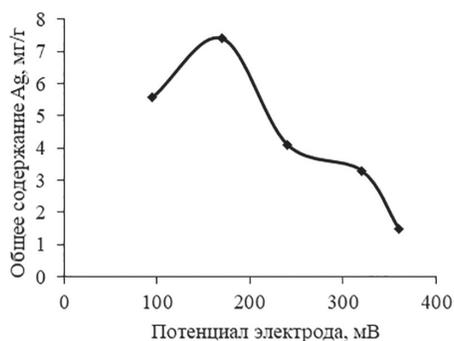


Рис. 7. Зависимость массы серебра, иммобилизованного в пленку ПМАА, от потенциала электролиза. Фоновый раствор 0,1 моль/л  $\text{KNO}_3$  + 0,01 моль/л  $\text{AgNO}_3$ . Время электролиза 15 мин

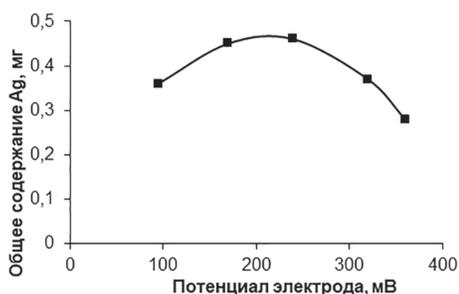


Рис. 8. Зависимость общей массы серебра на НС и в пленке ПМАА от потенциала электролиза. Фоновый раствор 0,1 моль/л  $\text{KNO}_3$  + 0,01 моль/л  $\text{AgNO}_3$ . Время электролиза 15 мин

Указанная зависимость имеет экстремальный характер. При этом потенциал, при котором масса серебра в полимерной пленке максимальная, составляет 170 мВ (рис. 7), в то время как наибольшее общее количество электровосстановленного серебра выделяется в интервале 170–240 мВ (рис. 8).

## Выводы

Таким образом, показана принципиальная возможность формирования композита ПМАА пленка/ $\text{AgNPs}$  с использованием стадии электрохимической иммобилизации наночастиц серебра в полимерную матрицу в режиме потенциостатического электролиза. Установлена зависимость массы серебра от потенциала и времени электровосстановления ионов серебра, состава фонового электролита. Определены оптимальные параметры введения наночастиц серебра в полимерную пленку:  $E = 170$  мВ, время электролиза 10–15 мин, фоновый электролит 0,1 моль/л  $\text{KNO}_3$  + 0,01 моль/л  $\text{AgNO}_3$ .

Показано, что частицы  $\text{AgNPs}$  имеют сферическую форму со средним радиусом 6–10 нм.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Губин С.П., Юрков Г.Ю., Катаева Н.А. Наночастицы благородных металлов и материалы на их основе. М.: Азбука-2000, 2006. 156 с.
2. Крутяков Ю.А., Кудринский А.А., Оленин А.Ю., Лисичкин Г.В. Синтез и свойства наночастиц серебра: достижения и перспективы // Успехи химии. 2008. Т. 77, № 3. С. 242–269.
3. Кукуев В.И., Попова И.А., Подопригора А.В. Структура наночастиц серебра на поверхности полимера // Конденсированные среды и межфазные границы. 2015. Т. 17, № 2. С. 160–164.
4. Обрезков Н.П., Иванов В.Д., Малев В.В. Электрохимические свойства родий- и золотосодержащих пленок полианилина // Электрохимия. 2012. Т. 48. С. 529–537.
5. Саломатина Е.В., Шарова А.Ю., Смирнова Л.А. Получение, структура и фотокаталитические свойства органо-неорганического нанокompозита, содержащего полититаноксид и наночастицы серебра // Бюл. Южно-Уральского гос. ун-та. Серия: Химия. 2016. Т. 8. № 4. Р. 18–30.
6. Щитовская Е.В., Колзунова Л.Г., Буркова Ю.Л. Включение частиц серебра в электросинтезированную полиакриламидную матрицу // Вестн. ДВО РАН. 2016. № 6. С. 63–69.
7. Щитовская Е.В., Колзунова Л.Г., Куравый В.Г., Слободюк А.Б. Электрохимическое формирование и свойства полиметилоакриламидной пленки с включением частиц платины // Электрохимия. 2015. Т. 51. С. 1235–1246.
8. Adelkhani H., Didehban Kh., Hayasi M. Performance evaluation of polyacrylamide/silver composite as electrode material in electrochemical capacitor // Curr. Appl. Phys. 2013. Vol. 13. P. 522–525.
9. Blanco I., Bottino F.A., Cicala G., Latteri A., Recca A. A kinetic study of the thermal and thermal oxidative degradations of new bridged POSS/PS nanocomposites // Polym. Degrad. Stab. 2013. Vol. 98. P. 2564–2570.

10. Blanco I. Polyhedral oligomeric silsesquioxanes (POSSs) in medicine // meddocs publishers of creative commons attribution 4.0 international license // *J. Nanomed.* 2018. Vol. 1(1): 1002. P. 1–3.
11. Bogle K.A., Dhole S.D., Bhoraskar V.N. Silver nanoparticles: Synthesis and size control by electron irradiation // *Nanotechnol.* 2006. Vol. 17. P. 3204–3208.
12. Guzman M., Dille J., Godet S. Synthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles against gram-positive and gram-negative bacteria // *Nanomed. Nanotech. Biol. Med.* 2012. Vol. 8. P. 37–45.
13. Han J., Wang M., Hua Y., Zhou Ch., Guo R. Conducting polymer-noble metal nanoparticle hybrids: Synthesis mechanism application // *Prog. Polym. Sci.* 2017. Vol. 70. P. 52–91.
14. Kim J.S., Kuk E., Yu K.N., Kim J.-H., Park S.J., Lee H.J., Kim H., Park Y.K., Park Y.H., Hwang C.Y., Kim Y.K., Lee Y.S., Jeong D.H., Cho M.H. Antimicrobial effects of silver nanoparticles // *Nanomed. Nanotech. Biol. Med.* 2007. Vol. 3. P. 95–101.
15. Kolzunova L. Antibacterial effect and biodegradation of electrosynthesized polymethylacrylamide films // *Polym. Eng. Sci.* 2017. Vol. 57. P. 716–721.
16. Mahouche-Chergui S., Guerrouache M., Carbonnier B., Chehimi M.M. Polymer-immobilized nanoparticles // *Colloids and Surfaces A: Physicochem. and Eng. Aspects.* 2013. Vol. 439. P. 43–68.
17. Perelshtein I., Applerot G., Perkas N., Guibert G., Mikhailov S., Gedanken A. Sonochemical coating of silver nanoparticles on textile fabrics (nylon, polyester and cotton) and their antibacterial activity // *Nanotechnol.* 2008. Vol. 19. P. 245705–245706.
18. Prusty K., Swain S.K. Nano silver decorated polyacrylamide/dextran nanohydrogels hybrid composites for drug delivery applications // *Mater. Sci. Eng.* 2018. Vol. 85. P. 130–141.
19. Yin Y., Xu X., Ge X., Zhan Zh. Preparation and characterization of polyacrylamide-silver nanocomposites // *Radiat. Phys. Chem.* 1998. Vol. 53. P. 567–570.

В.В. КАБАНОВ, В.С. РУДНЕВ, П.М. НЕДОЗОРОВ,  
Д.С. ПИВОВАРОВ, Н.И. ФЕДОСЕВИЧ, В.М. ДОЛГОРУК

## Композиционный способ наплавки. Оборудование, технология, примеры внедрения

*Представлены результаты исследования условий формирования зоны сплавления покрытия и основного металла в процессе лазерной обработки. Показана возможность минимизации тепловых деформаций при нанесении покрытий на детали оборудования химического и пищевого машиностроения, а также детали судовых механизмов. Даны характеристики разработанного оборудования и приведены примеры внедрения технологии.*

*Ключевые слова:* покрытия, плазменное напыление, лазерная обработка, сплавление, деформация, поверхностное модифицирование, ремонт деталей.

**Composite method of surfacing. Equipment, technology, examples of implementation.** V.V. KABANOV<sup>1,2</sup>, V.S. RUDNEV<sup>1,3</sup>, P.M. NEDOZOROV<sup>1</sup>, D.S. PIVOVAROV<sup>4</sup>, N.I. FEDOSEVICH<sup>1</sup>, V.M. DOLGORUK<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok, <sup>2</sup>Plazmoavtomatika Ltd, Vladivostok, <sup>3</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok, <sup>4</sup>Institute of Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok).

*The results of the study of the conditions of formation of the fusion zone of the coating and the base metal during laser processing are presented. The possibility of minimizing thermal deformations during coating deposition on the parts of chemical and food engineering, parts of ship's equipment are shown. The characteristics of the developed equipment and examples of technology implementation are given.*

*Key words:* coatings, plasma spraying, laser processing, alloying, deformation, surface modification, repair of parts.

### Введение

В машиностроении широкое применение находят металлические покрытия, получаемые методами газотермического напыления и наплавки. Эти же методы активно используются и при выполнении ремонтных работ, когда необходимо восстанавливать изношенные и поврежденные поверхности деталей машин и механизмов, сохраняя при этом геометрию неповрежденных участков и детали в целом [4]. С этой целью в производственных условиях чаще всего прибегают к ставшим уже традиционными методам наплавки в среде защитных газов, ручной наплавке покрытыми электродами, наплавке под флюсом. И каждый раз при применении этих технологий неизбежно сталкиваются с деформацией восстанавливаемой детали.

---

\*КАБАНОВ Виктор Виллович – кандидат технических наук, ведущий технолог (Институт химии ДВО РАН, Владивосток), директор (ООО «Плазмаавтоматика», Владивосток), РУДНЕВ Владимир Сергеевич – доктор химических наук, заведующий лабораторией, профессор (Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток), НЕДОЗОРОВ Петр Максимович – кандидат химических наук, научный сотрудник, ФЕДОСЕВИЧ Наталья Ивановна – ведущий инженер, ДОЛГОРУК Василий Михайлович – ведущий инженер (Институт химии ДВО РАН, Владивосток), ПИВОВАРОВ Дмитрий Сергеевич – младший научный сотрудник (Центр лазерных технологий Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток). \*E-mail: plasma55@mail.ru

Применение лазера в качестве инструмента для наплавки позволяет прецизионно и с высокой скоростью воздействовать на зону сплавления, однако и этот способ не всегда позволяет избежать нарушений геометрии изделия [2]. Более радикальными в этом плане являются методы газотермического напыления, но и они имеют недостатки: прочность сцепления покрытия с основой не всегда отвечает нужным требованиям [1].

Существенного повышения качества удается добиться при использовании самофлюсующихся материалов [4]. Прочность сцепления покрытия с основой при этом обеспечивается за счет оплавления покрытия. В качестве инструмента для оплавления в современной практике применяют индукционные установки, плазменные и газовые горелки. В результате оплавления создается биметаллическое изделие с четко очерченной границей раздела между изделием и покрытием.

Лазерный луч также активно применяется для оплавления покрытий [4]. Однако больший интерес представляет возможность его применения для формирования переходной зоны сплавления основы с покрытием, обеспечивающей плавный переход теплофизических и механических характеристик [6, 7]. В рассматриваемом способе газотермическое напыление и лазерный луч работают последовательно. Напылением на рабочую поверхность детали наносят металлическое покрытие заданной толщины, с минимальным припуском на последующие сплавление с основой и механическую обработку. Далее с помощью лазерного луча покрытие сплавляют с основой, обеспечивая при этом формирование переходного плотного слоя, создающего с деталью монолитное соединение. С этой целью лазерный луч пробивают через покрытие и проплавливают поверхность основного металла. При этом осуществляют формирование совместной зоны сплавления между материалом покрытия и основным металлом. Этим и отличается предлагаемая технология. Глубина сплавления определяется жестко контролируемыми оператором параметрами – мощностью и фокусировкой излучения лазера, скоростью движения луча относительно поверхности. Чистовая механическая обработка завершает процесс. В промежутке между сплавлением и механической обработкой желательно включать термический отпуск, снимающий остаточные внутренние напряжения в детали. Эта технология применима для различных видов наплавляемых материалов, однако в каждом случае необходима оптимизация технологических параметров обработки.

Для ремонтно-восстановительных работ, связанных с нанесением металлических покрытий, представляют интерес самофлюсующиеся порошковые материалы на основе никеля. Самофлюсующиеся материалы этой группы отличает относительно низкая чувствительность к формированию структурных дефектов при повышенных скоростях нагрева и охлаждения, характерных для лазерной обработки [3, 5, 6]. В России наиболее распространены порошки самофлюсов производства АО «Полема» (Россия) ([www.polema.net/userfiles/files/metal-powders.pdf](http://www.polema.net/userfiles/files/metal-powders.pdf)) и международного холдинга MEC Group – Messer Eutectic Castolin ([www.castolin.com](http://www.castolin.com)). Процесс сплавления покрытия с основой осуществляют одновременно с процессом флюсования в зоне плавления (ванна расплава). Скорость охлаждения ванны расплава при этом ограничивают, с одной стороны, условием обеспечения выхода образующихся шлаков на поверхность расплава (минимизация результирующей пористости) и условиями формирования заданной структуры металла, с другой – необходимостью снижения остаточных сварочных напряжений, возрастающих с увеличением объема сварочной ванны и уменьшением скорости движения лазера в процессе сплавления.

В настоящем сообщении представлены результаты исследований по подбору оптимальных условий восстановления деталей комбинированием методов плазменного напыления и лазерного сплавления с применением самофлюсующегося порошкового материала на никелевой основе.

## Экспериментальная часть

В качестве исходного материала покрытия для экспериментальных образцов выбран порошковый материал Eutalloy PE 10680: твердый сплав на никелевой основе, высоколегированный хромом и кобальтом и содержащий 50 % карбида вольфрама; твердость покрытия после оплавления – 190–230 НВ; интервал температуры плавления 1050–1280 °С; плотность 8,1 г/см<sup>3</sup>; производитель порошка – Castolin Eutectic (www.castolin.com). Данный материал после оплавления легко обрабатывается механическим путем, отличается высокой стойкостью к окислению при работе в условиях повышенных температур (максимальная температура эксплуатации 800 °С) и повышенной стойкостью наплавленной поверхности к образованию трещин и сколов.

Напыление покрытия осуществляли с помощью аргонового плазмотрона с межэлектродными вставками (МЭВ) ПН-21Р на установке ПЛ-04 (Россия), оснащенной блоком порошковых питателей 7103 (www.plasma-vl.ru). Толщина покрытия при этом составила 0,3–0,4 мм. Сплавление покрытия с основой произведено с помощью волоконного лазера ЛС-1-К (Россия). В результате проведенных экспериментов оптимизирован режим, обеспечивающий монолитное соединение покрытия с основой при минимальном объеме наплавленного металла на максимально возможной скорости (рис. 1).

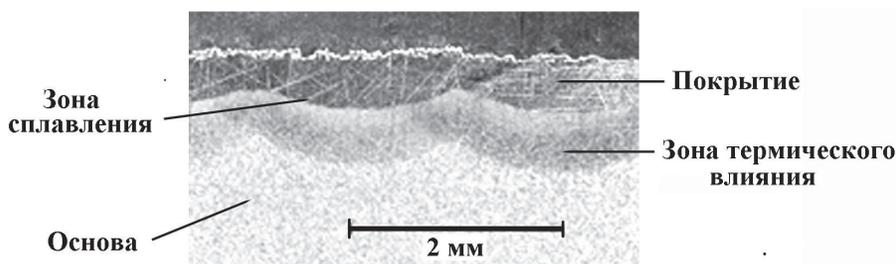


Рис. 1. Композитный материал, полученный сплавлением покрытия (Ni-Cr-Si-B, начальная толщина 0,3 мм) с основой (Ст 40Х). Мощность лазерного излучения 1 кВт, диаметр луча лазера на поверхности образца – 2 мм, скорость движения луча в процессе сплавления – 10 мм/с, расход защитного газа (аргона) – 25 л/мин

После обработки материала предлагаемым способом в нем отсутствуют поры, имевшие место после напыления порошка, ликвидированы и окислы, присутствовавшие на поверхности основы: в виде шлаков они вышли на поверхность оплавленного покрытия. Глубина зоны сплавления основа–покрытие контролируемо управляется изменением мощности излучения, фокусировкой лазерного луча, скоростью перемещения луча относительно изделия. Размеры же зоны термического влияния при этом минимальны по сравнению с традиционными способами наплавки.

На рис. 2 представлены фотографии шлифов и элементный состав характерных образцов материалов, полученных в ходе экспериментальной отладки режима лазерного сплавления покрытия.

Микрофотографии сечения покрытий и профили распределения концентрации элементов по сечению образцов получали и определяли на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100 фирмы «JEOL» (Япония) с энергодисперсионной приставкой Oxford Instrument INCA-sight (Великобритания). При определении профилей распределения элементов зондирующий луч фокусировали на образце диаметром около 1 мкм. Глубина проникновения зондирующего луча в зависимости от материала покрытия составляла 2–5 мкм.

Для контроля процессов смещения металлов основы и покрытия, а также для выявления зон термического влияния лазерного луча при формировании конечных структур

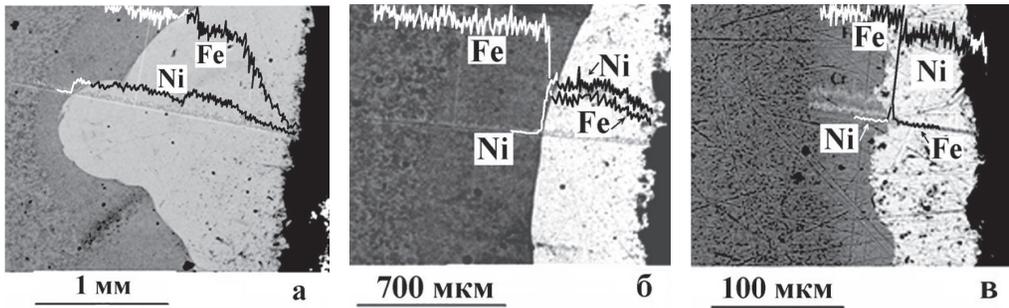


Рис. 2. Распределение элементов на поперечном сечении образцов, полученных при сплавлении покрытия (Ni-Cr-Si-B, начальная толщина покрытия 0,3 мм) с основой (Ст 40X). Мощность излучения – 1 кВт, диаметр луча на поверхности образца – 2 мм. Скорость движения лазерного луча: а – 10 мм/с, точка фокусировки лазерного луча приближена к поверхности образца на 25 мм относительно режимов «б» и «в»; б – 6 мм/с; в – 20 мм/с

проведены измерения микротвердости с помощью микротвердомера HNV-Gg20ST (Shimadzu, Япония). Измерения выполняли по точкам вдоль оси зоны проникновения луча через каждые 100 мкм, начиная с глубины 100 мкм от поверхности покрытия. Результаты измерений для трех характерных режимов сплавления представлены на рис. 3.

Как видно из представленных на рис. 2 микроснимков шлифов и соответствующих им на рис. 3 кривых изменения микротвердости, посредством управления скоростью перемещения лазерного луча, при заданных мощности и плотности излучения лазера на поверхности изделия можно управлять глубиной зоны сплавления и размерами зоны термического влияния. При сплавлении на малых скоростях (рис. 2, б) получаем интенсивное взаимное проникновение составляющих покрытия и основы. По всей глубине сварочной ванны формируется композит с равномерной твердостью (кривая б на рис. 3). Увеличение скорости лазерной обработки до 20 мм/с приводит к уменьшению объема зоны смешения материалов до минимума (рис. 2, в), но при этом увеличивается градиент по твердости в переходной зоне (кривая в на рис. 3). Увеличение скорости охлаждения препятствует выводу шлаков, образующихся в процессе флюсования, что влечет за собой увеличение пористости. Уменьшение глубины переходной зоны может неблагоприятно сказаться на прочности соединения вследствие концентрации напряжений на границе раздела основа–покрытие. Повышение концентрации лазерного излучения на поверхности приводит к интенсификации процессов смешения материалов подложки и покрытия (рис. 2, а), развитию закалочных структур по всей глубине сварочной ванны (кривая а на рис. 3). С увеличением объема расплавленного металла в этом режиме появляются существенные остаточные напряжения при последующем охлаждении, формируются зародыши трещин, что в конечном счете ведет к разрушению изделия.

Отлаженные в процессе выполнения данной работы режимы были реализованы при восстановлении деталей, представленных на рис. 4.

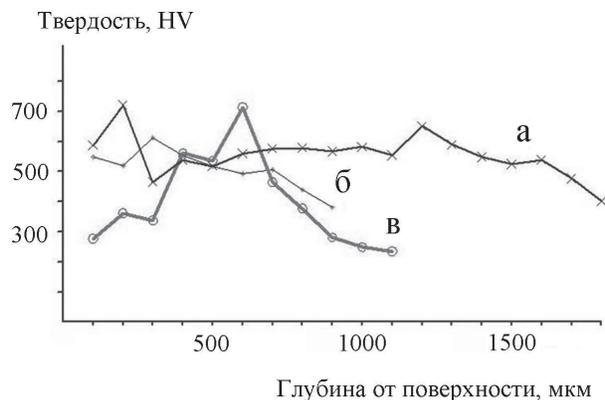


Рис. 3. Изменение микротвердости по глубине образца Ст 40X с покрытием. Мощность непрерывного излучения лазера – 1 кВт, диаметр луча на поверхности образца – 2 мм. а, б, в – скорости движения лазерного луча (режимы сплавления) 10, 6 и 20 мм/с соответственно

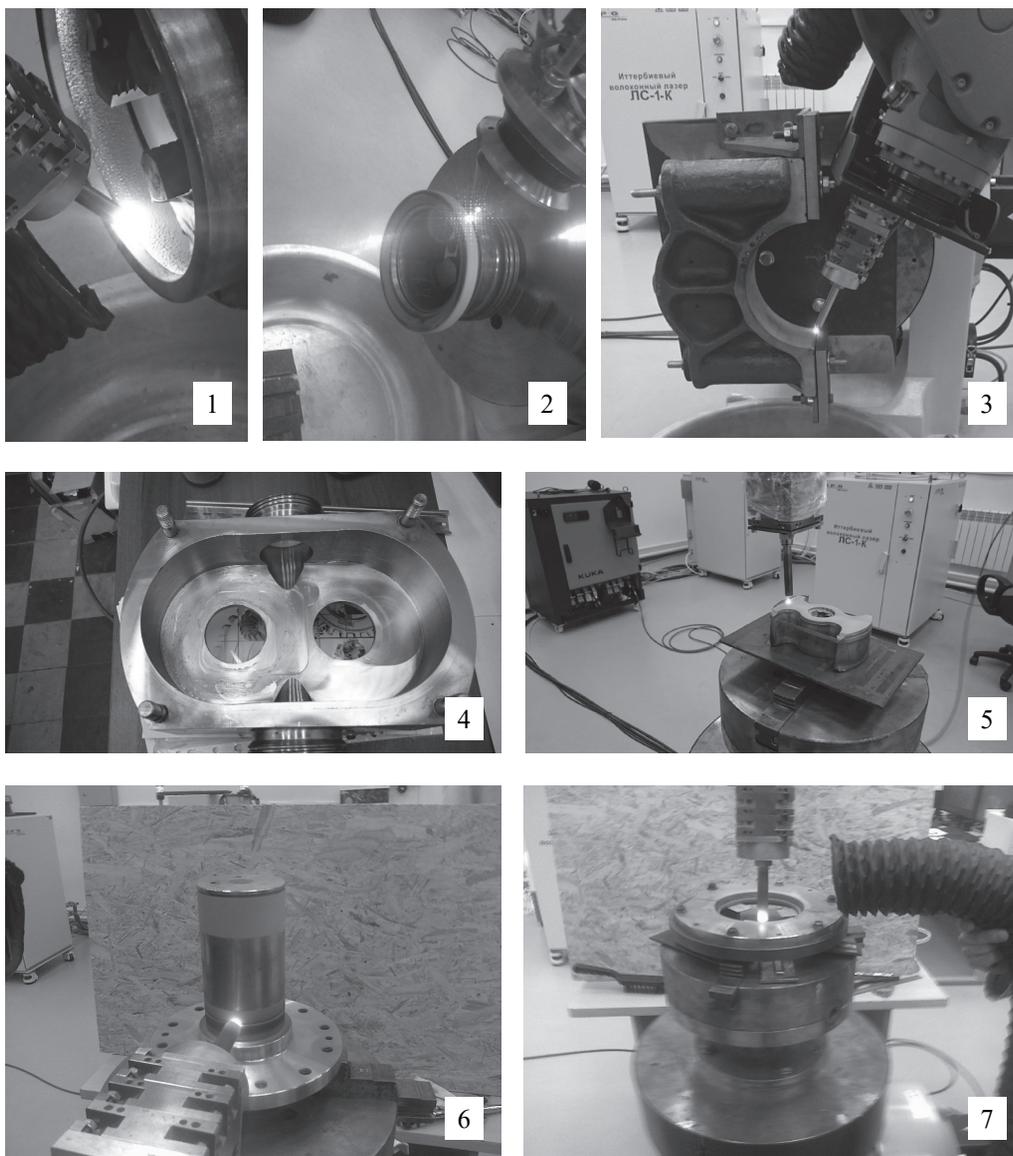


Рис. 4. Примеры реализации способа композиционной наплавки: 1 – кольцо проставочное (чугун в/п), 2 – седло клапана (Ст 40Х10С2М), 3 – подвеска (Ст 40ХН), 4, 5 – корпус (4) и ротор (5) насоса перекачки молока (Ст 17Х18Н9), 6, 7 – вал (6) и крышка (7) подшипникового щита редуктора турбины (Ст 40ХН)

## Заключение

Предлагаемый нами композиционный способ получения покрытий позволяет обеспечить гарантированное сплавление покрытия с основой с минимальными остаточными напряжениями. Его можно рекомендовать как для поверхностной модификации вновь изготавливаемых деталей с целью повышения противокоррозионной стойкости и получения заданных триботехнических характеристик, так и для ремонта деталей и узлов изделий химического и общего машиностроения, восстановление которых традиционными методами наплавки невозможно в связи с неизбежностью термических деформаций и потерей геометрии поверхностей, обработанных ранее с высокой точностью. Данный

способ пригоден также для обработки посадочных мест под подшипники для корпусов и валов турбин, генераторов, электрических двигателей, щитов подшипниковых, корпусов и роторов перекачивающих насосов. Для получения требуемых характеристик рекомендуется проведение контрольных плавок и соответствующих испытаний, по результатам которых можно создать режимы, гарантирующие получение заданных свойств и сохранение исходной геометрии изделия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Борвинок В.А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. М.: Машиностроение, 1990. 364 с.
2. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технические процессы лазерной обработки. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 664 с.
3. Донских С.А., Сёмин В.Н., Кремнёв В.А., Кремнёв Н.А., Котов В.Н. Воздействие режимов лазерного оплавления на адгезионную прочность клеевых покрытий системы железо-хром-бор-кремний // Междунар. журн. соц. и гуманитар. наук. 2016. Т. 2, № 1. С. 214–225.
4. Ильющенко А.Ф., Шевцов А.И., Оковитый В.А., Громько Г.Ф. Процессы формирования газотермических покрытий и их моделирование. Минск: Белорус. наука, 2011. 357 с.
5. Спиридонов Н.В., Соколов И.О., Кудина А.В. Влияние лазерной обработки на структурно-фазовый состав напыленных Ni-Cr-B-Si-покрытий // Вестн. БНТУ. 2007. № 3. С. 22–25.
6. Способ получения покрытий из порошков самофлюсующихся сплавов на стальных изделиях / Девойно О.Г., Пилипчук А.П., Кардаполова М.А., Тюнякин А.С., Волович В.И.: пат. 6599 РБ. С1 ВУ, МИК С 23С 4/18; заявл. 31.01.2001; опубл. 30.12.2004.
7. Devoino O.G., Panteleenko A.F. Investigation on Wear-Resistant Coatings from Diffusion-Alloyed Austenitic Steel by Plasma Spraying and Subsequent Laser Processing // Sci. Techn. 2017. Vol. 16, N 3. P. 249–255.

О.Н. ЦЫБУЛЬСКАЯ, Т.В. КСЕНИК,  
А.А. КИСЕЛЬ, А.А. ЮДАКОВ, А.В. ПЕРФИЛЬЕВ

## Доработка технологических узлов опытно-промышленной установки для обезвреживания опасных отходов производства

*В работе представлена опытно-промышленная установка для нейтрализации хромсодержащих производственных отходов. Описаны конструктивные особенности узла подготовки реагентов. Показано, что разработанный узел позволяет обезвреживать отработанные кислоты и щелочи. Приведены результаты исследования процесса обезвоживания труднофильтруемых осадков, определены оптимальные условия фильтрации.*

*Ключевые слова: опытно-промышленная установка, реагентная обработка, хромсодержащие отходы, гидроксиды металлов, обезвоженный осадок, шлам, фильтрация.*

**Rework of technological units of the pilot plant for the disposal of hazardous production wastes.**  
O.N. TSYBULSKAYA, T.V. KSENIK, A.A. KISEL, A.A. YUDAKOV, A.V. PERFILEV (Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok).

*A pilot plant for the neutralization of chromium-containing industrial wastes is presented. The design features of the reagent preparation unit are described. It is shown that the unit of the plant allows neutralizing the spent acids and alkalis. The results of studying the filtering process of sediments difficult to filter are presented, the optimal filtration conditions are determined.*

*Key words: pilot plant, reagent treatment, chromium wastes, metal hydroxides, dehydrated sludge, sludge, filtration.*

### Введение

Проблема обезвреживания экологически опасных жидких отходов актуальна для многих промышленных предприятий. Нейтрализация жидких гальванических отходов различной концентрации, электролитов, ингибирующих растворов связана с реализацией и совершенствованием существующих технологий, подбором или разработкой эффективного оборудования. Кроме того, на ряде предприятий в огромных количествах скапливаются химически активные растворы, подлежащие утилизации, в частности щелочи и кислоты, отработанные или с истекшими сроками хранения, не соответствующие необходимым требованиям. Эти растворы, объемы которых исчисляются десятками тысяч тонн, относятся к промышленным отходам I и II классов опасности и представляют значительную проблему с экологической и экономической точек зрения.

\*ЦЫБУЛЬСКАЯ Оксана Николаевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, КСЕНИК Татьяна Витальевна – научный сотрудник, КИСЕЛЬ Алексей Альфредович – ведущий инженер, ЮДАКОВ Александр Алексеевич – доктор технических наук, заведующий Инженерно-технологическим центром, ПЕРФИЛЬЕВ Александр Владимирович – кандидат химических наук, старший научный сотрудник (Институт химии ДВО РАН, Владивосток). \*E-mail: ont55@mail.ru

Работа выполнена [частично] в рамках государственного задания ФГБУН Института химии ДВО РАН, тема № 0265-2019-0002.

В Институте химии ДВО РАН разработана опытно-промышленная установка (ОПУ) для обезвреживания хромсодержащих отходов гальванического производства [2]. Авторами изучены технологические особенности реагентной обработки концентрированных и разбавленных хромсодержащих растворов, проанализированы преимущества и недостатки применения различных реагентов-восстановителей (сульфита натрия, сульфата железа, отходов металлообработки). В производственных условиях успешно испытана реагентная технология для нейтрализации ингибирующих растворов.

Известно, что реагентный метод обезвреживания отходов достаточно прост и эффективен, однако его реализация требует использования в больших объемах химически опасных реагентов (щелочи и кислоты). Это связано с созданием и эксплуатацией специального оборудования, а также с необходимостью соблюдения правил техники безопасности.

Опыт показал, что технология и ОПУ после доработки отдельных узлов и технологических режимов могут успешно применяться для обезвреживания больших объемов отходов нестабильного состава и различной концентрации.

Цель настоящего исследования – доработка конструкции ОПУ, разработка узла установки, необходимого для подготовки реагентов и нейтрализации химически активных растворов, а также отработка основных технологических приемов при обезвреживании осадков (шламов), изучение процессов фильтрации.

### Узел подготовки реагентов

Опытно-промышленная установка (рис. 1) состоит из трех технологических узлов: *I* – реагентной обработки, *II* – подготовки реагентов, *III* – фильтрации.

Обезвреживание жидких хромсодержащих отходов осуществляется в узле *I* установки в такой последовательности: восстановление шестивалентного хрома до трехвалентного, регулировка pH среды, выдержка для прохождения реакции, осаждение гидроксидов, отстаивание, фильтрация [3, 4]. В качестве реагентов-восстановителей используются 10–30%-е растворы сульфита натрия или сульфата железа, для регулировки pH среды дозируется раствор серной кислоты, для осаждения гидроксидов производится подщелачивание 10–20%-м раствором гидроксида натрия. Необходимые водные растворы реагентов

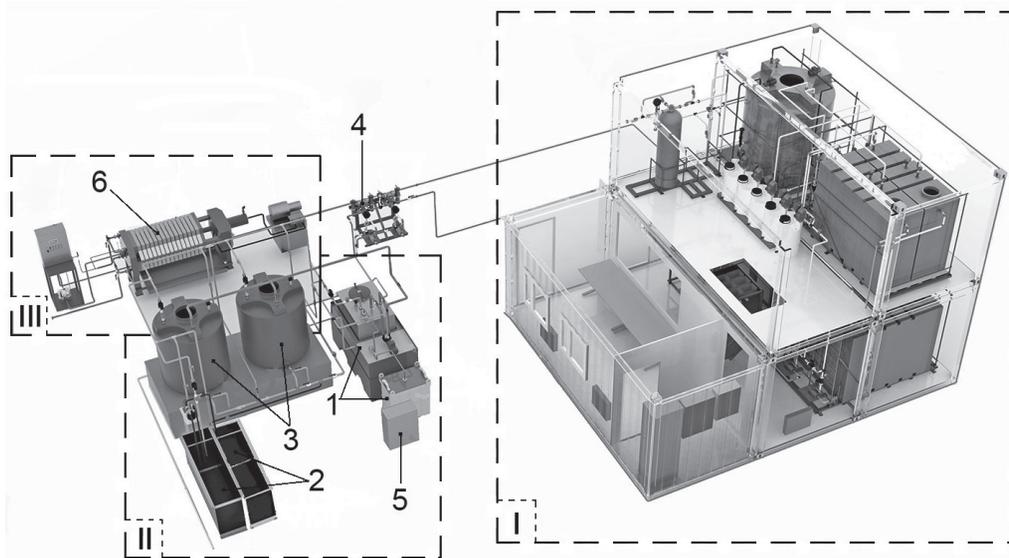


Рис. 1. Схема опытно-промышленной установки для обезвреживания жидких отходов производства (пояснения в тексте)

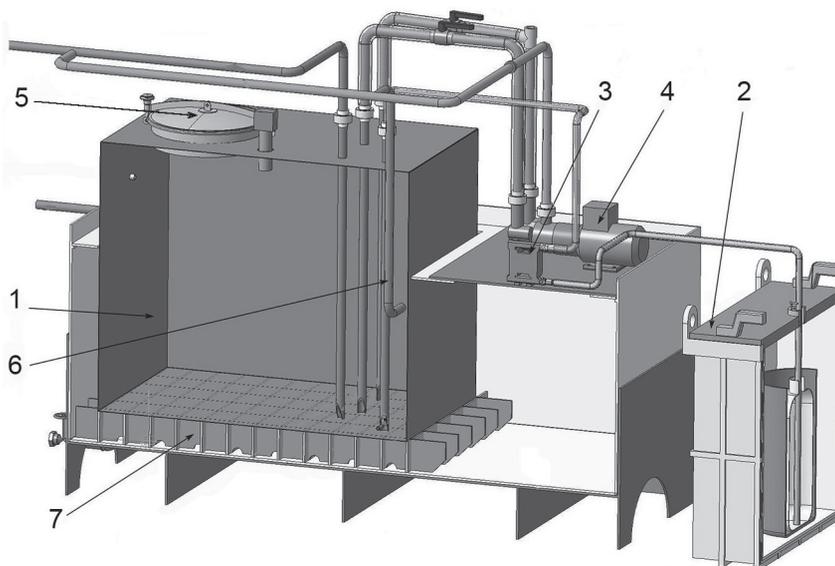


Рис. 2. Устройство для подготовки раствора кислоты (пояснения в тексте)

подготавливаются в технологическом узле II установки, который включает устройство подготовки раствора кислоты 1; ванны 2 для подготовки реагента-восстановителя и щелочи; накопительные баки 3.

Для безопасной транспортировки, откупоривания бутылей с кислотой, ее перекачки и получения раствора необходимой концентрации разработано устройство для перелива и разведения кислоты (рис. 2), включающее в себя емкость для разведения из нержавеющей стали 1 и транспортно-перегрузочный контейнер 2, насосы и технологическую оснастку.

В транспортно-перегрузочный контейнер 2 помещаются стандартные бутыли с кислотой в обрешетке для безопасной транспортировки с места хранения на территорию участка подготовки реагентов. Контейнер 2 с двойной стенкой изготовлен из химически устойчивого полимерного материала, оснащен уплотняющейся крышкой и пробкой с трубкой для забора кислоты из бутылки. Перекачивание кислоты в емкость для разведения 1 осуществляется при помощи мембранного пневматического химического насоса для агрессивных сред 3. Емкость 1 предварительно заполняется водой, объем воды зависит от того, раствор какой концентрации необходимо получить, и учитывается расходомером. Для проведения реагентной обработки жидких хромсодержащих отходов на ОПУ используется 10–30%-й раствор серной кислоты.

Перемешивание раствора кислоты в емкости 1 производится насосом 4 в режиме циркуляции. Емкость 1 для разведения кислоты снабжена технологическим люком 5 и оборудована датчиками контроля и управления. Для защиты емкости от перегрева устройство подключено к контуру водяного охлаждения 6. Емкость 1 установлена на решетчатое основание 7 в защитный кожух из химически стойкого пластика. В конструкции предусмотрены выводы для слива раствора и промывки оборудования в случае аварийных выплесков.

Подготовленный в устройстве 1 раствор подается в один из накопительных баков 3 (рис. 1). Накопительные баки установлены на защитном поддоне и снабжены пробоотборниками, необходимыми для контроля концентрации раствора.

Для подготовки раствора реагента-восстановителя и раствора щелочи используются ванны 2 из нержавеющей стали с перегородками в виде сетки-ловушки, задерживающей нерастворенные частицы реагента. Перемешивание растворов в ваннах осуществляется при помощи насосов в режиме циркуляции, подготовленные растворы по трубопроводам перекачиваются в баки-накопители.

Подготовленные растворы реагента-восстановителя, кислоты и щелочи по магистралям трубопровода из технологического узла II через фильтры грубой очистки 4 (рис. 1) подаются для проведения реагентной обработки в технологический узел I установки. Все трубопроводы помещены в защитный кожух. Для точной идентификации назначения трубопроводов на них нанесена цветовая маркировка согласно ГОСТ 14202-69. Узел подготовки реагентов оборудован системой промывки труб. Управление работой системы узла II осуществляется со щита управления 5.

Разработанная опытно-промышленная установка с узлом подготовки реагентов может также использоваться для нейтрализации опасных химически активных растворов (кислот и щелочей). В частности, на ряде предприятий актуальной остается утилизация скопившихся неорганических кислот (соляной, серной, ортофосфорной, азотной), а также гидроксидов щелочных металлов. С использованием описанного выше технологического оборудования можно осуществить нейтрализацию кислот или щелочей с последующим сбросом образующегося раствора в виде сточных вод в систему канализации предприятия. Для серной кислоты не требуется проведение специальной нейтрализации, так как рациональным является ее использование в технологическом цикле реагентной обработки хромосодержащих жидких отходов производства в виде 10–20%-го водного раствора для регулировки pH среды. Нейтрализацию химической активности соляной, ортофосфорной, азотной кислот производят при взаимодействии кислоты и основания с образованием соли и воды. Для щелочей также используют метод нейтрализации путем добавления кислот с результирующим образованием солей (осадков). Состав образующихся осадков зависит от исходных реагентов, в дальнейшем осадки подлежат утилизации с понижением класса опасности. Следует отметить, что при нейтрализации химических растворов кислотного и щелочного типов все реакции сопровождаются значительным тепловыделением, что учтено при разработке установки и подборе оборудования.

### **Фильтрация осадков**

Перед дальнейшей переработкой образующихся в процессе реагентной нейтрализации осадков необходимы их промывка, обезвоживание (фильтрация) и комплексная оценка свойств с целью определения возможностей их дальнейшей утилизации.

Для удаления остатков жидкой фазы (фильтрата) с поверхности и из внутренних пор частиц применяется многократная промывка декантацией в реакторе-осветлителе в узле реагентной обработки ОПУ [4]. После промывки и получения удовлетворительной пробы на полноту промывания осадок фильтруют.

Фильтрация – одна из сложных и трудоемких технологических задач, решение которой требует специального подхода, подбора оборудования и фильтровального материала. В результате реагентной обработки хромосодержащих растворов образуются аморфные сжимаемые полидисперсные осадки, представляющие собой преимущественно смеси гидроксидов металлов. В состав осадков входят мелкодисперсные частицы, сильнообводненные хлопьевидные составляющие. Такие осадки относятся к труднофильтруемым. Следует отметить, что фильтруемость осадков значительно зависит от их макроструктуры, которая характеризуется фазовым составом и дисперсностью. В работе [3] определены основные факторы (или «условия осаждения»), которые влияют на состав и свойства получаемых осадков. К ним относятся концентрация растворов; природа анионов и катионов осадителей; тип, число и соотношение гидроксидов металлов в системе; температура, pH среды.

Объемы осадков, содержащих гидроксиды металлов, и их свойства определяются содержанием неструктурной воды – межслоевой и адсорбированной. Количество неструктурной воды зависит от дисперсности осадка: чем больше дисперсность, тем больше обводнены осадки. Именно мелкие хлопьевидные фракции делают осадок труднофильтруемым. Такие осадки требуют индивидуальной обработки технологических параметров процесса обезвоживания.

Опыт эксплуатации разработанной установки в производственных условиях показал, что усредненная величина объема всех осадков, образующихся в процессе реагентной обработки отходов различной концентрации, может составлять 10–30 % от объема жидких отходов.

Для определения условий фильтрации, скорости осаждения, скорости процесса фильтрации, выбора оборудования и фильтровального материала проведен ряд предварительных экспериментов по осаждению гидроксидов в пробе отработанного хромсодержащего раствора в лабораторных условиях. Методом атомно-адсорбционного анализа раствора установлено содержание металлов в исходной пробе (мг/л): Cr – 1720; Mg – 1044,8; Na – 7895,0; Ca – 322,8; Sr – 9,28; Zn – 0,043; Al – <1,0; Pb – <0,5; Cu – <0,1; Ni – <0,1; Mn – <0,1; Cd – <0,01.

После реагентной обработки с использованием сульфита натрия в качестве реагента-восстановителя для получения частично обезвоженной суспензии (пульпы) проводили опыты по сгущению осадка методом естественного осаждения твердых частиц. Длительность осаждения составила в среднем 4–5 ч. Осадок, содержащий преимущественно гидроксиды хрома  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ , представлял собой плотную суспензию (рис. 3). Промытую пробу осадка упаривали до получения пастообразного шлама при атмосферном давлении и окончательно просушивали при температуре 145 °С в сушильном шкафу, после чего шлам измельчали и усредняли.

После обработки хромсодержащего раствора указанного выше состава сульфатом железа  $\text{FeSO}_4$  образовывался осадок, содержащий гидроксиды железа и хрома. В растворе наблюдались мелкодисперсные очень медленно оседающие хлопья, длительность осаждения составила в среднем 10 ч. Значительно увеличился объем осадка, представляющего собой илистую рыхлую суспензию. Промывка и фильтрация полученного осадка были затруднительны.

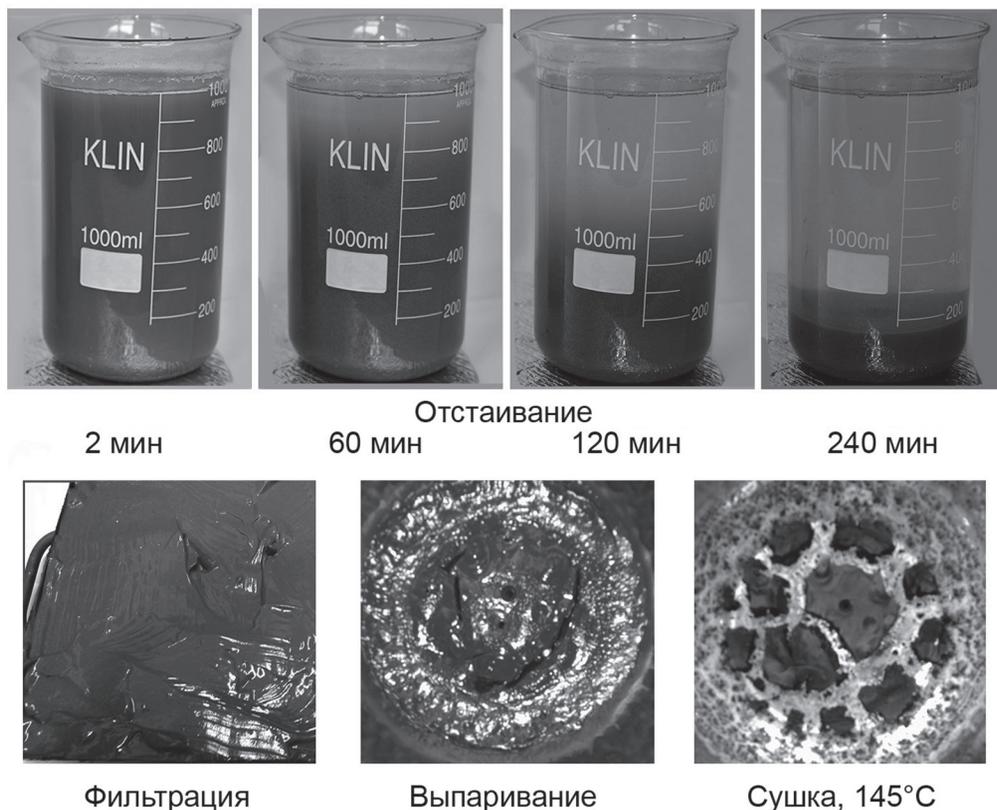


Рис. 3. Получение обезвоженного осадка (шлама) в лабораторных условиях

Для увеличения скорости фильтрации после реагентной обработки сульфатом железа были опробованы в качестве коагулянтов соли алюминия и железа (Аква-Аурат и  $\text{FeCl}_3$ ). Использование коагулянтов незначительно увеличило скорость фильтрации, лучший результат показали эксперименты с использованием  $\text{FeCl}_3$ .

Опыт фильтрации больших объемов осадков показал, что особое внимание необходимо уделять выбору фильтрующего материала, от которого во многом зависят производительность фильтрации и чистота получаемого фильтрата. Ввиду очень большого разнообразия типов фильтровальных полотен, а также условий фильтрации и свойств осадков выбрать подходящий материал достаточно трудно.

Известно, что фильтровальные характеристики осадков определяются сложной по своему физическому смыслу величиной удельного сопротивления осадка ( $r$ , см/г), зависящей от многих факторов – температуры, рН, наличия примесей и др. Литературные сведения о величине удельного сопротивления для осадков, содержащих гидроксиды и, особенно, смеси гидроксидов, значительно различаются [1]. Значение  $r$  можно определить расчетным путем, однако более надежный метод – опытный.

Для фильтрации осадков (шламов), полученных в производственных условиях на опытно-промышленной установке, использовались рукавные фильтры и фильтр-пресс. При фильтрации в рукавном фильтре были испытаны различные виды фильтровальных полотен из тканых хлопчатобумажных и нетканых синтетических материалов на основе полиэфирных и полипропиленовых волокон с толщиной фильтрации 10–60 мкм.

При использовании несмачивающегося синтетического фильтровального полотна с пропускной способностью 10–20 мкм начальная скорость фильтрации резко уменьшалась и достигала критической величины, так как частицы осадка закупоривали поры фильтровального полотна, замедляя, а затем полностью останавливая процесс обезвоживания. При использовании фильтровального полотна с пропускной способностью более 20 мкм частицы осадка проскакивали. На практике в рукавном фильтре при фильтрации осадка, полученного после обработки хромсодержащего раствора сульфитом натрия, наилучший результат достигнут при использовании плотного хлопчатобумажного фильтровального полотна с размерами пор до 10 мкм.

Для увеличения производительности фильтрации при переработке больших объемов отходов в состав ОПУ был включен фильтр-пресс камерно-мембранного типа (рис. 1, б) с общей площадью поверхности фильтрования  $10 \text{ м}^2$ , рабочим давлением фильтрования 0,8 МПа и давлением отжима осадка 1,6 МПа. В качестве фильтровального материала после предварительных испытаний в лабораторных и производственных условиях было выбрано синтетическое тканое полотно с пропускной способностью 0,25 мкм. Использование фильтр-пресса также позволяет осуществлять в узле III ОПУ дополнительные операции с осадком, например промывку и сушку.

С целью получения данных о свойствах осадков, а также определения возможности их глубокой переработки отфильтрованный осадок, полученный после нейтрализации раствора с использованием в качестве реагента-восстановителя сульфата железа, был высушен при температуре  $110 \text{ }^\circ\text{C}$  до получения сухого шлама. Затем определяли его элементный состав на стационарном энергодисперсионном флуоресцентном рентгеновском спектрометре EDX-800 HS. Содержание химических элементов в пробе шлама составило (%): Fe – 59,25; Cr – 15,74; Mg – 7,24; S – 2,88; Na – 6,17; Ca – 2,05; K – 1,0; Sr – 0,07; Si – 0,14.

Результаты термогравиметрического анализа проб представлены на рис. 4. В процессе нагрева наблюдается постепенное снижение массы всех образцов. Основное изменение массы происходит в интервале температур 100–600  $^\circ\text{C}$ . Резкое уменьшение массы в интервале температур 50–150  $^\circ\text{C}$  связано с удалением физически связанной воды. На кривой ДТА наблюдается эндотермический эффект с минимумом при температуре 150  $^\circ\text{C}$  для всех образцов. Вероятно, первый эндотермический эффект связан с образованием оксида железа(III). Известно, что оксид  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  может быть получен при низкотемпературном (до 200  $^\circ\text{C}$ ) обезвоживании  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (или полигидрата  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). Также температура 150  $^\circ\text{C}$

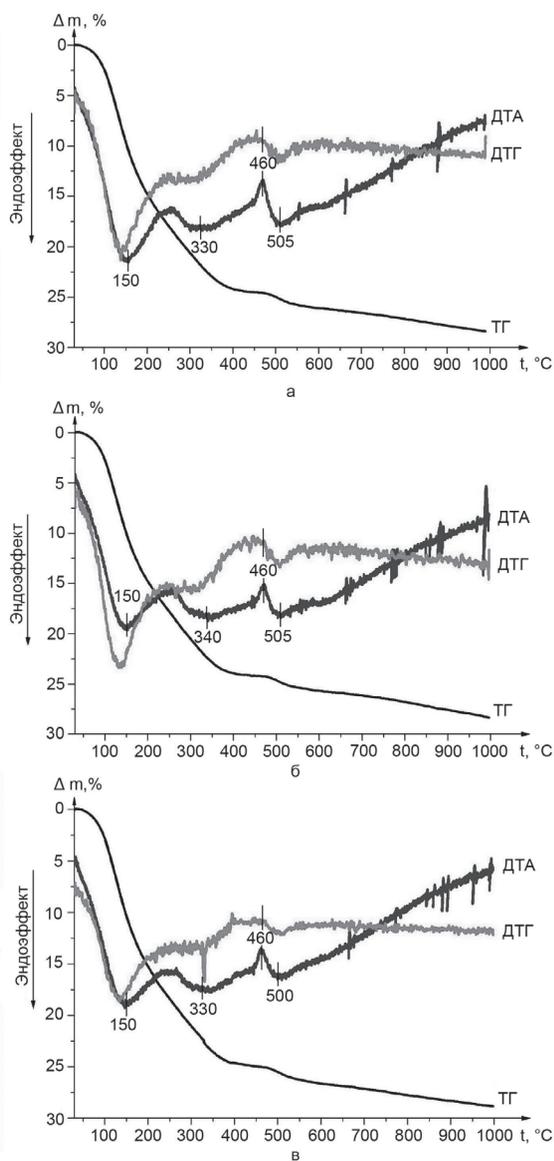


Рис. 4. Термогравиметрические кривые осадка, обработка: *а* – без коагулянта, *б* – коагулянт Аква-Аурат, *в* – коагулянт  $\text{FeCl}_3$

что образцы осадка получены в результате обработки реальных отходов производства, содержащих различные примесные элементы.

Для уточнения природы эффектов проведен рентгенофазовый анализ проб, прокаленных при температуре  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ , который показал наличие в образцах шлама оксидов железа и хрома.

## Выводы

Таким образом, разработанная опытно-промышленная установка для обезвреживания хромсодержащих производственных отходов позволяет осуществить нейтрализацию жидких отходов нестабильного состава методами реагентной обработки, а также

соответствует началу дегидратации осадка гидроксида хрома  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  (или тригидрата  $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), что согласуется с результатами исследований, представленными в работе [3].

Выше показателя  $150\text{ }^\circ\text{C}$  на кривой ДТА (рис. 4, *а*) наблюдаются два эндотермических эффекта: размытый эндоэффект с минимумом при температуре  $330\text{ }^\circ\text{C}$  и эндоэффект при  $505\text{ }^\circ\text{C}$ , а также экзоэффект при температуре  $460\text{ }^\circ\text{C}$ , которые, вероятно, связаны с формированием оксидов железа и хрома. Причем эндоэффект при температуре  $505\text{ }^\circ\text{C}$  сопровождается незначительным увеличением скорости потери массы образца. На термогравиметрических кривых (рис. 4, *б*, *в*) для образцов, полученных с использованием коагулянтов, характер кривых аналогичный, с незначительным (на  $5\text{--}10\text{ }^\circ\text{C}$ ) смещением максимумов температурных кривых. Выше температуры  $550\text{ }^\circ\text{C}$  тепловые эффекты отсутствуют, что свидетельствует о завершении процесса образования оксидов.

Результат термогравиметрического анализа может зависеть от взаимного влияния компонентов, так как осадки представляют собой не индивидуальные гидроксиды или двухкомпонентные гидроокисные системы, а системы совместно осажденных гидроокисей, состоящие преимущественно из гидроксидов железа и хрома.

Также следует отметить, что на кривых ДТА и ДТГ наблюдается сильный шум, обусловленный тем,

подготовку необходимых реагентов, промывку и обезвоживание осадка. Узел подготовки реагентов также может быть использован для нейтрализации химической активности отработанных кислот и щелочей. В узле фильтрации возможно проведение дополнительной промывки и сушки осадка.

В соответствии с разработанной технологической схемой по окончании реагентной обработки нейтрализованные растворы (фильтраты), соответствующие нормам ПДК, сливаются в систему канализации предприятия. Обезвоженные осадки (шламы) отправляются для дальнейшей утилизации.

Результаты исследования процесса фильтрации осадка и изучения его свойств могут использоваться при отработке технологии обезвоживания труднофильтруемых шламов, выборе режимов процесса и фильтровального материала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Жужиков В.А. Фильтрация: теория и практика разделения суспензий. М.: Химия, 1980. 400 с.
2. Цыбульская О.Н., Ксеник Т.В., Юдаков А.А., Кисель А.А., Перфильев А.В. Использование железосодержащих реагентов и отходов металлообработки для обезвреживания хромсодержащих гальванических стоков // Вестн. ДВО РАН. 2016. № 6. С. 70–76.
3. Чалый В.П. Гидроокиси металлов (Закономерности образования, состав, структура и свойства). Киев: Наук. думка, 1972. 161 с.
4. Tsybul'skaya O.N., Ksenik T.V., Yudakov A.A., Slesarenko V.V. Reagent decontamination of liquid chrome-containing industrial wastes // Environ. Technol. Innovation. 2019. Vol. 13. P. 1–10.

Ю.Н. ЖУРАВЛЁВ, М.А. ГУЗЕВ, А.И. ГУДИМЕНКО

## Роль конверсии в становлении действительности

*Показано, что в эволюционирующих системах конверсии создают устойчивые промежуточные элементы (гермы) путем взаимодействия составляющих как вещественной, так и виртуальной природы (порядка). Создавая все более сложно организованные гермы, конверсии обеспечивают рост сложности живых, неживых и искусственных систем.*

*Ключевые слова: становление живых и неживых систем, конверсия, гермы и расслоения.*

**Role of conversion in the reality formation.** Yu.N. ZHURAVLEV (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok), M.A. GUZEV, A.I. GUDIMENKO (Institute of Applied Mathematics, FEB RAS, Vladivostok).

*The paper shows that in evolving systems, conversions create stable intermediate forms (germs) by the interaction of components of both substantial and virtual nature (order). By constructing increasingly complex germs, conversions provide an increase in the complexity of living, nonliving, and artificial systems.*

*Key words: becoming of living and nonliving systems, conversion, germs and fiber bundles.*

Хотя об атомах очень легко говорить,  
но весьма трудно составить себе  
ясное представление об их природе,  
особенно когда речь идет о сложных веществах.

*М. Фарадей*

### Введение

Процессы конверсии играют важную роль в становлении живых, неживых и искусственных систем. Несмотря на это, понятие конверсии остается неопределенным, прежде всего по причине сложности и необычности структуры этого явления. Создавая все более сложно организованные новые устойчивые промежуточные элементы (гермы), конверсии включают трансмутации и взаимодействия вещества и порядка, траектории которых не всегда явны и непрерывны, и обеспечивают рост сложности эволюционирующих систем, их становление.

Термин «конверсия» широко используется для обозначения событий, которые можно понимать как изменение, превращение и т.д. в соответствии с переводом с латинского *conversio*. Википедия предлагает 7 различных словоупотреблений – в химической

\*ЖУРАВЛЁВ Юрий Николаевич – академик РАН, научный руководитель центра (Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток), ГУЗЕВ Михаил Александрович – академик РАН, директор института, ГУДИМЕНКО Алексей Иванович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник (Институт прикладной математики ДВО РАН, Владивосток).

\*E-mail: zhuravlev@biosoil.ru

технологии, интернет-маркетинге, лингвистике и пр., за исключением математики. Использование понятия «конверсия» в математике и математической логике часто низводится до представления традиционной логики – «и обратно», которое в большинстве случаев, особенно по отношению к процессу становления, нельзя считать допустимым.

Термин «конверсия» может относиться ко многим видам превращений, где тот или иной вид превращений не является единственным, а сопряжен с другими. В зависимости от ограничений, накладываемых на понятие «сопряжение», функциональный объем термина может сильно варьировать, но обычно имеет отношение к таким принятым в физике и математике понятиям, как «взаимодействие», «отношение», «отображение» и даже «функция».

Именно в биологическом контексте началось широкое обсуждение роли «информационных» молекул в развитии, вследствие чего была сформулирована центральная догма молекулярной биологии (ЦДМБ) [25]. Поэтому кажется естественным провести логический анализ биологических процессов становления с точки зрения их представленности как конверсий. Возможно, такой анализ ориентирует нас в вопросе о том, каких составляющих процесса становления мы не видим или не понимаем, хотя конверсия и указывает на их наличие.

### Конверсии в синтезе белка

Синтез белка считается ключевым понятием молекулярной биологии. Многие открытия в этой области отмечены нобелевскими премиями, а сущность процесса описана в многочисленных трудах [2, 9, 15, 17–19]. Физико-химические аспекты процесса освещены в монографии Т.А. Уэя [20] и научном обзоре, недавно опубликованном в «Chemical Review» [29].

Конверсия как событие становления, характерное для развивающихся живых систем, была впервые обнаружена при топологическом анализе процессов транскрипции и трансляции [33, 34] и описана в терминах теории категорий [6]. Нас привлекает в этой теории наличие универсальных свойств, связывающих новые множества с их базовыми представлениями. Данная теория предоставляет возможность, используя свойства топосов, с помощью, в частности, базовой категорной конструкции предела описать пути образования новых множеств из уже существующих, что, по нашему мнению, и является задачей математики в описании эволюции. Для дальнейшего изложения нам потребуется понимание трех основных терминов – «расслоение», «гермы» и «склейка», которыми пользуются в теории топосов [3, 8, 27].

**Расслоение** в простейшем понимании есть такая операция над базой или пространством, которая выявляет их внутреннюю структуру или организацию, минимальными элементами которой служат гермы.

**Гермы** – системные элементы, они минимальны в функциональном отношении: если гермы разлагать и дальше (что возможно в силу их структурной сложности), они перестают быть элементами рассматриваемой системы. В этом смысле гермы соответствуют промежуточным устойчивым элементам, ускоряющим создание иерархий (по Г. Саймону [16]).

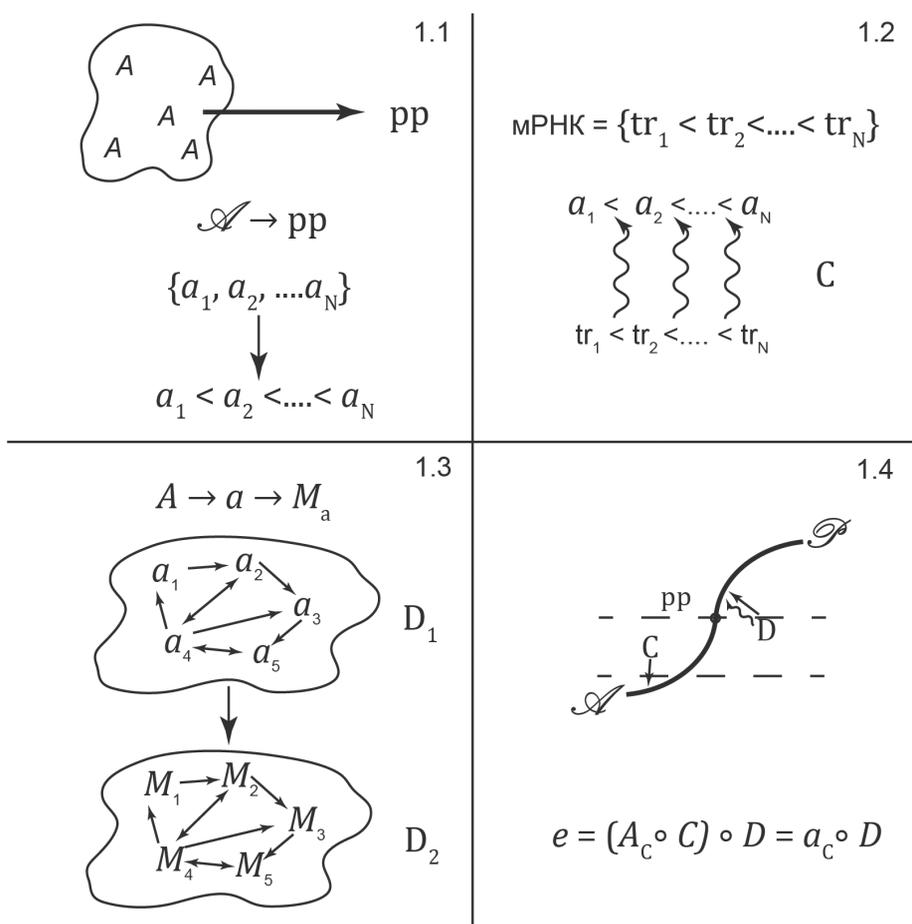
**Склеивание** – процесс, которым заканчивается создание новых гермов и слоев нового уровня. Благодаря склеиванию гермов из разных расслоений системе добавляется новое устойчивое промежуточное представление на следующих уровнях сложности.

К тому времени, когда мы начали исследовать синтез белка с помощью инструментов теории топосов, принято было считать, что передача информации в живых системах заключается в передаче последовательности триплетов в мРНК в последовательность аминокислотных остатков в молекуле белка [25]. То, что белки синтезируются из аминокислот, было известно и раньше [19]. Однако представить синтез белка как взаимодействие

гермов одного расслоения с гермами другого расслоения никто до нас не пробовал. Особенно мало было известно о том, какими свойствами могут обладать расслоения, вовлекаемые в этот процесс.

Полагая, что  $\mathcal{A} = \{A_1, A_2, \dots\}$  есть множество свободных аминокислот,  $\{a\} = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$  – множество аминокислотных остатков в полипептиде, а  $C$  есть порядок последовательности элементов в макромолекулах мРНК и полипептида, мы рассмотрим простой пример синтеза белка. В этом примере сначала нам, как и многим другим, казалось, что синтез белка следует понимать как отображение, превращающее гермы одного расслоения в гермы другого расслоения. Однако в ходе исследования мы выяснили, что трансляция есть морфизм, создающий новые гермы взаимодействием гермов из разных расслоений, в данном случае – из расслоений разных классов. Именно поэтому существенным свойством живых систем является непрерывный обмен с окружением, откуда и берется «материал» для новых, усложняющихся гермов [32]. В частности, в трансляции для создания уникального полипептида задействуется не вся мРНК, а только ее гермы порядка, тогда как вещественные гермы (триплеты) отбрасываются (возвращаются в общий пул), а вместо них используется вещество аминокислот, которые могут поставляться из любого окружения [19].

Каждый тип гермов, участвующий в отображении, привносит свой вклад в новый объект, полученный вследствие отображения. Однако представление о топологии отображения создается у нас не для объекта в целом, а для герма, избранного для наблюдения.



Этапы отображения множества свободных аминокислот в частично упорядоченное множество белка и роль порядков в превращении полипептида в функциональную глобулу. Пояснения см. в тексте

Для одних траекторий гермов переход к новому объекту может быть гетеротопичным, для других – гомотопичным, т.е. топология по наблюдаемому признаку может нарушаться или сохраняться. Для описания этих эффектов в трансляции следует учесть, что новый герм (обозначим его как «*e*») создается взаимодействием фактически двух разных классов отображений: 1) отображением свободной аминокислоты (*A*) в аминокислотный остаток (*a*), 2) выстраиванием остатков в определенном порядке. Выше мы присвоили этому порядку индекс *C*. Порядок *C* ответственен, таким образом, за «реакцию» превращения неупорядоченного множества аминокислот в частично упорядоченное множество – полипептид (см. рисунок, фрагмент 1.1). Однако упорядочение остатков осуществляется как отображение последовательности триплетов на мРНК в последовательность аминокислотных остатков полипептида. Порядок *C* является функтором, ибо переносит категорную структуру множества нуклеотидных триплетов во множество остатков (см. рисунок, фрагменты 1.1 и 1.2). Но полипептид еще не есть белок со специальной функцией. Превращение полипептида в белок происходит в процессе его складывания в уникальную глобулу, что носит название фолдинга [19].

В ходе фолдинга осуществляется дальнейшее упорядочение уже частично упорядоченного множества – полипептида – путем воплощения в нем порядка *D* (см. рисунок, фрагмент 1.3). Этот порядок отличается от порядка последовательности *C* тем, что он создает объект в окружении, формируя категорную структуру множества как геометрического тела в трехмерии, отчего отношения, задаваемые порядком *D*, не могут быть реализованы в одномерном пространстве. Образно говоря, если порядок *C* организует нить (или случайный клубок) молекулы, то порядок *D* создает из потенциального клубка функциональную архитектуру в том виде, как ее описывал Г. Саймон [16]. Поскольку порядок *C* формируется в сопряженной реакции отображения последовательности (<) триплетов в последовательность (<) остатков, следует «простую» реакцию создания полипептида записать как некую последовательность событий (см. рисунок).

Неупорядоченное множество аминокислот  $\{A_1, A_2, \dots, A_{20}\}$  могло бы отобразиться в полипептид, что и происходит в растворе без рибосом. В этом случае полипептид можно представить как произвольное множество  $\{a_1 \leftrightarrow a_2 \leftrightarrow \dots \leftrightarrow a_{20}\}$ , где ковалентная связь ( $\leftrightarrow$ ) задает в полипептиде некоторый порядок, отсутствующий в неупорядоченном множестве аминокислот, но это еще не есть порядок *C*. В живой системе (клетке) одновременно с отношением  $\leftrightarrow$  рибосома снабжает каждый включаемый в полипептид остаток еще одним отношением <, обеспечивая полипептиду в целом порядок *C*, отображаемый из порядка *C*, представленного в мРНК. Формально это выглядит так:

$$C : (tr_1 < tr_2 < \dots) \rightarrow (a_1 < a_2 < \dots \dots),$$

где  $tr_i$  – триплеты,  $a_i$  – аминокислотные остатки.

Создаваемый полипептид частями поступает в рибосомный канал, где путем взаимодействия порядков *C* и *D* начинается его превращение в функциональную молекулу. Превращение полипептида в глобулу заканчивается уже вне рибосомы. Формально запись взаимодействия порядков вызывает определенную трудность, поскольку специфическая часть *C* привносится в полипептид из РНК-мира, тогда как в основе *D* лежит способность аминокислотных остатков к взаимодействию между собой, ограниченная их локализацией внутри полипептида. Взаимодействие порядков с остатками между собой создает элемент *e* (см. рисунок, фрагмент 1.4).

Интерпретация фрагментов 1.3 и 1.4 рисунка будет продолжена ниже. Здесь же хочется подчеркнуть, что наблюдаемая в синтезе белка версия порядка последовательности *C* может быть представлена версиями последовательности как триплетов, так и аминокислотных остатков. Однако в составе белка аминокислотные остатки способны к созданию принципиально новых вещественных элементов *e*, которые мы называем гермами нового расслоения и которые соответствуют понятию потенциальных промежуточных устойчивых форм в описании сложности Г. Саймона [16]. В этом представлении особенность трансляции заключается в том, что наличие в ней конверсии приводит к утрате

аналитичности (молекулярно-организационного уровня) между вещественными представлениями системы: если раньше система принадлежала классу нуклеиновых кислот, то после трансляции она относится к классу полипептидов. Обусловлено это заменой одной промежуточной устойчивой формы (герма  $e$ ) на другую. При этом молекулы мРНК (или нуклеотиды – вещественные носители мира нуклеиновых кислот) либо возвращаются в пул транскриптов, либо гидролизуются, а полипептиды продолжают свое участие в становлении.

Здесь важно следующее. Если не считать сопряжение порядков главным событием взаимодействия, то понять причинно-следственный характер реакций трансляций трудно или даже невозможно. Сложность заключается в том, чтобы догадаться (а не вычислить – аналитичность-то не всегда вещественно явна), гермы каких расслоений и откуда привлекаются и как они взаимодействуют, создавая новые гермы для последующей склейки. Понять и признать, что элемент нового расслоения  $e$  (аминокислотный остаток с признаками порядков  $D$  и  $C$ ) принципиально отличается от исходного элемента  $A$  (аминокислоты) в примере с полипептидом особенно трудно, потому что структурное сходство аминокислоты и ее остатка очевидно, а добавленные значения порядков  $C$  и  $D$  скрыты. Более того, аминокислотный остаток (в белке) не проще, а намного сложнее самой аминокислоты, поскольку является носителем двух новых порядков, не свойственных множеству свободных аминокислот.

Некоторым исследователям, склонным гипертрофировать роль классификации, трудно представить себе взаимодействие гермов вещественного представления (молекул) с гермами виртуального представления (отношениями порядка). Им это кажется смесью физикализма и ментализма [1]. Но это не смесь понятий, а особый тип взаимодействия, который соответствует декартову произведению множеств, поскольку элементарный топос есть декартово замкнутая категория с классификатором подобъектов [3].

### Другие конверсии в биологии

Оперируя термином «конверсия», легко обнаружить, что именно отсутствие уровневой аналитической связи по потоку вещества ставило в тупик многих исследователей эволюции. Так, Адди Просс, автор широко известной монографии «What is Life?» [28], в схеме эволюционного ряда поставил вопрос, отделяющий химический мир от простейшей жизни: мол, непонятно, как это происходит. Он не смог на него ответить, поскольку искал аналитическое решение для каскада конверсий вещества, не замечая гетеротопического характера этого превращения.

Конечно, признание гетеротопического характера перехода вещественной составляющей и отсутствие в нем уровневой аналитичности далеко не всегда дают новое конкретное знание, но в ряде случаев это важно. Наличие гетеротопических переходов позволяет, например, устранить противоречие между градуализмом, идущим от Дарвина [7], и гипотезой прерывистого равновесия, предложенной С. Гулдом и Н. Эдбриджем [26], поскольку объясняет, что постепенное развитие больше опирается на гомотопические составляющие конверсии, а быстрые эволюционные изменения связаны с гетеротопическими переходами в структуре объектов и систем.

В научно-популярной литературе прослеживается тенденция говорить о некоторых событиях становления как о чуде или загадке. Обычно это случается, когда какая-либо составляющая взаимодействия ускользает от внимания или не поддается наблюдению. Если она, будучи даже непонятной, видна, о чуде не говорят. Например, электрические свойства скатов не считают чудом, поскольку известно, что импульс вырабатывается электрическим органом, хотя этот орган до сих пор таит много загадок и сказать, что все здесь ясно, – значит, выдавать желаемое за действительное. В то же время оператор эволюционного скачка от прокариотов к эукариотам не поддается наблюдению, отчего

некоторые эволюционисты считают, что между организациями этих двух типов лежит пропасть [14].

Сложное сочетание и чередование гомо- и гетеротопических сопряжений широко распространены в живых системах. Они наблюдаются в синапсах – местах передачи нервного импульса между двумя нейронами или между нейроном и получающей сигнал эффекторной клеткой. Среди выявленных в медицине конверсий известны случаи, когда продукт склейки одного процесса становится оператором другого. Такие конверсии часто обнаруживаются в патологии развития организма, например, когда доброкачественное разрастание простаты препятствует мочеиспусканию или полипы в синусе верхней челюсти затрудняют дыхание.

### **Конверсии в неживых системах**

События становления живых систем не удастся четко отделить от событий в системах окружения ни в историческом, ни в пространственном аспекте [10]. Те и другие системы вместе и по отдельности обнаруживают признаки роста, дифференциации и усложнения. Отдельные компоненты неживых систем постоянно переходят в живые системы и наоборот, однако это явление, называемое метаболизмом, приписывается только живым системам.

В силу сходства процессов становления аналитичность, по-видимому, может отсутствовать и в некоторых «простых» физико-химических переходах, которые можно считать участвующими в становлении, скажем, химического мира. Например, при взаимопревращениях иона и нейтрального атома (неона) конверсия вещества как бы гомотопична (атомы вещества и растворителя не меняют своей элементной принадлежности), но процесс сольватации объединяет, склеивает их, создавая герм (типа  $e$ ) более высокого порядка, к примеру  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ . Вода в этом случае уже не безлика среда, а молекулярное расслоение, и гермы этого расслоения участвуют в конверсии наряду с ионами меди. Несмотря на «простоту» этого нового герма, компьютерные симуляции превращений энергии при таких конверсиях не имеют четкого алгоритма, а сами симуляции приравниваются к алхимии [29].

Из многочисленных примеров конверсии энергии в физике к нашей теме наиболее близки примеры «прямого» ее преобразования. Сюда относятся такие физические процессы, как превращение химической энергии в электрический ток в гальванических элементах, превращение энергии фотонов в ток в солнечных батареях или, скажем, создание статического электричества при трении.

Особенно интересны, хотя и трудны для исследования, расслоения в пространствах низкой размерности. Гермы таких пространств обладают новыми свойствами, не предсказуемыми законами классической физики, поскольку являются результатом взаимодействия гермов неизученного еще более низкого уровня организации.

Анализ числового ряда открывает немало примеров гетеротопических переходов, которые ставили в тупик целые поколения математиков. Каждое новое множество чисел в ряду открывалось с трудом и в жестоких спорах. Таковы, например, комплексные числа, появление которых не могло быть предсказано аналитически до открытия корня-степени и отрицательного числа.

Однако самое важное для математики свойство конверсии связано с представлением о «полноте» конвертируемого объекта. При формальном исследовании становления числового ряда оказывается, что каждая следующая конверсия преодолевает в определенном смысле полноту предыдущей конверсии. Например, в становлении числового ряда последовательно преодолевается его замкнутость (полнота) относительно вычитания (целые числа), деления (рациональные числа), сходимости последовательностей Коши (вещественные числа) и т.д. Преодоление полноты открывает новые возможности для становления и лежит в основе эволюции.

## Конверсии в искусственных системах

Под искусственным вслед за Г. Саймоном [16] мы понимаем все «спроектированное» и созданное при участии «разумной» деятельности человека. Именно проективная деятельность является той виртуальной составляющей, которая порождает гермы новой сложности в искусственных системах. Выброшенная морем плоская створка раковины не была артефактом вплоть до того момента, пока разглядывавший ее антропоид не «запроектировал» использовать ее в качестве скребка. Гораздо длиннее путь «проекта» создания песочных, а затем – механических, электрических и прочих часов. И понять конверсию здесь сложнее, чем в примерах из чистой биологии.

Все выведенные человеком сорта и породы включают элементы как естественного, так и искусственного происхождения. Поэтому создание сорта может быть истолковано как гетеротопическая конверсия. Так, в природе не существует такого вида, как слива (*Prunus domestica*). Все имеющиеся сорта сливы выведены человеком с помощью гибридизации, в которой взаимодействовали генотипы тёрна (*Prunus spinosa*,  $2n = 32$ ) и алычи (*Prunus divaricata*,  $2n = 16$ ). Потребовалась особая схема скрещивания и возделывания гибридного потомка, так что это скрещивание можно представить как взаимодействие гермов растительных генотипов с гермами особого порядка – алгоритмом скрещивания, продуктом человеческого планирования.

Более сложная конверсия прослеживается при выведении современных сортов пшеницы.

В социологии термин «конверсия» обычно используется без оглядки на механизм осуществления процесса. Существует, например, даже такое утверждение: конверсия – это побуждение клиентов принимать конкретные меры, т.е. «превращение» человека, просматривающего в Интернете тот или иной сайт, в покупателя товара. Понятно, что «побуждение» можно представить как герм порядка.

Внимательный анализ таких сложных социальных систем, как государства, показывает, что в их создании принимали участие не только гермы и слои биологической природы (люди, население), но и гермы искусственных множеств и расслоений (конституций, уставов, кодексов). В соответствии с этим менялась и социальная природа человека, создавался новый тип герма.

Интересно сравнить средства коммуникации в разных множествах живых объектов. Для простейших они выглядят как физические и химические контакты близкодействия. У многоклеточных эти средства представлены сигналами жестов и звуков. У людей звуковое общение становится дифференцированной речью с синтаксисом. Хотя Г. Бейтсон [1] и предполагал, что «парадигмы вербальной грамматики могли каким-то образом произойти из парадигм взаимодействия», сегодня более распространено мнение, что язык жестов не был источником для речи, потому что жестовый текст, в отличие от звукового, нелинеен. В синтаксисе жестового языка в первую очередь используется трехмерность пространства: жестикулирующий «помещает» участников ситуации в определенные точки пространства, и в дальнейшем место артикуляции предикатов предсказуемо модифицируется в зависимости от локализации субъекта и объекта [13].

Этот пример дает возможность составить дополнительное представление о диапазоне действия порядков *C* и *D* и роли аналитичности в становлении систем. Так, уложение о наказаниях и оскал вождя племени как задача коммуникации функционально гомологичны, но между способами их физических представлений нет признаков аналитичности. Поскольку содержание и речи, и жестового текста можно переводить на искусственные носители, мы приводим пример именно в этом разделе. Однако и сама история письменности содержит замечательные примеры конверсий. Не вдаваясь в подробности, отметим только глубокую аналогию понятий «герм» и «морфема», которые оба означают наименьшую единицу контекста, имеющую некоторый смысл, тогда как дальнейшее деление приводит уже к выделению незначимых элементов.

## Обсуждение

К представлению о конверсии вынуждены обращаться, когда в исследовании процессов становления обнаруживаются закономерности, недоступные для описания традиционными терминами. Например, в терминах гомологии можно описать эволюцию передних конечностей рыб, птиц и зверей, но нельзя эту логику применить к описанию эволюции, например, крыльев позвоночных и насекомых. Эти два класса крыльев безусловно являются продуктами эволюции, но между ними нет аналитичности, отчего переход одного в другое в определенном смысле непредсказуем, и о нем можно говорить как о «чуде». Однако его можно описать в терминах РКС (расслоение–конверсия–склеивание) [6, 11, 12, 31].

Модуль РКС широко распространен в природе и обнаруживается во всех трех потоках, участвующих в становлении действительности (потоках вещества, энергии и порядка). Но наивно было бы думать, что с помощью одного универсального и неизменного модуля можно описать все разнообразие процессов становления. Каждая составляющая модуля изменчива и часто трудно узнаваема. То же относится и к его основной части – конверсии. Иногда ее просто не видят.

Конверсия в становлении проходит этап подготовки: в системе накапливаются новые носители, потенциально способные войти в состав гермов нового расслоения, чтобы выполнять ту же функцию, что и действующие, но расширенную в расширенном пространстве. Такими носителями можно считать, например, аминокислоты, транзисторы, биткоины, а в социальных пространствах – заговорщиков и революционеров. Аминокислотные остатки, заместив нуклеотиды, резко расширяют круг и разнообразие внутримолекулярных и супрамолекулярных взаимодействий. Революционеры или заговорщики, захватывая функцию управления, могут как расширять, так и сужать пространство, поскольку результатом переворота может быть как республика вместо монархии, так и наоборот. Создадут ли биткоины новое глобальное пространство взамен пространства действующих валют, еще не ясно, но локально такое пространство уже существует с момента их появления.

Сторонники теории большого взрыва утверждают, что знание законов эволюции *после* взрыва нельзя использовать для получения знаний о том, что было *до*. Они полагают, что их модель Вселенной имеет начало, представленное такой сингулярностью, что поиски связи того, что было *до*, с тем, что стало *после*, ненаучны [22, с. 79]. Биологу трудно спроецировать такие утверждения на область своих фундаментальных представлений. Для него достижения физики – те же фрагменты Оказаки, которые мало синтезировать, их еще надо правильно сориентировать и потом сшить в молекулу отстающей цепи. Тем более после развития представлений о конверсии трудно поддержать точку зрения С. Хокинга, которая объясняет, что впечатление сингулярности оказывается всего лишь следствием взаимодействия трудно наблюдаемых гермов из малоизученных расслоений. Но и самим биологам представления о гетеротопической конверсии будут полезны, например, для постановки вопроса о происхождении мира РНК. Пока в этих исследованиях рассматривается только вещественная составляющая, отчего большинство гипотез происхождения мира РНК сводится к малообоснованному градуализму или маловероятному случаю [14]. Полагая, что белковый мир есть конверсия из мира РНК, можно ставить вопрос о конверсии, создавшей мир РНК.

В продвинутых живых системах отношения между подсистемами не всегда явно обозначены. Это отчасти связано с тем, что живые системы представляют собой «изменяющиеся множества» (variablesets) [27]. Истинность высказывания для таких множеств не абсолютна, а зависит от контекста (уровня развития системы, знания о нем и пр.), а логика в отношении таких меняющихся элементов является интуиционистской [3, с. 227; 23]. Учитывая это и заменяя понятие «истинность высказываний» на понятие «топология», можно утверждать, что в изменяющихся множествах гомотопичность или гетеротопичность перехода зависят от того, по какому отношению анализируется переход.

Понятие «изменяющееся множество» достаточно тесно связано с представлением о не вполне выделенном объекте [30]. Если объект выделен неявно, как это допускает аксиома выбора, то в операциях с системой возможны странные результаты вроде парадокса Банаха–Тарского, который известен как парадокс двух шаров и заключается в том, что существует допустимое отображение из сферы в объединение двух сфер того же радиуса. Это противоречит интуиции, поскольку, разделяя, допустим, апельсин на конечное число частей, мы интуитивно уверены, что, складывая эти части вместе, можно получить один апельсин, но никак не два.

Чтобы обосновать допускаемую аксиомой выбора возможность, математик Джузеппе Витали в 1905 г. прибег к следующему трюку. Если резать апельсин ножом, а дольки взвешивать, то наша логика, основанная на понятии аддитивности, правомерна. Но апельсин можно разрезать виртуально на части, которые не имеют ни веса, ни объема. Из множества, состоящего из таких «неизмеримых» частей, можно построить два (и больше!) множества, конгруэнтных исходному, предполагая, что объемы двух конгруэнтных множеств совпадают. После этого каждое новое множество снабжается свойством аддитивности, что и означает: из двух виртуальных апельсинов получаются два вещественных.

Суть трюка заключается в том, что сначала измеримое множество рассматривается как неизмеримое, а после операции его разделения оба неизмеримые множества рассматриваются как измеримые. Некоторые полагают, что невозможно осуществить такое разбиение какими-либо средствами на практике. Но жизнь давно освоила этот трюк. Например, в случае исследования синтеза белка вводится виртуальный объект – порядок  $C$ . Этот порядок есть способ представления элементов системы и самой системы без свойства аддитивности (напомним, что порядок  $C$  «пренебрегает» фактом, что триплет имеет объем). В отсутствие аддитивности все, что наша интуиция могла бы потребовать от объемного объекта, при передаче порядка отсутствует. Но в синтезе белка это продолжается недолго. Уже в рибосомном канале восстанавливается внимание к свойству аддитивности, а уж молекула белка и все конструкции с ее использованием, их мезо- и макроскопическая динамика тем более отвечают нашим интуитивным ожиданиям.

Трюк разных представлений изменчивого множества жизнь демонстрирует на разных уровнях, а в случае с апельсином делает это буквально (по Эйнштейну – эмпирически): из апельсина может вырасти дерево, а на дереве вырастут два и более апельсинов.

Чередующаяся по основному отношению структура (гомо- и гетеротопическая) эволюционных шагов затрудняет исследование становления, однако не делает его невозможным, прежде всего потому, что в диапазоне становления от атомов и молекул до сложных живых и неживых объектов мы уже имеем некоторое представление о разнообразии баз расслоений, элементы которых связаны конверсиями. Поскольку теперь мы не ограничены необходимостью обязательно искать аналитичность, которая отсутствует при гетеротопической смене фрагментов наблюдаемых траекторий, мы можем больше уделять внимания превращениям и организациям баз, что позволит в конце концов составить представление и о конверсиях между их элементами (гермами).

## Анализ

Понятие конверсии приближает нас к пониманию того, что поток становления состоит из взаимодействий не только элементов вещественного характера (макромолекул, органелл, организмов и пр.), но и элементов порядка, которые, по-видимому, являются в общем случае безмассовыми. Поэтому в этом разделе рассмотрим конверсию, представленную на приведенном выше рисунке, с несколько иной позиции.

Полагая, что поток становления представляет собой некое поступательное (в смысле роста организации) движение, которое сопровождается взаимодействиями между элементами безмассовой и вещественной составляющих потока, обратим внимание на сходство

динамики становления с процессами, анализируемыми в квантовой электродинамике. Мы полагаем, что причиной сходства является неполнота выделения из их окружения как биологических [30], так и квантовых объектов. Не будем развивать эту тему в данной публикации, но отметим, что благодаря сходству этих двух процессов методы, использованные в квантовой электродинамике, могут быть полезны в анализе событий становления. Речь идет о диаграммах Фейнмана [21]. Безусловно, мы сознаем невозможность безоговорочного переноса методов и приемов квантовой механики в молекулярную динамику, но само использование указанных диаграмм в дополнение к анализу кажется нам перспективным.

В диаграммах Фейнмана физическому процессу взаимодействия частиц соответствует некоторая графическая схема. На минуту забудем о сложности мРНК или полипептида и будем считать их частицами с траекториями. Попробуем представить отношения их траекторий на диаграммах, как это делал В.Н. Грибов для нерелятивистских объектов [4, с. 11, 13].

Рассмотрим смысл отношения, о котором принято говорить, что процессы трансляции последовательности матричных РНК отображаются в последовательности белка, что можно записать как мРНК  $\rightarrow$  белок. Сразу заметим, что разнообразие значений понятий «последовательность» и «белок» заставляет думать о последовательностях буквально, т.е. не как о свойствах, а как об объектах. На самом деле ни одна последовательность как переход одного вещественного объекта в другой в трансляции не отображается: стрелка в записи мРНК  $\rightarrow$  белок означает только порядок последовательности (порядок следования элементов в том и другом объектах). Использовать термин «белок», говоря о последовательности, тоже не совсем правильно, так как в большинстве своем функциональные белки представлены нелинейными формами. Поэтому и несмотря на то что объекты мРНК и полипептид имеют в действительности вид отрезков и характеризуются протяженностью во времени, мы не можем считать эти две последовательности траекториями одной и той же частицы и связывать их какой-либо функцией, например функцией Грина, которая обычно используется для описания взаимодействий на диаграммах. Из всех отношений, представленных в процессе синтеза белка, функцией Грина в полном объеме может быть охарактеризован только процесс создания полипептида из неупорядоченного множества свободных аминокислот (первая и вторая строки в фрагменте 1.1 рисунка). Именно для траектории этого процесса и будем анализировать возможность сопряжения с другими траекториями.

При отображении порядка последовательности триплетов в порядок последовательностей аминокислотных остатков полипептида (см. фрагмент 1.2 рисунка) используется как минимум 20 разных представлений функции Грина – по одному для каждого отношения «триплет–остаток». Поскольку это делается с помощью достаточно универсального функтора (переносчика порядка) – рибосомы, есть основания считать, что разные представления функции Грина есть разные (локальные?) состояния рибосомы. Функция отображения последовательности мРНК в последовательность полипептида непрерывна, хотя и особым образом: она непрерывна во всех точках, попарно отображающих последовательность пар. Вследствие этого вещественные составляющие трансляции, т.е. объекты мРНК и полипептид, изоморфны по отношению к порядку  $C$ . На этом роль трансляции в становлении заканчивается.

Продолжение становления связано с развитием отношений между аминокислотными остатками, создающими порядок  $D$ . Иногда об этих отношениях говорят как о «преобразовании информации из линейного кода в трёхмерие» [5], что неверно именно в свете принципов конверсии. В трёхмерии линейный код не преобразуется, он так и остается линейным, хотя и непрямолинейным. Зато с образованием пептидной связи в становлении начинает использоваться свойство трёхмерия остатков, уже присутствовавшее в структурах аминокислот. Теперь природа как бы вспоминает, что аминокислотный остаток есть пространственный элемент, и отсюда начинают выстраиваться отношения между пространственными элементами – остатками.

Фрагмент 1.3 рисунка обогащает наши рассуждения, снабжая полипептид порядком  $D$ , представляя его не последовательностью безликих элементов, а как взаимодействие упорядоченных многообразий ( $M_i$ ). Создание порядка  $D$  становится возможным потому, что в трансляции состоялся переход к последовательности геометрических объектов, локально имеющих свойства многообразия. Каждому аминокислотному остатку присуще собственное векторное пространство, но на каждое из них накладывается ограничение, вызванное наличием ковалентной связи между остатками. И для каждого взаимодействия между остатками, имеющими смысл категорных объектов, требуется отдельная функция. Описать эти взаимодействия можно только в терминах теории категорий, и поэтому в волнистые овалы на фрагменте 1.3 рисунка заключены уже не множества, как на фрагменте 1.1 того же рисунка, а категории, где стрелки означают отношения. И, судя по всему, для обозначения этого рода категорий придется ввести особое наименование.

Такое понимание фолдинга делает задачу описания процесса становления исключительно сложной, даже если ее ограничить вопросами дифференциальной геометрии многообразий. Придавая аминокислотному остатку смысл многообразия, надо понимать, что за этим следует сопоставление каждой точки топологического пространства с множеством ее окрестностей, а каждой точки многообразия – сопоставление с пространством векторов, касательным в этой точке. Даже природе не удалось решить в один прием проблему придания полипептиду свойств уникального геометрического тела. Выше мы упоминали, что этот процесс начинается в рибосомном канале еще до окончания синтеза полипептида и продолжается в эндоплазматическом ретикулуме или цитоплазме с участием молекулярных шаперонов или без (см. рисунок, фрагмент 1.3). Чтобы отразить эту этапность, мы вводим порядок  $D$  с индексами 1 и 2, хотя понятно, что этапов создания функционального белка гораздо больше. Однако ковалентная связь не только ограничивает соседние многообразия, но и дает основание для создания интегрального объекта, сочетающего свойства, производные от порядков  $C$  и  $D$ . Одним из таких важных свойств является возможность введения касательного расслоения и связанных с ним инвариантов. Некоторые аспекты представлений трансляции в расслоенных пространствах описаны ранее в работах [6, 31]. На основании этих работ для описания процессов РКС мы использовали понятие «герм» как организационно минимального элемента этих процессов.

Благодаря использованию герма как основного элемента РКС открывается возможность представлять отдельные шаги становления как последовательные процессы создания новых «склеенных» элементов типа  $e$  и генерируемых ими пространств. Элемент  $e$  создается сопряжением траекторий всех участвующих на данном этапе становления расслоений (см. рисунок, фрагмент 1.4). Поэтому элемент  $e$  имеет набор свойств, характерных для разных расслоений, и генерирует пространства с отношениями, соответствующими этим свойствам. Конечно, на указанном фрагменте представлена сильно редуцированная схема, поскольку представление траектории на плоскости всегда беднее представления в реальном многомерном пространстве.

На рисунке траектории сопряжений показаны только для порядков  $C$  и  $D$ , т.е. они ограничены внутренними пространствами, которым в принципе можно было бы противопоставить внешние пространства окружения, но это противопоставление отвлекло бы нас от основной темы статьи.

Проведенный анализ позволяет дать следующее определение: конверсия есть переход объекта в новое пространство (или в набор пространств), в ходе которого сопряжение функций, создающих новый промежуточный устойчивый объект, снабжает этот объект всеми атрибутами нового пространства (новых пространств). Сопрягающиеся функции имеют как вещественный, так и виртуальный характер. Поэтому на фрагменте 1.4 рисунка порядок  $D$  представлен двумя стрелками, из которых волнистая соответствует виртуальному, а прямая – вещественному представлению. Пунктир означает, что в случае, когда основное содержание этапа становления представлено виртуальной функцией,

вещественная функция может оказаться разрывной, что производит впечатление отсутствия аналитичности.

Биологические объекты отличаются от объектов квантовой механики своей представленностью в большем числе пространств, а также своей многомерностью (многоальностью, если можно так выразиться). Эта представленность реализуется как разнообразие отношений, которые оказываются разнообразием функций, сосредоточенным на ограниченном числе носителей. Живые системы, таким образом, обнаруживают не дуальную, а поливалентную, универсальную природу. Это происходит по той причине, что полипептид представлен последовательностью элементов, соответствующих примерно 20 типам многообразий, причем длина и подвижность полипептида и потенциальная комбинаторика его элементов (которые тоже могут создавать объединения разных уровней сложности) позволяют формировать практически неограниченное число вариантов заполнения трехмерного пространства.

### Заключение

Универсальная роль конверсии в становлении систем заключается в том, что она реализует разнообразие возможных направлений взаимодействия (отношений) между элементами системы и системами окружения, тогда как отбор сохраняет те системы, изменения в которых способствуют направленному развитию системы.

На ранних этапах становления конверсии и отборы могли быть характерны как для живых, так и неживых систем. Поэтому можно предположить, что начальные этапы становления живых и неживых систем не различались и протекали взаимосвязанно [10]. Организационные различия между ними появились ко времени освоения живыми системами конверсии, воплощающей последовательность событий в потоке становления в последовательность элементов в структуре выделенного объекта. Другими словами, живые системы научились сохранять и воспроизводить опыт прошлого на природных носителях, что и дало повод известному математику Джону фон Нейману считать ДНК софтом живого вычислительного устройства. Ответ на вопрос, как это произошло, составляет задачу будущих исследований.

Зафиксированный в последовательностях элементов у полимеров живых систем порядок  $C$  относится к пространствам типа  $R^1$ . Воспроизводство этого порядка с созданием сети выделенных объектов тоже заслуживает отдельного рассмотрения. Здесь важно отметить, что если пространство понимать как поле и помнить, что ни один объект не бывает выделен из поля исчерпывающим образом, то конверсия приобретает новый смысл: взаимодействие гермов из разных пространств эквивалентно взаимодействию самих пространств.

Порядок становления  $D$  переводит трансформируемый объект в пространство типа  $R^3$  сразу, как только в этой потенциально живой системе становятся возможными отношения между элементами. Эти отношения не могут быть только внутренними или только внешними, поскольку объект никогда не бывает выделен исчерпывающим образом. Внутренние отношения между элементами важны, ибо только они делают объект системным. Но без внешних отношений само существование объекта становится неопределенным.

Здесь мы вынуждены анализировать отношения отношений, отчего наше исследование попадает в малоразработанную область, которую можно отнести к многозначной металогике. В этом направлении исследований особое место занимают широко распространенные в биологии и социологии транссистемные объекты, т.е. такие системные объекты, элементы которых принадлежат разным системам с хорошо обозначенными контурами, в то время как контуры транссистемных объектов явно не обозначены (к ужасу Г. Бейтсона, можно заметить, что такие контуры могут объединять (особым образом, не смешивать!) «ментализм» и «физикализм»). Таковы, например, системы кальцийзависимых киназ в

клетке или коррупционные образования в обществах. Отсутствие явных контуров и связей не мешает этим элементам создавать свой функционально выделенный по некоторому отношению транссистемный объект, вещественные элементы которого рассредоточены и глубоко завязаны как элементы других систем.

Важно, что исследование конверсии обнаруживает разнообразие порядков в процессе становления. Хотя об информационном содержании последовательностей биополимеров написано и сказано немало, исследования потоков порядка в процессе становления действительности далеки до завершения. Так, описывая превращения порядка последовательности триплетов мРНК в порядок последовательности аминокислотных остатков, исследователи мало уделяют внимания тому факту, что и в отсутствие мРНК синтез полипептида из свободных аминокислот сам по себе является важным информационным событием. В неупорядоченном множестве аминокислот, по-видимому, существует потенциал некоего предпорядка (как это предполагалось в ранних работах Д. Крама с соавторами [24]), воплощенного затем в частично упорядоченном полипептиде, но он скрыт от наблюдения и обычно никак не учитывается. Это сильно обедняет представление об эволюции живых систем, поскольку порядок  $D$ , возможно, содержательно более емкий, чем порядок  $C$ . Обогащение последовательности порядком  $C$  и затем  $D$  можно истолковать как итерационные действия становления, направленные на создание все более сложно организованных пространств.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бейтсон Г. Экология разума. М.: Смысл, 2000. 148 с.
2. Богданов А.А., Сумбатян Н.В., Шишкина А.В., Карпенко В.В., Коршунова Г.А. Рибосомный туннель и регуляция трансляции // Успехи биол. химии. 2010. Т. 50. С. 5–42.
3. Голдблатт Р. Топосы. Категорный анализ логики. М.: Мир, 1983. 487 с.
4. Грибов В.Н. Квантовая электродинамика. Ижевск: НИЦ «РХД», 2001. 288 с.
5. Громов М. Кольцо тайн: вселенная, математика, мысль. М.: МЦНМО, 2017. 288 с.
6. Гудименко А.И., Гузев М.А., Журавлёв Ю.Н. Применение теории категорий к описанию фундаментальных событий онтогенеза // Дальневост. мат. журн. 2016. Т. 16, № 2. С. 147–159.
7. Дарвин Ч. Происхождение видов путем естественного отбора или сохранение благоприятных рас в борьбе за жизнь: пер. с англ. СПб.: Наука, 1991. 539 с.
8. Джонстон П.Т. Теория топосов. М.: Наука, 1986. 220 с.
9. Жимулёв И.Ф. Общая и молекулярная генетика. Изд. 4-е. Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007. 479 с.
10. Журавлёв Ю.Н., Гузев М.А. Квантовые аспекты изучения жизни // Вестн. ДВО РАН. 2014. № 5. С. 5–17.
11. Журавлёв Ю.Н., Гузев М.А., Гудименко А.И. Модульная организация биосоциальных систем // Вестн. ДВО РАН. 2016. № 2. С. 5–23.
12. Журавлёв Ю.Н., Гузев М.А., Гудименко А.И. Синтез белка как объект физико-математического исследования и моделирования // Сиб. электрон. мат. изв. 2019. Т. 16. С. 340–368.
13. Зайцева Г.Л. Дактилология. Жестовая речь. М.: Просвещение, 1991. 159 с.
14. Кунин Е. Логика случая. О природе и происхождении биологической эволюции. М.: Центрполиграф, 2014. 528 с.
15. Макарова Т.М., Богданов А.А. Рибосома как аллостерически управляемая молекулярная машина // Успехи биол. химии. 2017. Т. 57. С. 3–323.
16. Саймон Г. Науки об искусственном. Изд. 2-е. М.: URSS, 2004. 142 с.
17. Спирин А.С. Молекулярная биология. Рибосомы и биосинтез белка. М.: Академия, 2011. 496 с.
18. Стоник В.А. Биомолекулы. Владивосток: Дальиздат, 2018. 640 с.
19. Тейлор Д., Грин Н., Стаут У. Биология. Т. 3. М.: Мир, 2004. 451 с.
20. Уэй Т.А. Физические основы молекулярной биологии. Долгопрудный: Интеллект, 2010. 363 с.
21. Фейнман Р. Квантовая электродинамика: пер. с англ. Новокузнецк: Физ.-мат. ин-т, 1998. 216 с.
22. Хокинг С., Млодинов Л. Кратчайшая история времени. СПб.: Амфора, 2014. 180 с.
23. Baez J. Topostheory in a nutshell. 2017. – <http://math.ucr.edu/home/baez/topos.html>
24. Cram D.J., Stewart K.D., Goldberg I., Trueblood K.N. Complementary solutes enter nonpolar preorganized cavities in lipophilic noncomplementary media // J. Amer. Chem. Soc. 1985. Vol. 107. P. 2574–2575.
25. Crick F. Central dogma of molecular biology // Nature. 1970. Vol. 227. P. 561–563.
26. Gould S.J., Eldredge N. Punctuated equilibrium comes of age // Nature. 1993. Vol. 366. P. 223–227.

27. Lawvere F.W. Variable quantities and variable structures in topoi // *Algebra, Topology, and Category Theory* / eds A. Heller, M. Tierney. N. Y.: Acad. Press, 1976. P. 101–131.
28. Pross A. *What is Life? How Chemistry Becomes Biology*. Oxford: Univ. Press, 2012. 208 p.
29. Šponer J., Bussi G., Krepl M., Banáš P., Bottaro S., Cunha R.A., Gil-Ley A., Pinamonti G., Pobleto S., Jurečka P., Walter N.G., Otyepka M. RNA Structural dynamics as captured by molecular simulations: A comprehensive overview // *Chem. Rev.* 2018. Vol. 118. P. 4177–4338.
30. Zhuravlev Yu.N. Definition by means of indefiniteness (comment) // *J. Biomol. Struct. Dyn.* 2012. Vol. 29. P. 643–644.
31. Zhuravlev Yu.N., Guzev M.A., Skurikhin E.E. Modeling ontogeny in biology // *Int. J. Adv. in Computer Sci. & Its Applications*. 2015. Vol. 5. P. 314–320.
32. Zhuravlev Yu.N. On the complex nature of primordial biological objects // *Paleontol. J.* 2013. Vol. 47, N 9. P. 1061–1064.
33. Zhuravlev Yu.N., Guzev M.A., Skurichin E.E. Towards the manifold representations of biological object // *J. Biomol. Struct. Dyn.* 2013. Vol. 31. P. 70–71.
34. Zhuravlev Yu.N., Guzev M.A., Skurichin E.E. Towards the mathematical models of ontogeny for functional genomics // *Abstr. BIT's 4th Annual World Congress of Mol. Med.* Haikou, China, 2014. P. 252.

М.Л. БУРДУКОВСКИЙ, П.А. ПЕРЕПЕЛКИНА, В.И. ГОЛОВ

## Изменение агрофизических свойств залежных буроподзолистых почв Приморского края

Приведены результаты изучения изменений агрегатного состава и плотности сложения буроподзолистых почв в ходе их постагрогенного развития на примере сукцессионного ряда, включающего залежи 2-, 10-, 20- и 30-летнего возраста (Яковлевский и Анучинский районы Приморского края). Структурно-агрегатный анализ почв проводили методом сухого просеивания, в результате которого агрегаты были разделены на семь фракций: >10, 10–5, 5–2, 2–1, 1–0,5, 0,5–0,25 и <0,25 мм. Плотность почвы определяли весовым методом. Установлено, что в зрелых залежах по сравнению с молодыми заметно снизилась плотность почвы, увеличилось количество агрономически ценных агрегатов. В результате уменьшился их средневзвешенный диаметр, что положительно отразилось на коэффициенте структуры. Наиболее существенные изменения отмечены в 30-летней залежи. Подобные исследования на территории Приморского края ранее не проводились.

*Ключевые слова:* почвы залежей, физические свойства почвы, структура почвы, агрегатный состав, сукцессии.

**Changes in agrophysical properties of fallow brown podzolic soils in the Primorsky Region.**  
M.L. BURDUKOVSKII, P.A. PEREPULKINA, V.I. GOLOV (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok).

*Changes in aggregate structure and bulk density of brown podzolic soils during their postagrogenic evolution have been studied in the successions on abandoned agricultural fields 2-, 10-, 20- and 30-years old (Yakovlevsky and Anuchinsky Districts in the Primorsky Region of the Russian Far East). Soil macroaggregates were separated with the sieve (dry sieve) to seven aggregate size fractions, i.e. >10, 10–5, 5–2, 2–1, 1–0.5, 0.5–0.25 and <0.25 mm. The bulk density of the soil was determined by the gravimetric method. Mature fallows have a significantly better structure and characterized by an increase of agronomically valuable aggregates and a decrease in mean weight diameter and bulk density in comparison with their younger analogues. The most significant changes are noted in the 30-year-old fallow soils. Such studies have not been previously conducted in the Primorsky Region of the Russian Far East.*

*Key words:* fallow soils, physical properties of soil, soil structure, aggregate structure, successions.

### Введение

Острый экономический кризис на территории России, начавшийся в 90-е годы прошлого столетия, стал важным фактором резкого сокращения пахотных земель. На Дальнем Востоке в 1990–2003 гг. реальное сокращение составило 2,1 млн га [2]. В настоящее время выведение земель из залежного состояния в пашню становится общемировой тенденцией [9, 20]. Актуально это и для России, в частности для Дальневосточного

---

\*БУРДУКОВСКИЙ Максим Леонидович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ПЕРЕПЕЛКИНА Полина Александровна – младший научный сотрудник, ГОЛОВ Владимир Иванович – доктор биологических наук, главный научный сотрудник (Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток). \*E-mail: mburdukovskii@gmail.com

Работа выполнена частично при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 17-76-10011).

региона, где залежные земли в структуре сельскохозяйственных угодий занимают 451,1 тыс. га [12].

Важным аспектом при изучении залежных земель является восстановление плодородия и выявление возможных путей постагрогенной эволюции почв. В настоящее время можно считать общепризнанным, что структура и плотность сложения почв являются основными параметрами, определяющими их физические свойства и оказывающими решающее влияние на продуктивность агро- и фитоценозов [8, 13]. При зарастании бывших сельскохозяйственных угодий изменяются основные физические, химические и биологические свойства почв, при этом трансформация в значительной степени затрагивает бывший пахотный горизонт [14, 17].

На территории Приморского края агрохимическое обследование почв проводится нерегулярно. Данные по динамике изменений физических свойств залежных земель отсутствуют, несмотря на то что важность таких наблюдений, которые должны стать обязательной составной частью мониторинга земель, подчеркнута Министерством сельского хозяйства Российской Федерации [11]. Цель данной работы – оценка современного агрофизического состояния разновозрастных залежных почв Приморского края на примере структурных показателей и плотности сложения.

### Объекты и методы

Работа проведена на бывших пахотных землях Яковлевского и Анучинского районов Приморского края в июле–августе 2018 г. Исследуемые участки представляли собой залежные территории 2-, 10-, 20- и 30-летнего возраста (табл. 1). В 1970–1980 гг. исследуемые поля использовались под полевые и овощные севообороты. В эти же годы была проведена последняя агрохимическая съемка территорий совхозов.

Таблица 1

Характеристика объектов исследований

Возраст залежи, лет	Географические координаты, град.		Тип доминирующей синузии
	широта N	долгота E	
2	44.19594	133.36099	Клеверовая
10	44.33809	133.47595	Вейниково-полюнная
20	44.25491	133.37891	—«—
30	44.44512	133.47147	Польнно-разнотравная

На каждом участке был заложен почвенный разрез, вокруг которого дополнительно делали 4 прикопки. Почва на исследуемых участках буроподзолистая.

В Приморском крае буроподзолистые почвы распространены по увалам Уссурийско-Ханкайской равнины, по пологим шлейфам предгорий под широколиственными и остепенными дубовыми лесами. Почвообразующими породами являются элювий, элюво-делювий базальтов, гранитов, плотных осадочных пород. Часто встречаются их сочетания с бурыми лесными оподзоленными и бурыми лесными типичными почвами. Общими, наиболее характерными признаками являются наличие осветленного подпахотного горизонта, тяжелый механический состав, кислая реакция среды, невысокое (2–4 %) содержание гумуса и низкое или среднее содержание основных питательных элементов (особенно фосфора). Часто в профиле прослеживаются признаки поверхностного переувлажнения [4, 6].

На каждой пробной площадке был заложен почвенный разрез, вокруг которого дополнительно делали 4 прикопки. Смешанные образцы почвы для анализов отбирали послойно по всему профилю.

Структурно-агрегатный анализ почв проводили методом сухого просеивания на грохоте Retsch AS 200 basic (Германия). Для этого 300 г воздушно-сухой почвы естественного сложения освобождали от корней, интенсивно встряхивали на ситах с диаметром отверстий 10, 5, 2, 1, 0,5 и 0,25 мм. Исходя из данных структурного анализа рассчитывали средневзвешенный диаметр агрегатов (СВД) для каждого слоя в соответствии с формулой

$$\text{СВД} = \sum_{i=0}^n \overline{XiMi},$$

где  $M_i$  – весовой % фракции агрегатов со средним диаметром;  $n$  – количество фракций.

Коэффициент структурности ( $K_s$ ) оценивали как отношение (по массе) суммы агрегатов диаметром 0,25–10 мм к сумме агрегатов диаметром более 10 и менее 0,25 мм.

Рассчитана доля агрономически ценных агрегатов (АЦА) как отношение массы агрегатов размером 0,25–10 мм к сумме всех фракций [15, 18]. В образцах ненарушенного сложения определяли плотность (объемную массу) весовым методом [1].

При обработке данных применяли общепринятые статистические методы с использованием программы Statistica v.13.

Исследование образцов проводили в специализированной лаборатории, а также с использованием технической базы Центра коллективного пользования биотехнологии и генетической инженерии (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН).

## Результаты и их обсуждение

Почвенные агрегаты – важный компонент, характеризующий почвенную структуру, ухудшение которой, в свою очередь, является особой формой деградации почвы [16]. Соотношение фракций разного размера тесно связано с физико-химическими свойствами почвы. Поэтому изучение вопросов образования и разрушения агрегатов является ключевым для понимания изменения внутripочвенных процессов, происходящих в ходе пост-агрогенной эволюции.

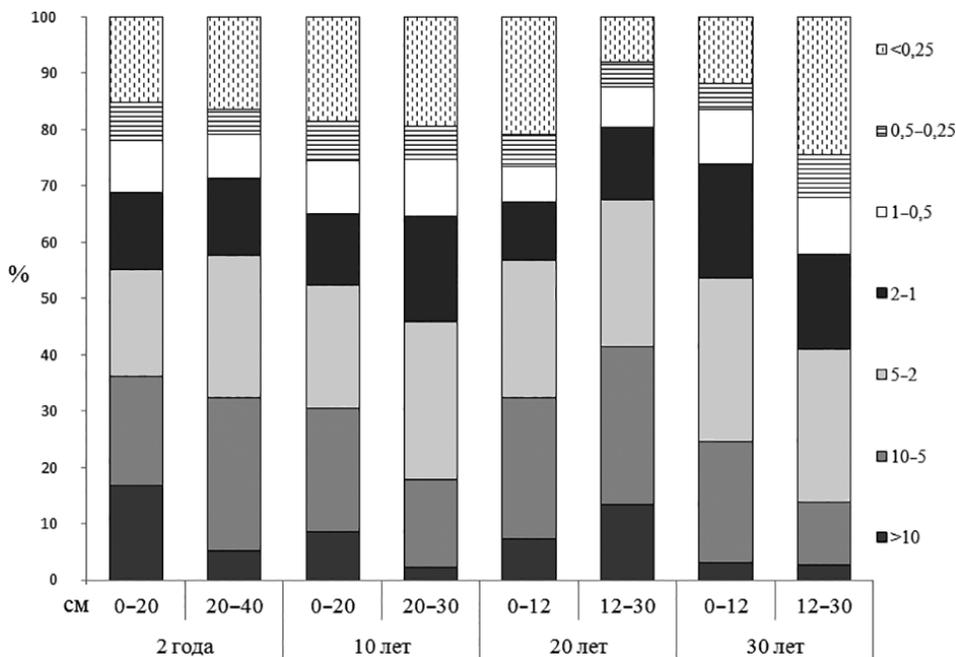


Рис. 1. Распределение фракций агрегатов в буроподзолистых почвах разновозрастных залежей, %

В ходе исследования установлено, что в агрегатном состоянии в буроподзолистых почвах преобладает совокупность фракций 1–5 мм (рис. 1). При естественном зарастании пашни изменяется соотношение мелких и крупных макроагрегатов. Для структурного состава 2-летней залежи характерно меньшее количество зернистых агрегатов в верхней толще. Количество агрегатов в бывшем пахотном слое размером >10 мм составляет 16,69 %. С увеличением периода нахождения полей в залежном состоянии количество агрегатов уменьшается.

Наиболее важную роль в структурном состоянии почв играют фракции агрегатов размером 0,25–10 мм, именно они считаются агрономически ценными. Глыбистая (>10 мм) и пылеватая (<0,25 мм) фракции относятся к нежелательным и неблагоприятно влияют на агрофизические свойства почв [15]. Оптимальное структурное состояние в почвах суглинистого и глинистого гранулометрического состава складывается, когда содержание агрономически ценных агрегатов составляет 70–80 % [3]. В верхнем слое исследуемых почв количество АЦА растет с увеличением возраста залежей от 67,96 до 82,29 % (табл. 2).

Структура почвы является важным признаком, имеющим большое значение при определении агропроизводственной характеристики почв. Структура почвы считается хорошей, если  $K_s = 0,67–1,50$ , и неблагоприятной – при  $K_s < 0,67$  [15]. Структура верхнего горизонта исследуемых буроподзолистых почв оценивается как отличная. Максимальная величина  $K_s$  (5,39) отмечена в средневзрослых 30-летних залежах, что в 2,5 раза превышает  $K_s$  2-летней залежи. В нижележащем слое (20–40 см) значимых изменений в количестве АЦА и  $K_s$  не отмечено.

Таблица 2

Характеристика буроподзолистых почв разновозрастных залежей

Показатель	Глубина, см	Залежь в возрасте, лет			
		2	10	20	30
Агрономически ценные агрегаты, %	0–20	67,96	72,78	71,79	82,29
	20–40	78,22	78,26	78,60	72,88
	40–90	66,00	82,56	68,12	67,48
Средневзвешенный диаметр агрегатов, мм	0–20	4,28	3,66	3,78	3,18
	20–40	3,79	2,80	4,76	2,46
	40–90	2,14	3,91	3,81	3,60
Коэффициент структурности	0–20	2,12	3,00	2,54	5,39
	20–40	3,59	3,06	3,67	3,03
	40–90	1,94	5,94	3,23	2,97

Размер структурных отдельностей, а именно средневзвешенный диаметр совокупности агрегатов (СВД) конкретного горизонта, является важной частью оценки структуры почвы. Средневзвешенный диаметр агрегатов в самой молодой, 2-летней, залежи составил 4,28 мм, что на 26 % выше, чем в 30-летней. Однако четких изменений СВД агрегатов в бывшем пахотном слое с увеличением возраста залежей не прослеживается.

Плотность сложения почвы является значимым агрофизическим показателем, влияющим на ее плодородие. От плотности сложения зависят водно-воздушные и тепловые свойства почвы, жизнедеятельность микроорганизмов и развитие корневых систем растений. Плотность сложения характеризуется твердой фазой почвы и взаимным расположением агрегатов в пределах определенного ее объема. Для основной массы возделываемых в нашей стране продовольственных, сырьевых и кормовых культур оптимальная плотность глинистых и суглинистых почв (а таковых в стране большинство) находится в интервале 1,00–1,35 г/см<sup>3</sup>. Примерно в этих же пределах находится оптимальный интервал плотности пахотных почв, необходимый для нормального роста и развития основных выращиваемых в РФ культур, – от 1,1 до 1,2 [7, 15].

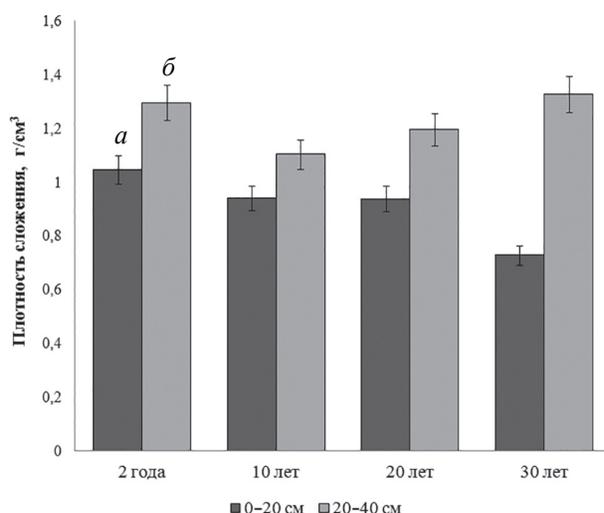


Рис. 2. Плотность сложения буроподзолистых почв разновозрастных залежей в слоях 0–20 (а) и 20–40 см (б),  $P < 0,05$ , г/см<sup>3</sup>

Согласно литературным данным, систематическая обработка почвы в сельскохозяйственных целях может привести к увеличению плотности пахотного слоя [5, 10, 19]. Нашими исследованиями установлено, что в буроподзолистых почвах плотность сложения бывшего пахотного слоя уменьшается при увеличении возраста залежи (рис. 2). Так, в слое 0–20 см плотность почвы 10–20-летних залежей на 10 %, 30-летних – на 30 % ниже, чем 2-летних. В слое 20–40 см подобная закономерность не отмечена. Вероятно, большую роль в процессе разуплотнения сыграло разрыхляющее действие корней травянистой растительности: в залежах возрастом более 20 лет отмечалось задерновывание верхнего горизонта почв.

### Заключение

Агрофизические свойства буроподзолистых почв Приморского края в ходе своего постагрогенного развития претерпели заметную трансформацию. В зрелых залежах по сравнению с молодыми заметно снизилась плотность почвы, увеличилось количество АЦА, в результате чего уменьшился СВД агрегатов, что положительно отразилось на коэффициенте структуры. Наиболее существенные изменения отмечены в 30-летней залежи. Уменьшению плотности верхнего слоя почвы и улучшению ее структуры способствовало естественное развитие травостоя после вывода земель из севооборота и прекращение механической обработки при сельскохозяйственном использовании. Известно, что при систематической распашке происходит вовлечение и перераспределение почвы из нижележащих горизонтов в пахотный. Данная почвенная масса может быть хорошо структурирована, но менее устойчива к механической обработке. Кроме того, нами отмечено, что нахождение почвы в залежном состоянии в течение 20 лет и более приводит к морфологическим изменениям бывшего пахотного горизонта. Особенно это видно в 30-летней залежи, на поверхности которой четко выделялся слой рыхлой дернины. Увеличение массы и площади корневых систем, сосредоточенных в основном в верхнем слое почвы, способствовало рыхлению бывшего пахотного горизонта и тем самым отразилось на его дальнейшем разуплотнении.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель, вышедших из активного сельскохозяйственного производства / под ред. Г.А. Романенко. М.: Росинформагротех, 2008. 64 с.
3. Бондарев А.Г., Кузнецова И.В. Агрофизический блок в моделях плодородия почв, приемы управления // Бюл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. 1988. Вып. 48. С. 55–58.
4. Голов В.И. Круговорот серы и микроэлементов в основных агроэкосистемах Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2004. 316 с.
5. Голов В.И., Бурдуковский М.Л., Ознобихин В.И. Роль физических факторов в повышении плодородия пахотных почв юга Дальнего Востока // Вестн. ДВО РАН. 2018. № 2. С. 69–76.
6. Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1976. 200 с.
7. Качинский Н.А. Физика почв. Т. 1. М.: Высшая школа, 1965. 320 с.
8. Королев В.А., Стахурлова Л.Д. Изменение основных показателей плодородия выщелоченных черноземов под влиянием удобрений // Почвоведение. 2004. № 5. С. 604–611.
9. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А. и др. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 415 с.
10. Медведев В.В. Физические свойства и характер залегания плужной подошвы в разных типах пахотных почв // Почвоведение. 2011. № 12. С. 1487–1495.
11. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / под ред. Л.М. Державина, Д.С. Булгакова. М.: Росинформагротех, 2003. 196 с.
12. Росреестр. Состояние земель России. Дальневосточный федеральный округ. – <https://rosreestr.ru/site/activity/sostoyanie-zemel-rossii/dalnevostochnyy-federalnyy-okrug/> (дата обращения: 02.07.2019).
13. Русанов А.М. Современный этап восстановления черноземов пастбищных экосистем степной зоны // Почвоведение. 2015. № 6. С. 761–768.
14. Скворцова Е.Б., Баранова О.Ю., Нумеров Г.Б. Изменение микростроения почв при зарастании пашни лесом // Почвоведение. 1987. № 9. С. 101–109.
15. Шейн Е.В. Курс физики почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
16. Bronick C.J., Lal R. Soil structure and management: a review // Geoderma. 2005. Vol. 124, N 1-2. P. 3–22.
17. Falkengren-Grerup U., ten Brink D.-J., Brunet J. Land use effects on soil N, P, C and pH persist over 40–80 years of forest growth on agricultural soils // Forest Ecol. Manag. 2006. Vol. 225, N 1-3. P. 74–81.
18. Hillel D. Introduction to Environmental Soil Physic. Amsterdam: Acad. Press, 2003. 494 p.
19. Horn R., Taubner H., Wuttke M., Baumgartl T. Soil physical properties related to soil structure // Soil Tillage Res. 1994. Vol. 30, N 2-4. P. 187–216.
20. Mueller C.W., Kogel-Knabner I. Soil organic carbon stocks, distribution, and composition affected by historic land use changes on adjacent sites // Biol. Fertil. Soils. 2009. Vol. 45, N 4. P. 347–359.

В.И. ГОЛОВ, М.Л. БУРДУКОВСКИЙ,  
Н.В. ИВАНЕНКО, Ю.А. ПОПОВА

## Экологическое состояние пахотных почв Дальнего Востока и ближайшие перспективы их использования

*Дан анализ влияния основных природных и антропогенных факторов на экологическое состояние пахотных почв Дальнего Востока в свете современной трактовки экологических функций почв и их роли в поддержании гомеостаза педосферы и в целом биосферы. Сделан акцент на агротехнике выращивания риса и других культур на почвах Приморья и Приамурья китайскими арендаторами и ее влиянии на плодородие, а также экологическое состояние арендуемых земель.*

*Ключевые слова:* экология почв, факторы плодородия, деградация плодородия, экологические функции почв, рекультивация, конвенциональное и биологическое земледелие.

**The ecological state of the arable soil of the Far East and the immediate prospects for their use.** V.I. GOLOV<sup>1</sup>, M.L. BURDUKOVSKI<sup>1</sup>, N.V. IVANENKO<sup>2</sup>, Yu.A. POPOVA<sup>3</sup> (<sup>1</sup>Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok, <sup>2</sup>Vladivostok State University of Economics and Service, <sup>3</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok).

*The article analyzes the impact of the main natural and anthropogenic factors on the ecological status of arable soils of the Russian Far East in the light of modern interpretation of the ecological functions of the soil and their role in maintaining the homeostasis of the pedosphere and the biosphere as a whole. Emphasis is placed on the agricultural practices of growing rice and other crops on the soils of Primorye and Amur region by Chinese tenants and its impact on fertility, as well as the ecological condition of the leased land.*

*Key words:* soil ecology, fertility factors, fertility degradation, ecological functions of soils, recultivation, conventional and biological farming.

### Введение

В последние десятилетия в связи с потерями и растущей деградацией пахотных почв в нашей стране, что было спровоцировано развалом экономики и распадом СССР, накопилось много серьезных проблем в отношении дальнейшего использования земель и их охраны. Деградация и снижение плодородия почв имеют место во всех странах, где занимаются выращиванием кормовых, продовольственных или технических культур. Причиной этому является многолетнее отчуждение товарной продукции, интенсификация обработки почвы, включая химическую мелиорацию, и ее утомление (накопление патогенной микрофлоры и аллелопатия). Выращивание культурных растений неизбежно приводит к истощению почвы, т.е. к потере ее плодородия.

---

\*ГОЛОВ Владимир Иванович – доктор биологических наук, главный научный сотрудник, БУРДУКОВСКИЙ Максим Леонидович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник (Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток), ИВАНЕНКО Наталья Владимировна – кандидат биологических наук, доцент (Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Владивосток), ПОПОВА Юлия Александровна – аспирант (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток). \*E-mail: gvishm@mail.ru

Экологические проблемы, связанные с деградацией пахотных почв в нашей стране, и в частности на Дальнем Востоке, актуализируются еще и в связи с тем обстоятельством, что в науке о почвах, во всяком случае отечественной, в последние 2–3 десятилетия происходит смена основополагающей парадигмы. В настоящее время публикуется заметно больше работ по экологии почв в ущерб исследованиям в области генезиса и географии почвенного покрова – наиболее популярному направлению в минувшем столетии. 20–30 лет тому назад считалось, что постоянный газовый состав атмосферы (во всяком случае, в отношении углекислого газа) поддерживается в основном за счет океана. В 80-е годы минувшего столетия отечественными учеными В.Г. Добровольским и Е.Д. Никитиным впервые было высказано предположение, что основным поставщиком двуокси углерода в атмосферу (на 80–90 %) является почва [7]. В дальнейшем, при появлении более совершенной аппаратуры, данная гипотеза получила широкое признание, обретя ранг научной теории.

В связи с этим проблемы деградации почв уже нельзя рассматривать как региональные или государственные, они приобретают планетарный характер. Негативные последствия от явлений, все чаще наблюдаемых в текущем столетии (опустынивание, засоление, эрозия почв и др.), необходимо рассматривать не как локальные, а как глобальные, от которых в конечном счете зависит благосостояние человека, где бы он ни находился.

Необходимость безотлагательного решения вопросов, связанных с экологией пахотных почв и сельхозугодий, чрезвычайно актуальна для Дальневосточного федерального округа (далее ДФО), где ситуация в этом отношении весьма неблагоприятная, гораздо хуже, чем в других регионах РФ, и с малоутешительным прогнозом.

Земельный фонд ДФО (без Якутии) в настоящее время составляет 616,9 млн га [14, 20, 23]. Территории сельскохозяйственного назначения составляют 1 %, или 6,1 млн га, из них 3,2 млн га пахотных земель. Основной массив пахотных почв (96,4 %) сосредоточен на юго-западе региона (Амурская область и Приморский край), где на одного жителя в среднем приходится 0,36 га – более чем в 2 раза меньше, чем в среднем по РФ (0,88 га). Значительно ниже этот показатель для Хабаровского, Камчатского краев, Магаданской и Сахалинской областей (соответственно 0,2; 0,1; 0,08 и 0,05 га).

Экологическое состояние пахотных почв ДФО начиная с 1990 г. систематически не анализировалось ввиду того, что прежняя система агрохимического обслуживания была ликвидирована, как и Росгипрозем, или перепрофилирована, а новая так и не появилась. Качество сельскохозяйственных угодий в ДФО, по данным научно-исследовательских организаций ДВО РАН и ДВО РАСХН, было признано неблагоприятным [7]. По состоянию на 2005 г. из 6,1 млн га, находящихся в сельскохозяйственном пользовании, 32,0 % заболочены или переувлажнены (после наводнения 2013 г. эта цифра значительно больше), 13,5 % засорены камнями, 18,0 % почв отнесены к сильнокислым ( $\text{pH}_{\text{сол.}}$  ниже 4,0, среди пахотных таковых 40 %). Всего же кислых почв, требующих известкования, оказалось значительно больше (%): в Амурской области – 94, в Приморье – 79, в Хабаровском крае – 76, в среднем по ДФО – 83, в то время как в среднем по РФ всего 32 %. В значительной степени эродированных почв 21,0 %, более половины пахотных угодий дегумифицированы, т.е. содержат гумуса менее 3,0 % [11, 20].

Ввиду своего географического положения и экономической ситуации в стране Дальний Восток существует в условиях ряда дополнительных негативных факторов, к которым относятся незаконные вырубки лесов, частые лесные пожары, последствия тайфунов и наводнений. В числе постоянно действующих факторов, которые, в связи с обсуждаемой темой, следует назвать в первую очередь, – урбанизация населения, свойственная многим экономически развитым и развивающимся странам.

Демографическая ситуация на Дальнем Востоке, которая в последние три десятилетия складывается весьма неблагоприятно, является серьезным препятствием для успешного освоения природных богатств региона и развития его экономики. С 1992 по 2014 г., по данным Росстата, население Дальнего Востока сократилось на 2,4 млн чел., что сопоставимо с потерями населения России за это же время по причине эмиграции,

сокращения продолжительности и снижения уровня жизни [5, 6, 16]. По данным Госстата, в ДФО самая низкая из всех федеральных округов РФ плотность населения: 1 чел./км<sup>2</sup>, в то время как в центральном федеральном округе – 60,5 чел./км<sup>2</sup> [5]. Как отмечено в работе А.С. Яковлева и др. [24], «...к настоящему времени многие сельскохозяйственные регионы обезлюдели, большие площади земель заброшены или перешли к недобросовестным землепользователям ориентированным на получение выгоды любой ценой». В том же ключе действуют китайские арендаторы в ДФО, Забайкалье и Сибири.

В последние годы демографические проблемы и проблемы недостатка рабочей силы решаются за счет эмиграции в основном из бывших союзных республик, а также с помощью так называемого «вахтового» метода. На одном из последних Гайдаровских форумов, проходившем в Санкт-Петербурге в 2017 г., было рекомендовано решать вышеупомянутые проблемы за счет крупных городских агломераций [24]. По существу это тот же «вахтовый» метод, который, как показала практика работы уже существующих в России сельскохозяйственных холдингов, неизбежно приводит к потребительскому отношению к почвам, что, в свою очередь, ведет к социально-экономической и экологической деградации земель. Об этом же свидетельствует практика использования пахотных почв китайскими арендаторами. Необходимо констатировать, что прирост населения, как подсказывает мировой опыт, всегда происходит за счет сельских поселений [6, 13]. Так было в Китае, Индии, в царской России и в социалистической России до периода «раскулачивания» крестьян и насильственной их коллективизации.

Площадь арендуемых китайцами земель в настоящее время только в Приморье и Приамурье составляет около 50 тыс. га. При сложившейся практике выращивания сои, зерновых и овощных культур на арендованных почвах вполне вероятен сценарий полной их деградации, как это случилось несколько лет назад в Таримской впадине Синьцзян-Уйгурского автономного района Китая, где расположены наиболее плодородные почвы этой страны [10]. Данные почвы находились в эксплуатации в среднем около 10 лет с момента их освоения. Содержание гумуса в них сократилось почти в 3 раза, поэтому 15 % почв, в основном орошаемых, пришлось вывести из оборота по причине нарастающих явлений дегумификации, засоления и опустынивания. В последние 30 лет в Китае в почвы вносятся удобрения в количестве, превышающем среднемировое в 10 раз и более, а также химические средства защиты растений (гербициды, инсектициды, зооциды и др.). Китай сейчас прочно удерживает первое место в мире по их производству и применению [2, 3, 26, 27]. В 2000 г. на полях КНР применялось около 250 тыс. т пестицидов, а в 2015 – уже 350 тыс. т, причем в их ассортименте до сих пор присутствуют персистентные ядохимикаты (хлорорганические и другие, аналогичные печально известному ДДТ), многие из которых практически не разлагаются в почвах [4, 8, 26]. Поэтому основной целью проведенных нами исследований было определение степени деградации используемых китайскими арендаторами пахотных почв в Спасском и Хасанском районах, где находятся основные посевы риса и овощей, выращиваемых по китайским технологиям.

### **Объекты и методы**

Экологическое состояние почв, используемых китайскими арендаторами, изучали в двух районах Приморского края: Спасском – на луговой глеевой почве и Хасанском – на аллювиальных почвах (пойменная и остаточнопойменная). Исследованы занятые посевами риса, сои и овощными культурами поля, находящиеся в аренде у китайских производителей около 10 лет. Агрохимические показатели сравнивали с полученными при анализе целинных и залежных участков, а также пахотных почв, используемых отечественными производителями, где агротехника была традиционной. Почвенные пробы отбирали буром на глубину пахотного горизонта (0–20–30 см). На аллювиальных почвах, в профиле которых встречалось большое количество крупной гальки, пробы отбирали лопатой на ту

же глубину. Средний образец почвы с каждого поля состоял из 10 индивидуальных проб. В усредненных образцах почвы определяли следующие агрохимические показатели: содержание гумуса – по Тюрину, реакцию почвенного раствора ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ) – потенциометрическим методом, сумму поглощенных оснований ( $\text{Ca}+\text{Mg}$ ) в 0,1 N вытяжке уксуснокислого аммония [1, 15]. Статистическую обработку результатов анализа осуществляли стандартными методами. Представленные в статье агрохимические показатели, характеризующие экологическое состояние арендуемых почв, статистически достоверны.

Исследования образцов проводили в специализированной лаборатории, также использовали техническую базу Центра коллективного пользования биотехнологии и генетической инженерии (Федеральный научный центр биоразнообразия ДВО РАН).

## Результаты и их обсуждение

В связи с тем что в нашей стране, как и в Китае, до сих пор нет постоянно действующей службы слежения за экологическим состоянием пахотных почв, нет и общепринятых, стандартных показателей, с помощью которых можно было бы объективно характеризовать степень деградированности почв, используемых в земледелии. В работе [24], посвященной проблемам устойчивого развития сельского хозяйства России, в качестве таковых предложено использовать содержание гумуса, величину кислотности, содержание подвижного фосфора и обменного калия. Именно по этим показателям (с добавлением эродированности) в 2005 г. проведена первая и, как оказалось, последняя оценка экологического состояния пахотных почв Дальнего Востока [11, 19]. Мы провели экологическую оценку избранных нами объектов по приведенным выше показателям, исключая эродированность, каковой не обнаружили, а также без доступных форм фосфора и калия (эти элементы в избытке вносились с удобрениями, было невозможно установить, в каком количестве, а потому и проанализировать динамику их содержания в почвах).

Для того чтобы получить представление о современной (конвенциональной) агротехнологии выращивания продовольственных культур, которая укоренилась в КНР со времен затухания «зеленой революции» (1980 г.), нами в 2015 г. отобраны и проанализированы пойменные (залежные и пахотные) почвы по обеим сторонам пограничной р. Амур. Изучаемые почвы были совершенно идентичны по основным генетическим признакам, а пахотные были заняты одной и той же культурой (соей) и различались только применяемой агротехникой, а также системой вносимых минеральных удобрений и средств защиты растений от вредителей и болезней.

На китайском берегу образцы почв были отобраны на опытных полях института земледелия в пригороде г. Хэй-Хе (провинция Хэйлунцзян), расположенного на правом берегу Амура, на российской территории – на полях учебно-опытного хозяйства Дальневосточного государственного аграрного университета (ДальГАУ) в пригороде г. Благовещенск.

Согласно литературным данным, в начале 2000-х годов в провинции Хэйлунцзян среднее количество внесенных минеральных удобрений составляло 130 кг/га (с колебаниями от 50 до 1000 кг/га), в Приморском крае – 6 кг/га, в Амурской обл. – 6,4 кг/га [3]. При проведении нами совместных с Шэньянской и Харбинской сельскохозяйственными академиями исследований эффективности торфогуминовых удобрений в полевых опытах китайские ученые использовали фоновые минеральные удобрения в количествах, в 3–5 раз превышающих объем выноса основных элементов питания. Под рис вносили 810 кг/га минеральных удобрений (НРК), а для сои, которая является одной из ведущих культур в провинции Хэйлунцзян, доза одних только азотных удобрений составляла 150 кг/га, в то время как известно, что при подкормке сои азотом в дозе 30 кг/га синтез атмосферного азота симбиотической микрофлорой угнетается, а при дозе 120 кг/га практически прекращается. Поэтому в отечественной агрохимической практике под бобовые культуры минеральный азот вносят крайне редко и только на очень бедных азотом почвах [3, 17, 21,



Пожелтение листьев кукурузы от передозировки минеральных удобрений и гербицидов на арендуемых китайцами полях Пограничного района Приморского края.  
Фото А.В. Ганеки

26]. На зерновых культурах, особенно засушливой весной или в начале лета, на арендуемых китайцами землях наблюдается пожелтение листьев от избытка азотных удобрений (см. рисунок).

Как видно из результатов анализа (табл. 1), использование однотипных аллювиальных почв для выращивания сои и зерновых по технологии, принятой в КНР, привело к более интенсивной их деградации по всем показателям, за исключением кислотности (рН).

Таблица 1

**Изменение основных экологических показателей почвы при интенсивной (КНР) и традиционной (РФ) агротехнологии выращивания сои**

Почва	Страна	Степень освоенности почв	Содержание гумуса, %	рН, сол.	Сумма поглощенных оснований, мг-экв/100 г
Пойменная на аллювиальных отложениях р. Амур	РФ	Целина	6,0 ± 0,3	5,3 ± 0,2	25,0 ± 0,8
		Пашня	3,5 ± 0,1	4,8 ± 0,2	20,0 ± 1,1
	КНР	Залежь	2,8 ± 0,3	6,3 ± 0,2	20,1 ± 0,6
		Пашня	1,8 ± 0,1	4,5 ± 0,3	16,3 ± 0,4

Кислотность почвы, отобранной с залежного участка, на китайской стороне оказалась значительно (в 10 раз) ниже, чем на целинном участке российского берега (рН 6,3 и 5,3 соответственно). Дело в том, что до отвода этого участка под залежь на нем в течение 10 лет выращивали рис, возделывание которого способствует резкому снижению кислотности благодаря восстановительным процессам, возникающим в анаэробных условиях после заливки посевов риса водой. Следует подчеркнуть, что по всем другим показателям, включая содержание питательных элементов в обменной форме, в случае возделывания риса деградация протекает более интенсивно, чем в почвах под суходольными культурами. В первую очередь это касается таких элементов, как азот, калий, кальций и магний, а также некоторых микроэлементов, присутствующих в почвах в катионной форме, которые интенсивно вымываются из почвы во время сброса воды и фильтрации ее с внутрпочвенным стоком при поливах и выпадении осадков [9, 17].

Как известно, одна из основных глобальных экологических проблем современности – потепление климата на нашей планете в связи с парниковым эффектом. Ведущую роль

здесь играют водяной пар, углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ) и закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Несмотря на то что доля закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) в возникновении парникового эффекта составляет всего 6 %, его концентрация в атмосфере растет, и в основном за счет сельскохозяйственной деятельности (пастбища в тропиках, увеличение площадей под орошаемое земледелие). Избыточное внесение азотных удобрений в умеренных широтах, в которых находится основной пахотный фонд Дальнего Востока, также способствует увеличению эмиссии закиси азота в атмосферу [12, 27]. Следует иметь в виду, что несмотря на незначительное участие закиси азота в суммарном парниковом эффекте (6 %), его относительный парниковый потенциал в 290 раз выше потенциала  $\text{CO}_2$ , а средняя продолжительность существования этого газа в атмосфере 120 лет, что существенно увеличивает его вредоносность. Известно также, что рис в первую очередь нуждается в азоте, все остальные удобрения слабо влияют на его урожайность. Поэтому в КНР под рис вносят минеральные удобрения в соотношении  $\text{N} : \text{P} : \text{K} = 7 : 2 : 1$ , а в РФ – в соотношении, близком к  $3 : 2 : 1$  [3, 17]. Поскольку рис растет в анаэробных условиях, предпочтительными формами азотных удобрений для этой культуры считаются аммиачные (сульфат аммония, мочевина). Но если применяется аммиачная селитра, нитратная форма азота, входящая в состав этого удобрения, менее чем через 1 нед. после заливки превращается в аммиак, который большей частью улетучивается в атмосферу и лишь частично поглощается почвой. Большие потери азота в форме  $\text{N}_2\text{O}$  происходят при возделывании суходольных культур и риса в период до посева весной и при уборке, когда вода удаляется из чеков. Причем, как установлено отечественными учеными [12, 27], эмиссия  $\text{N}_2\text{O}$  увеличивается в десятки и сотни раз после глубокого промерзания и оттаивания почв зимой. Весной же, когда устанавливаются положительные температуры и оптимальная влажность, в этих почвах бурно проходят процессы нитрификации и денитрификации, в результате чего эмиссия азота многократно усиливается. Такие условия весьма характерны для почв юга Дальнего Востока, особенно после малоснежных зим, часто случающихся в этих широтах. Минеральные удобрения по китайской и российской технологиям вносятся ранней весной или поздней осенью, т.е. в то время, когда теряется много азота либо безвозвратно ( $\text{N}_2$ ), либо в виде парниковых газов ( $\text{N}_2\text{O}$ ), повышающих температуру нашей планеты, или усиливающих кислотность дождей ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ). Поэтому в связи с открывшимися в последние годы фактами, свидетельствующими о потерях вносимого с удобрениями азота, и в связи с потеплением климата необходимо сосредоточить внимание на поиске мер, сдерживающих ускоренную деградацию пахотных почв [3, 12, 17].

Представленные в табл. 2 данные свидетельствуют о том, что применяемая на исследованных полях технология ведет к их интенсивной дегумификации.

Таблица 2

**Изменение экологических показателей пахотных почв ДФО, используемых китайскими арендаторами при выращивании риса и других культур**

Район исследования	Культура	Используемая технология	Содержание гумуса, %	pH сол.	Удобрение, мг/экв на 100 г		
					Сумма Ca+Mg	Ca	Mg
Спасский, почва луговая, глеевая, суглинистая	Рис	КНР	4,9 ± 0,2	4,5 ± 0,1	18,8 ± 0,4	10,7 ± 0,2	8,1 ± 0,3
	– « –	– « –	4,7 ± 0,1	4,4 ± 0,1	20,2 ± 0,5	11,5 ± 0,1	8,7 ± 0,2
	Овощи	РФ	5,7 ± 0,3	5,3 ± 0,4	26,2 ± 0,6	19,8 ± 0,3	6,4 ± 0,4
Хасанский, почва пойменная, на речном аллювии, залежь	Соя	КНР	2,6 ± 0,1	3,7 ± 0,2	16,8 ± 0,3	10,5 ± 0,2	6,3 ± 0,2
	– « –	– « –	3,3 ± 0,4	3,9 ± 0,1	14,6 ± 0,4	Н. д.	Н. д.
	Овощи	– « –	3,9 ± 0,3	4,2 ± 0,1	15,7 ± 0,3	– « –	– « –
–	–	РФ	5,5 ± 0,4	4,6 ± 0,3	21,5 ± 0,6	18,1 ± 0,3	3,4 ± 0,1

В Спасском районе содержание гумуса за 10 лет уменьшилось на 20 %, в Хасанском – почти наполовину (47,0 %). Как показали исследования, проведенные нами в длительных опытах на луговых черноземовидных почвах ВНИИ сои, умеренное применение одних минеральных удобрений в течение 50 лет привело к снижению содержания гумуса с 4,9 до 3,8 %, а на лугово-бурых почвах ПримНИИСХ за тот же срок – с 4,2 до 3,8 % [2, 4]. Применение китайской технологии кроме дегумификации почв способствовало увеличению их кислотности и снижению суммы поглощенных оснований по сравнению с залежными почвами и почвами, где использовалась отечественная технология, что также свидетельствует о более глубокой их деградации.

Следует обратить внимание на тот факт, что используемая китайскими арендаторами технология способствует нарушению естественного соотношения поглощенных форм Са и Mg, которое обычно характерно для целинных и пахотных почв. Показано [4], что наиболее благоприятным для сельскохозяйственных культур является соотношение Са : Mg как 1 : 2,5–5, т.е. когда в ППК почв на единицу магния приходится 2,5–5 единиц кальция. В арендуемых почвах, используемых под рис, это соотношение приближается к 1 : 1, т.е. очень далеко от идеального (табл. 2). Согласно последним исследованиям американских агрохимиков [27], избыток обменного магния в почвах приводит к ухудшению не только химических, но и физических свойств почв.

Тяжелые почвы с высоким содержанием Mg и низким Са увеличивают плотность почвы, образуя корку, которая задерживает поступление воды при поливе в период засухи. Чаще всего это случается на рисовых плантациях. По мнению опытного американского агрохимика Н. Кинси [27], посвятившего свою монографию проблемам оптимизации физико-химических свойств почв при выращивании растений, для получения высоких урожаев возделываемых культур в первую очередь необходимо обращать внимание на соотношение Са и Mg в ППК, которые в отечественной агрохимической практике до сих пор считаются второстепенными. Согласно его исследованию, идеальная почва (хотя в природе она почти не встречается) должна состоять на 45 % из минералов, на 5 – из органики, на 25 – из воды и на 25 % – из воздуха. В ППК этих почв 80 % от всей суммы поглощенных оснований должно приходиться на Са и Mg, а на остальные обменные катионы (Н, Na, Li и К) – 20 %. Причем для тяжелой почвы (глины 60 % и более) кальция нужно больше, а магния – меньше (70 % Са и 10 % Mg), так как кальций способствует разрыхлению почв, а магний, напротив, – их связыванию. Поэтому для легких почв (глины менее 50 %) оптимальным будет соотношение Са : Mg = 60 : 20 %. При оптимальном соотношении Са и Mg в почвах растения более эффективно используют воду, CO<sub>2</sub>, N и другие элементы питания. Избыток Mg, как и N, зачастую провоцирует распад органического вещества в сторону его сбраживания, в результате чего выделяются спирт, формальдегид и другие консерванты и стерилизаторы, которые подавляют деятельность полезной микрофлоры и тем самым задерживают минерализацию органики, необходимой для жизнедеятельности растений, а также микрофлоры и микрофауны [22, 25, 27].

Таким образом, наши исследования показали, что темпы деградации арендуемых китайскими производителями в Приморье почв так же высоки, как в Китае, и они значительно превосходят таковые, свойственные другим российским территориям. В результате длительного изучения влияния систематического применения минеральных удобрений на экологические и агрохимические свойства пахотных почв Дальнего Востока нами установлено, что традиционная агротехника выращивания сельскохозяйственных культур, сложившаяся в России за последние 30 лет, после распада СССР не была ущербной в экологическом отношении [4, 5, 11]. Деградация почв наблюдалась, но она была вялотекущей, в отличие от ситуации в КНР (табл. 2). Использование пахотных почв китайскими арендаторами в Партизанском районе помимо дегумификации и подкисления почв привело к обеднению почвенного биоценоза живыми организмами [9]. Исчезли дождевые черви, которые считаются хорошими биоиндикаторами экологического состояния почв. Кроме того, отмечено, что широкое применение полиэтиленовой пленки как средства,

сохраняющего почвенное тепло и влагу, приводит к физическому и химическому загрязнению почв, что затрудняет их дальнейшее использование [8, 9, 17].

## Заключение

Проведенные нами исследования почв, используемых китайскими арендаторами на полях ДФО, свидетельствуют о том, что применяемая ими конвенциональная агротехнология выращивания сельскохозяйственных культур приводит к ускоренной деградации и деградации арендуемой земли. Химические методы повышения плодородия почв и стрессоустойчивости растений, как показывает мировой опыт, уже не имеют прежней эффективности. Они ведут лишь к увеличению доз вносимых минеральных удобрений, а также, по данным других исследователей [9, 18], к повышению пестицидной нагрузки на окружающую среду, вызывая не только загрязнение почв, но и эвтрофикацию водоемов, а также химическую мутацию растений. Чтобы избежать экологического кризиса и уберечь пахотные почвы от эрозии, засоления и опустынивания, необходимо переходить на биологическое земледелие.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
2. Бурдуковский М.Л., Голов В.И., Ковшик И.Г. Изменение агрохимических свойств основных пахотных почв юга Дальнего Востока при длительном сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 2016. № 10. С. 1244–1250.
3. Ганзей С.С. Трансграничные геосистемы юга Дальнего Востока России и Северо-Востока Китая. Владивосток: Дальнаука, 2004. 231 с.
4. Голов В.И., Бурдуковский М.Л., Ковшик И.Г. Влияние длительного применения минеральных удобрений на экологию почв юга Дальнего Востока // Аграрные проблемы научного обеспечения Дальнего Востока. 2013. Т. 2. С. 17–27.
5. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». М.: Изд-во Минприроды России; НПП «Кадастр», 2018. 888 с.
6. Гундаров И.А. Демографическая катастрофа в России: причины, механизмы, пути преодоления. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 280 с.
7. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почвы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 137 с.
8. Егорова Д.О., Фарафонова В.В., Шестакова Е.А., Андреев Д.Н., Максимов А.С., Васянин А.Н., Бузмаков С.А., Плотникова Е.Г. Биоремедиация почвы, длительное время загрязненной ДДТ, с использованием аэробного штамма *Rhodococcus Wratislaviensis* CH628 // Почвоведение. 2017. № 10. С. 1262–1269.
9. Жарикова Е.А. Агрогенная трансформация аллювиальных почв на участках различных арендаторов на юге Приморья // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2017. № 4. С. 87–93.
10. Илахун А., Пинань Ж., Зяньдон Ц., Ляшко М.У., Бушуев Н.Н. Содержание гумуса в почвах Синьцзян-Уйгурского автономного района КНР // Вестн. РАСХН. 2010. № 4. С. 31–32.
11. Костенков Н.М., Ознобихин В.И. Почвы и почвенные ресурсы юга Дальнего Востока // Почвоведение. 2006. № 5. С. 517–520.
12. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О. Влияние температуры и влажности на эмиссию закиси азота из некоторых пахотных почв // Почвоведение. 2010. № 8. С. 984–994.
13. Лазарев А.А. Вернуть власть земли // Дальневост. ученый. 2011. № 16. С. 6–7.
14. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.
15. Минеев В.Г., Дурынина Е.П. и др. Практикум по агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 1989. 303 с.
16. Нестерова О.В., Семаль В.А., Трегубова В.Г. Правовое и организационное совершенствование механизмов сохранения плодородия почв и земель Российской Федерации (на примере Дальнего Востока) // Почвоведение. 2016. № 6. С. 765–772.
17. Неунылов Б.А. Повышение плодородия почв рисовых полей Дальнего Востока. Владивосток: Прим. кн. изд-во, 1961. 240 с.
18. Росликова В.И. О состоянии почвенных ресурсов на приграничных территориях России и Китая // Вестн. ДВО РАН. 2012. № 6. С. 114–119.
19. Синельников Э.П., Слабко Ю.И. Агрогенезис почв Приморья. М.: Изд-во ГНУ ВНИИА, 2005. 280 с.

20. Система земледелия Амурской области: производственно-практический справочник / общ. ред. проф. П.В. Тихончука. Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2016. 574 с.
21. Тан Чжунсинь. Основные технологии возделывания сои в округе Хэй-Хэ (КНР) // Результаты и направления исследований по сое на Дальнем Востоке и в Сибири. Благовещенск: Изд-во ВНИИ сои, 2012. С. 219–211.
22. ФБ / Сельское хозяйство Китая. – <http://fb.ru/article/2581/selskoe-hozyaystvo-kitaya> (дата обращения: 31.07.2019).
23. Шафронов А.Д. Факторы эффективности землепользования // Земледелие. 2003. № 2. С. 3–5.
24. Яковлев А.С., Макаров О.А., Евдокимова М.В., Огородников С.С. Деградация земель и проблемы устойчивого развития // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1167–1174.
25. Hamburger Jessica. Sea of pesticides surrounds China's organic farms // Glob. Pestic. Campaigner. 2001. N 3. P. 3–7.
26. Li Y., Zhao Y., Guan D. Land degradation and land-scape ecological construction in ning Province // Chin. J. Appl. Ecol. 2001. N 4. P. 601–604.
27. Neal Kinsey's Hands – On Agronomy: Understanding Soil Fertility and Fertilizer USE by Neal Kinsey and Charles Walters 3<sup>rd</sup> Edition. 2013. 416 p.

А.Н. БЫКОВСКАЯ, М.Л. СИДОРЕНКО, Н.А. СЛЕПЦОВА,  
А.Г. КЛЫКОВ, В.В. БЕРЕЖНАЯ, Д.А. КОЛЕСНИКОВА

## Применение агрономически ценных бактерий для повышения почвенного плодородия и урожайности ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.)

*Изучено влияние консорциумов азотфиксирующих, фосфат- и калийсололюбилизирующих бактерий на урожайность ярового ячменя. Установлено положительное воздействие на содержание в почве доступных форм азота, фосфора и калия. В почвах опытных делянок зафиксировано увеличение численности изучаемых бактерий. Получена прибавка урожайности зерна ярового ячменя до 10,8 %. Применение консорциума, включающего все три физиолого-биохимические группы бактерий, является наиболее перспективным для улучшения свойств почвенной среды и повышения урожайности ярового ячменя.*

*Ключевые слова:* бактериальные препараты, инокуляция семян, обработка всходов, урожайность, яровой ячмень.

**The agronomically valuable bacteria application for increasing of soil fertility and spring barley (*Hordeum vulgare* L.) productivity.** A.N. BYKOVSKAYA<sup>1</sup>, M.L. SIDORENKO<sup>1</sup>, N.A. SLEPTSOVA<sup>1</sup>, A.G. KLYKOV<sup>2</sup>, V.V. BEREZHNAJA<sup>2</sup>, D.A. KOLESNIKOVA<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok, <sup>2</sup>Federal Scientific Center of agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika, Timiryazevsky village, Primorsky Krai).

*The goal is studying the effect of nitrogen-fixing, phosphate-solubilizing and potassium-solubilizing bacteria on the spring barley productivity. A positive effect on the available forms of nitrogen, phosphorus, and potassium content in the soil has been established. In the experimental soils, an increase in the studying bacteria abundance was recorded. Spring barley yield increasing up to 10.8 % was obtained. It has been established that the application of the consortium including all three bacterial physiological and biochemical groups is the most promising for improving soil environment properties and spring barley productivity.*

*Key words:* bacterial preparations, seed inoculation, seedling treatment, productivity, spring barley.

### Введение

Увеличение объемов производства продукции земледелия зависит главным образом от плодородия почвы. Биолого-экологический подход в системе устойчивого земледелия получил широкое распространение вследствие серьезных негативных

---

\*БЫКОВСКАЯ Анастасия Николаевна – аспирант, младший научный сотрудник, СИДОРЕНКО Марина Леонидовна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, СЛЕПЦОВА Надежда Андреевна – аспирант, ведущий инженер, КОЛЕСНИКОВА Дарья Алексеевна – лаборант (Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток), КЛЫКОВ Алексей Григорьевич – член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, заведующий отделом, БЕРЕЖНАЯ Виктория Васильевна – аспирант, агрохимик 2-й категории (Федеральный научный центр агроботехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Приморский край, пос. Тимирязевский). \*E-mail: anastasia\_n.boiko@inbox.ru

экологических последствий в результате широкомасштабной химизации [14, 16]. Возможность получения урожая высокого качества без вреда для окружающей среды все чаще связывают с направленным использованием биопрепаратов на основе микроорганизмов. Такие микроорганизмы обладают свойствами, определяющими их агротехнологическую ценность: способностью фиксировать молекулярный азот, переводить элементы питания растений из нерастворимых соединений в доступные формы, синтезировать фитогормоны и соединения, угнетающие развитие фитопатогенов, производить метаболиты, обладающие протекторными свойствами в отношении стресс-факторов среды [21]. Среди агрономически ценных микроорганизмов особое внимание уделяется азотфиксирующим, фосфат- и калийсолубилизирующим бактериям в силу того, что, несмотря на высокие общие запасы азота, фосфора и калия в почве, их основная часть содержится там в виде соединений, недоступных или малодоступных для питания растений. Биопрепараты на основе этих микроорганизмов показали свою эффективность на примере большого числа культурных растений. Они обеспечивают экологически безопасное земледелие с приростом урожайности и уменьшением себестоимости продукции при сохранении плодородия почвы [8]. В то же время существующие коммерческие препараты требуют особых условий хранения, в большинстве своем имеют небольшой срок годности и недостаточную эффективность, сильно зависящую от факторов новой окружающей среды [20].

Цель данной работы – изучить влияние консорциумов агрономически ценных бактерий, выделенных из пахотных почв, подвергавшихся интенсивной химизации, на показатели почвенного плодородия и урожайность ярового ячменя.

### Объекты и методы

Исследования проводились на базе Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки (г. Уссурийск, пос. Тимирязевский) и Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (г. Владивосток).

В качестве сельскохозяйственной культуры для оценки влияния почвенных микроорганизмов на продуктивность растений был взят яровой ячмень *Hordeum vulgare* L. сорта «Восточный», селекции ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки.

Объектом исследования являлись штаммы почвенных бактерий из коллекции микроорганизмов Сектора почвоведения и экологии почв ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН. В работе использовали бактериальные штаммы: АФ – обладающий азотфиксирующей способностью, ФС1, ФС2 – способные переводить нерастворимые фосфаты почвы в доступную для растений форму, КС – штамм калийсолубилизирующих бактерий. Все штаммы выделены из пахотных почв, испытывающих воздействие интенсивных агротехнологий. Ранее в рамках полевых испытаний данные микроорганизмы в различных комбинациях продемонстрировали хорошую совместимость и оказали положительное влияние на продуктивность пшеницы [4]. Из штаммов азотфиксаторов, фосфат- и калийсолубилизаторов были составлены консорциумы бактерий, представленные в виде суспензии светло-коричневого цвета со специфическим запахом. Контролем для сравнения выступал коммерческий препарат «Экстрасол», содержащий штамм активных ризосферных азотфиксирующих бактерий *Bacillus subtilis* и их метаболиты. Консорциумы бактерий и «Экстрасол» применяли для предпосевной обработки семян в день посева (раствор рабочей жидкости 10 л/т) и опрыскивания растений в фазу всходов (раствор рабочей жидкости 300 л/га).

Полевые испытания проводились на опытном поле ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки. Посев осуществлялся сеялкой СКС 6-10, норма высева 5,5 млн всхожих семян на 1 га. Площадь делянки 15 м<sup>2</sup>, в трехкратной повторности, размещение вариантов рендомизированное. Предшественник – соя. Почва опытного участка – лугово-бурая оподзоленная, тяжело суглинистая, содержание органического вещества 2,51 %,

N л.г. – 63, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 32 и K<sub>2</sub>O – 135 мг/кг, рН<sub>кел</sub> – 6,4, S – 22 и Нг – 1,30 мг-экв. на 100 г почвы. Численность микроорганизмов изучаемых физиолого-биохимических групп в почве на момент закладки опыта: азотфиксаторы –  $3,7 \times 10^5$  КОЕ/г почвы, калий- и фосфатсолобилизирующих микроорганизмов не выявлено.

Схема опыта по изучению влияния консорциумов бактерий на урожайность ячменя включала 11 вариантов:

- 1) контроль (без обработки);
- 2) контроль сравнения – «Экстрасол» (предпосевная обработка семян);
- 3) АФ+КС+ФС1 (предпосевная обработка семян);
- 4) ФС2+КС (предпосевная обработка семян);
- 5) АФ+КС (предпосевная обработка семян);
- 6) АФ+ФС2 (предпосевная обработка семян);
- 7) контроль сравнения – «Экстрасол» (обработка по всходам);
- 8) АФ+КС+ФС1 (обработка по всходам);
- 9) ФС2+КС (обработка по всходам);
- 10) АФ+КС (обработка по всходам);
- 11) АФ+ФС2 (обработка по всходам).

Отбор почвенных образцов для агрохимического анализа проводился в соответствии с ГОСТ 28168-89<sup>1</sup>, для исследования микрофлоры – согласно ГОСТ 17.4.4.02-84<sup>2</sup> в фазу восковой спелости.

Легкогидролизуемый (подвижный) азот определяли методом Тюрина и Кононовой [1], подвижный фосфор калия – методом Кирсанова в модификации ЦИНАО<sup>3</sup>, рН – в соответствии с ГОСТ 26483-85<sup>4</sup>, органическое вещество почвы – согласно ГОСТ 26213-91<sup>5</sup>. Численность азотфиксирующих, фосфат- и калийсолобилизирующих микроорганизмов оценивалась путем прямого высева почвенной суспензии на поверхность плотных селективных питательных сред: среды Эшби (Ashby's Glucose Agar, HiMedia Lab., Индия) – для азотфиксаторов, минимальной селективной среды с трикальцийфосфатом – для фосфатсолобилизаторов<sup>6</sup>, питательную среду, предложенную В.Г. Александровым, – для калийсолобилизирующих микроорганизмов [2].

Урожай убирали в фазу полной спелости зерна комбайном Hege 125. Статистическую обработку результатов исследований проводили дисперсионным методом по Б.А. Доспехову с использованием программы MS Office Excel [7].

## Результаты и их обсуждение

По оценке обеспеченности почвенной среды доступными формами элементов питания определяется уровень плодородия почв [17]. Наибольшее внимание уделяется содержанию органического вещества, доступных форм основных элементов питания (NPK), значению рН [13].

<sup>1</sup> ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб. Введ. 01.04.1990 г. М.: Изд-во стандартов, 1989. 7 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. Введ. 01.01.1986 г. М.: Стандартинформ, 2008. 8 с.

<sup>3</sup> ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Введ. 01.01.2013 г. М.: Стандартинформ, 2013. 12 с.

<sup>4</sup> ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. Введ. 30.06.1986 г. М.: Изд-во стандартов, 1985. 6 с.

<sup>5</sup> ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. Введ. 30.06.1993 г. М.: Изд-во стандартов, 1992. 8 с.

<sup>6</sup> Фосфатрастворяющий штамм *Pseudomonas species* 181a с фунгицидными свойствами: пат. РФ 2451069 / Дунайцев И.А., Клыкова М.В., Кондрашенко Т.Н., Сомов А.Н., Старшов А.А., Аитов Р.С., Дятлов И.А.; заявл. 27.10.10; опублик. 20.05.12, Бюл. № 14.

Органическое вещество разносторонне влияет на агрономические свойства почв, являясь источником питательных элементов и оказывая воздействие на их физико-химические и водно-физические характеристики. В почвах, богатых органическим веществом, значительно ниже потери элементов минерального питания в результате сокращения миграционных процессов, а также меньше загрязнение сопряженных сред [13]. Микроорганизмы, как и другие живые системы, нуждаются в энергии и питательных веществах. Большинство почвенных микроорганизмов удовлетворяют эти потребности, используя органическое вещество почвы [10]. В нашем эксперименте в результате инокуляции семян было установлено увеличение содержания органического вещества почвы на 1,5–15,5 % в зависимости от варианта обработки. В вариантах с использованием ФС2+КС и препарата «Экстрасол» отмечено снижение данного показателя на 2,8 и 13 % соответственно. В вариантах обработки опытными бактериальными консорциумами по всходам содержание органического вещества уменьшилось на 4,0–8,4 %. Опрыскивание консорциумом АФ+ФС2, как и предпосевная обработка, увеличивает содержание органического вещества на 3,1 % по сравнению с контролем. Содержание органического вещества при обработке по всходам препаратом «Экстрасол» находилось на уровне контрольных значений (табл. 1).

Таблица 1

**Агрохимические показатели почвы в фазу восковой спелости ярового ячменя**

Вариант обработки	Препарат, консорциум бактерий	Органическое вещество, %	pH	N л.г., мг/кг	P <sub>подв.</sub> , мг/кг	K <sub>подв.</sub> , мг/кг
Контроль		3,23 ± 0,48	5,4 ± 0,1	68 ± 8	14 ± 5	130 ± 20
Предпосевная обработка семян	Экстрасол	2,81 ± 0,56	5,9 ± 0,1	67 ± 7	10 ± 3	126 ± 19
	АФ+КС+ФС1	3,28 ± 0,49	5,4 ± 0,1	78 ± 9	23 ± 8	216 ± 32
	ФС2+КС	3,14 ± 0,47	6,3 ± 0,1	66 ± 7	18 ± 6	162 ± 24
	АФ+КС	3,31 ± 0,50	6,2 ± 0,1	66 ± 7	14 ± 5	152 ± 23
Обработка по всходам	АФ+ФС2	3,73 ± 0,56	5,5 ± 0,1	71 ± 8	14 ± 5	143 ± 21
	Экстрасол	3,23 ± 0,48	6,0 ± 0,1	77 ± 8	8 ± 3	162 ± 24
	АФ+КС+ФС1	2,96 ± 0,59	6,0 ± 0,1	66 ± 7	8 ± 3	156 ± 23
	ФС2+КС	3,02 ± 0,45	6,2 ± 0,1	64 ± 7	14 ± 5	165 ± 25
	АФ+КС	3,10 ± 0,46	5,5 ± 0,1	71 ± 8	14 ± 5	140 ± 21
	АФ+ФС2	3,33 ± 0,50	5,9 ± 0,1	74 ± 8	18 ± 6	170 ± 27

При кислой реакции почв нарушается питание растений фосфором и азотом, наблюдается угнетение деятельности полезной микрофлоры. Для большинства культурных растений оптимальной является нейтральная и близкая к нейтральной реакция почвенного раствора (рН 6–7) [13]. В нашем эксперименте рН увеличился во всех опытных вариантах, вне зависимости от времени обработки бактериальными консорциумами. В вариантах с применением ФС2+КС и препарата «Экстрасол» кислотность оказалась наиболее близкой к нейтральной – 2–3 и 5,9–6,0 соответственно (табл. 1). Такой эффект может объясняться способностью почвенных микроорганизмов продуцировать щелочные метаболиты, а также влиянием микрофлоры на характер корневой экссудации [5, 18].

Оптимальное содержание элементов минерального питания в почве является одним из важнейших факторов, способствующих получению высокой урожайности и хорошему качеству продукции [15]. Азот и фосфор входят в состав многих органических молекул, без которых невозможна жизнедеятельность. Калий в растениях находится в ионной форме и не входит в состав органических соединений клеток [13]. Установлено положительное влияние консорциумов бактерий на содержание в почве опытных делянок подвижных форм азота, фосфора и калия. При этом важное значение имело время проведения обработки. Содержание подвижного азота в почве при инокуляции семян консорциумом АФ+КС+ФС1 составило 78 мг/кг, в варианте АФ+ФС2 – 71 мг/кг, что на 14,7 и 4,4 % больше контрольных значений. В почве для остальных вариантов отмечено уменьшение

подвижного азота в пределах 3 %. При опрыскивании всходов ячменя наибольшее содержание подвижного азота зафиксировано при обработке препаратом «Экстрасол» – 77 мг/кг. При опрыскивании экспериментальными консорциумами АФ+КС, АФ+ФС2 содержание подвижного азота составило 71 и 74 мг/кг соответственно, что на 4,4 и 8,8 % больше, чем в почве контрольной делянки. Важно отметить, что при опрыскивании всходов консорциумом АФ+КС+ФС1, показавшим в результате предпосевной обработки семян максимальное среди всех вариантов увеличение подвижного азота в почве, содержание данного элемента снижается на 2,9 % (табл. 1).

Содержание подвижного фосфора в почве в результате предпосевной обработки семян консорциумом АФ+КС+ФС1 составило 23 мг/кг, что на 64,3 % выше контрольных значений. В результате инокуляции консорциумом ФС2+КС содержание подвижного фосфора возросло на 28,6 % и составило 18 мг/кг. В остальных вариантах обработки по семенам экспериментальными консорциумами бактерий значение данного параметра оставалось на уровне контроля. Обработка семян препаратом «Экстрасол» способствовала уменьшению подвижного фосфора на 28,6 %. Обработка по всходам имела положительное воздействие только в варианте АФ+ФС2. Содержание подвижного фосфора при опрыскивании данным консорциумом составило 18 мг/кг, что на 28,6 % выше, чем в почве контрольной делянки. В других вариантах содержание подвижного фосфора осталось на уровне контроля или имело тенденцию к снижению (табл. 1).

Снижение содержания подвижного азота и фосфора в почве опытных делянок может быть связано с интенсификацией потребления этих элементов растениями, обусловленной стимулирующим воздействием применяемых микроорганизмов. Изучение продуктивности ячменя в различных почвенно-климатических условиях показало, что при обработке бактериальными препаратами вынос азота и фосфора увеличивался в результате повышения урожайности основной и побочной продукции [3, 8, 12].

Количество доступного калия в почве возросло во всех вариантах инокуляции семян и опрыскивания всходов ячменя, за исключением предпосевной обработки семян препаратом «Экстрасол». В результате предпосевной обработки семян экспериментальными бактериальными консорциумами содержание доступного калия варьировало в пределах 143–216 мг/кг. Наибольшее увеличение содержания этого элемента установлено для варианта, включавшего все три группы микроорганизмов (АФ+КС+ФС1), – 66,2 % относительно контрольных значений. При обработке экспериментальными бактериальными консорциумами по всходам содержание доступного калия составило 156–170 мг/кг, что на 20,0–30,8 % больше, чем в почве контрольной делянки. Обработка всходов ячменя препаратом «Экстрасол» увеличила содержание этого элемента на 24,6 % (табл. 1).

Положительное влияние консорциумов бактерий на агрохимические показатели почвы более выражено при обработке семян перед посевом. Наилучшим образом на содержание подвижных форм азота, фосфора и калия при обработке семян и всходов повлиял консорциум АФ+ФС2. Наиболее слабое воздействие оказала обработка препаратом «Экстрасол».

Почвенные микроорганизмы принимают активное участие в минерализации органических веществ, самоочищении почв, а также играют ключевую роль в естественном круговороте веществ [6]. В связи с этим почвенные микробиоценозы имеют важное значение для процессов почвообразования и питания растений [16].

Численность азотфиксирующих микроорганизмов в почве контрольной делянки составила 200 тыс. КОЕ/г (табл. 2). В результате предпосевной обработки семян количество diaзотрофов в вариантах АФ+КС+ФС1, АФ+КС, АФ+ФС2 возросло в 2,2, 1,2 и 1,3 раза соответственно. При обработке семян препаратом «Экстрасол» численность азотфиксаторов оказалась ниже в 1,3 раза, чем в почве контрольной делянки. В почвах делянок, обработанных по всходам, численность микроорганизмов, способных фиксировать азот воздуха, в варианте АФ+КС+ФС1 увеличилась в 1,5, а в варианте АФ+КС – в 1,7 раза. В других вариантах наблюдалось сокращение азотфиксирующей микрофлоры в 1,5–1,8 раза. При обработке всходов препаратом «Экстрасол» азотфиксаторов стало меньше в 5 раз.

**Численность азотфиксирующих, фосфатсольюбилизирующих  
и калийсольюбилизирующих микроорганизмов в почве, КОЕ/г**

Вариант обработки	Препарат, консорциум бактерий	Азотфиксаторы	Фосфат-сольюбилизаторы	Калий-сольюбилизаторы
Контроль		$2,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^4$	$3,6 \times 10^4$
Предпосевная обработка семян	Экстрасол	$1,6 \times 10^5$	$8,8 \times 10^4$	$1,7 \times 10^4$
	АФ+КС+ФС1	$4,3 \times 10^5$	$2,3 \times 10^5$	$3,6 \times 10^5$
	ФС2+КС	$1,7 \times 10^5$	$5,0 \times 10^4$	$1,1 \times 10^5$
	АФ+КС	$2,4 \times 10^5$	$1,9 \times 10^4$	$1,0 \times 10^5$
	АФ+ФС2	$2,5 \times 10^5$	$4,0 \times 10^4$	$1,7 \times 10^5$
Обработка по всходам	Экстрасол	$4,0 \times 10^4$	$1,0 \times 10^4$	$5,3 \times 10^4$
	АФ+КС+ФС1	$3,0 \times 10^5$	$6,7 \times 10^4$	$2,4 \times 10^5$
	ФС2+КС	$1,3 \times 10^5$	$1,4 \times 10^4$	$4,2 \times 10^5$
	АФ+КС	$3,4 \times 10^5$	$2,2 \times 10^4$	$1,5 \times 10^5$
	АФ+ФС2	$1,1 \times 10^5$	$6,3 \times 10^4$	$2,5 \times 10^5$

В почве контрольного варианта количество фосфатсольюбилизирующих микроорганизмов составило 20 тыс. КОЕ/г. Предпосевная обработка семян способствовала росту численности этой группы микроорганизмов в почвах всех опытных делянок, за исключением варианта АФ+КС, где численность фосфатсольюбилизаторов составила 19 тыс. КОЕ/г. Наибольшая численность микроорганизмов, способных переводить нерастворимые фосфаты в доступную для растений форму, выявлена в почве варианта АФ+КС+ФС1 – 230 тыс. КОЕ/г, что в 11,5 раз больше, чем в контроле. В почвах вариантов АФ+ФС2, ФС2+КС, «Экстрасол» численность данной микробной группы возросла в 2,0, 2,5 и 4,4 раза соответственно. В результате опрыскивания всходов ячменя положительное воздействие на фосфатсольюбилизирующие микроорганизмы обнаружено при обработке консорциумами АФ+ФС2, АФ+КС+ФС1: численность микроорганизмов выросла в 3,2–3,4 раза. Обработка всходов АФ+ФС2 дала увеличение числа микроорганизмов всего в 1,1 раза. Варианты с ФС2+КС и препаратом «Экстрасол» привели к снижению количества фосфатсольюбилизаторов в 1,4 и 2,2 раза соответственно (табл. 2).

Калийсольюбилизирующие микроорганизмы продемонстрировали наибольшее увеличение численности среди изучаемых микробных групп при использовании экспериментальных консорциумов бактерий. Численность этой микробной группы в почве контрольной делянки составила 36 тыс. КОЕ/г. При инокуляции семян экспериментальными консорциумами бактерий количество калийсольюбилизирующих микроорганизмов в почве варьировало от 100 тыс. (АФ+КС) до 360 тыс. КОЕ/г (АФ+КС+ФС1), что в 2,8–10,0 раз больше, чем в контроле. При обработке семян препаратом «Экстрасол» численность калийсольюбилизаторов оказалась ниже в 2,1 раза, чем в почве контрольной делянки (табл. 2).

Результаты исследований показали, что по сравнению с опрыскиванием всходов инокуляция семян перед посевом в большей степени способствует росту численности микроорганизмов. Увеличение количества азотфиксирующих, фосфат- и калийсольюбилизирующих микроорганизмов в почве опытных делянок может свидетельствовать о хорошей приживаемости инокулированных бактерий в ризосфере. В процессе освоения микрофлорой поверхности молодых растущих корешков характер взаимодействия различных микробных агентов имеет большое значение. Главенствующее положение в составе корневой микрофлоры могут занять виды, обладающие антагонистическими свойствами, что и определит течение микробной сукцессии [5].

Вне зависимости от варианта обработки наибольшее стимулирующее воздействие на развитие агрономически ценных групп микроорганизмов оказал консорциум АФ+КС+ФС1. Самое слабое влияние наблюдалось при обработке препаратом «Экстрасол».

Применение экспериментальных консорциумов бактерий положительно сказалось на урожайности ячменя: прибавка урожайности составила 0,1–0,4 т/га, кроме варианта АФ+ФС2, при обработке которым урожайность осталась на уровне контроля (табл. 3).

Урожайность зерна ярового ячменя в зависимости от применяемого консорциума бактерий

Вариант обработки	Препарат, консорциум бактерий	Урожайность, т/га	Прибавка	
			т/га	%
Контроль		3,7	–	–
Предпосевная обработка семян	Экстрасол	4,0	0,3	8,1
	АФ+КС+ФС1	4,1	0,4	10,8
	ФС2+КС	3,8	0,1	2,7
	АФ+КС	3,9	0,2	5,4
	АФ+ФС2	3,7	0	0
Обработка по всходам	Экстрасол	3,8	0,1	2,7
	АФ+КС+ФС1	4,1	0,4	10,8
	ФС2+КС	4,0	0,3	8,1
	АФ+КС	3,9	0,2	5,4
	АФ+ФС2	3,7	0	0

Применение консорциума АФ+КС+ФС1 было одинаково эффективно при обработке и по семенам, и по всходам и позволило получить увеличение урожайности зерна на 10,8 % по сравнению с контрольным вариантом. Обработка консорциумом АФ+ФС2, показавшим наибольшее увеличение содержания органического вещества в почве, не повлияла на урожайность ячменя. Следует учитывать, что органические вещества в составе корневых экссудатов растений выступают в качестве аттрактантов для микроорганизмов, которые, размножаясь за их счет, оказывают в свою очередь ответное воздействие на растительный организм [5].

Эффективность применения препаратов, содержащих живые бактериальные культуры, на примере злаковых растений показана в ряде исследований. При этом степень их воздействия на урожайность зависит от времени обработки, совместно применяемых удобрений, погодных-климатических условий и индивидуального характера взаимодействия растений и микроорганизмов [3–5, 9, 11, 19].

### Выводы

Установлено, что применение консорциумов азотфиксирующих, фосфат- и калийсолюбилизующих бактерий оказывает положительное влияние на основные агрохимические показатели, определяющие плодородие почвы. В результате обработки бактериальными композициями наблюдалась тенденция к увеличению содержания в почве доступных форм азота, фосфора и особенно калия. Отмечено стимулирующее воздействие экспериментальных консорциумов на развитие агрономически ценных бактерий. В результате применения консорциумов бактерий для ярового ячменя была получена прибавка урожайности зерна до 10,8 % по сравнению с контролем. Эффективность использования бактериальных инокулятов зависит от характера межвидовых отношений микроорганизмов, входящих в состав консорциума, степени физиолого-биохимической комплементарности растений и инокулятов, а также времени проведения обработки. В целом предпосевная обработка семян оказалась эффективнее, чем обработка всходов. Установлено, что с целью улучшения свойств почвенной среды и повышения урожайности ячменя наиболее перспективно применение консорциума АФ+КС+ФС1, включающего штаммы азотфиксирующих, фосфат- и калийсолюбилизующих бактерий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимические методы исследования почв / ред. А.В. Соколов. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. Александров В.Г. Силикатные бактерии. М.: Сельхозгиз, 1953. 112 с.
3. Алметов Н.С., Габдуллин В.Р., Алферов А.А. Применение биопрепарата «Азоризин» – надежный способ повышения продуктивности и качества урожая ячменя // Агротех. вестн. 2016. № 2. С. 44–47.
4. Бережная В.В., Клык А.Г., Сидоренко М.Л., Быковская А.Н., Богдан П.М. Влияние бактериальных комплексов на урожайность яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Вестн. ДВО РАН. 2019. № 3. С. 103–111.
5. Возняковская Ю.М. Микрофлора растений и урожай. Л.: Колос, 1969. 240 с.
6. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука, 1990. 258 с.
7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.
8. Завалин А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: ВНИИА, 2005. 302 с.
9. Зайкин А.И., Камалихин В.Е., Каргин В.И. Эффективность применения гуминовых и биопрепаратов в посевах ярового многорядного ячменя // Вестн. Ульянов. гос. сельхоз. акад. 2018. № 3 (43). С. 59–63.
10. Иутинская Г.А. Почвенная микробиология: учеб. пособие. Киев: Аристей, 2006. 284 с.
11. Кирпичников Н.А., Волков А.А. Влияние биопрепаратов на урожайность и качество ячменя и клевера в зависимости от применения фосфорных и известковых удобрений // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 8. С. 15–18.
12. Костин Я.В., Ушаков Р.Н., Крючков М.М., Виноградов Д.В., Фадькин Г.Н. Агрэкологическая эффективность биопрепарата «Экстрасол» при выращивании ячменя // Вестн. РГАТУ. 2017. № 3 (35). С. 34–38.
13. Кузин Е.Н., Арефьев А.Н., Кузина Е.Е. Изменение плодородия почв. Пенза: РИО ПГСХА, 2013. 266 с.
14. Кузнецова Л.Н., Ширяев А.В., Кулишова И.В., Ширяева Н.В. Влияние внесения удобрений на биологические свойства почвы // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2017. № 2 (14). С. 71–76.
15. Лапа В.В. Плодородие почв и использование удобрений в Республике Беларусь // Плодородие. 2014. № 6. С. 19–20.
16. Никитишен В.И. Плодородие почвы и устойчивость функционирования агроэкосистемы. М.: Наука, 2002. 258 с.
17. Практикум по агрохимии: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. В.Г. Минеева. М.: МГУ, 2001. 689 с.
18. Соколова Т.А. Роль почвенной биоты в процессах выветривания минералов // Почвоведение. 2011. № 1. С. 64–81.
19. Старцева А.А., Фадькин Г.Н. Влияние микробиологических препаратов на формирование урожая ярового ячменя // Междунар. техн.-экон. журн. 2014. № 5. С. 81–87.
20. Субботин А.М., Нарушко М.В., Боме Н.А., Петров С.А., Мальчевский В.А., Габдуллин М.А. Влияние микроорганизмов из многолетнемерзлых пород на морфофизиологические показатели яровой пшеницы // Вавиловский журн. генетики и селекции. 2016. № 5. С. 666–672.
21. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты // Сельхоз. биология. 2011. № 3. С. 3–9.

С.П. ЗАХАРКОВ, Е.В. ЛЕПСКАЯ, О.Б. ТЕПНИН,  
Е.А. ШТРАЙХЕРТ, Т.Н. ГОРДЕЙЧУК

## Первичная продукция Авачинской бухты летом 2017 г.

*Приводятся результаты исследования пространственно-временной изменчивости первичной продукции фитопланктона (ПП) в Авачинской бухте Тихого океана в летний период 2017 г. Впервые публикуются данные измерений ПП радиоуглеродным методом, преимущественно в приповерхностном слое воды, проведенных один раз в месяц. ПП в столбе воды вычисляли по формулам, предложенным М. Беренфельдом и П. Фальковски. Предполагается, что уровень ПП летом определяется следующими факторами: поступлением биогенных элементов с речным стоком, мутностью и температурой в фотическом слое. Значения ПП и средние концентрации хлорофилла-а (Хл-а) позволяют отнести бухту к эвтрофным водоемам.*

*Одновременно проводили сравнение значений концентрации Хл-а, полученных инструментальным и дистанционным методами. Выявлена необходимость коррекции дистанционных данных.*

*Ключевые слова: Авачинская бухта, первичная продукция, речной сток, хлорофилл-а, дистанционное зондирование.*

**Primary production of the Avacha Bay in summer 2017.** S.P. ZAKHARKOV<sup>1</sup>, E.V. LEPSKAYA<sup>2</sup>, O.B. TEPNIN<sup>2</sup>, E.A. SHTRAIKHERT<sup>1</sup>, T.N. GORDEICHUK<sup>1</sup> (<sup>1</sup>V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, <sup>2</sup>KamchatNIRO, Petropavlovsk-Kamchatsky).

*The paper presents the results of a study of the spatial and temporal variability of the primary production of phytoplankton (PP) in the Avacha Bay of the Pacific Ocean in summer 2017. For the first time, measurements of PP by the radiocarbon method, mainly in the near-surface layer of water, conducted once a month, are published. Primary production in the water column was calculated by the formulas proposed by M. Behrenfeld and P. Falkovski. It is assumed that the level of PP in this season is determined by the following factors: the input of biogenic elements with a river runoff, turbidity and water temperature in the photic layer. The values of PP and the average concentrations of chlorophyll-a (Chl-a) allow us to attribute the bay to eutrophic water bodies.*

*At the same time, the Chl-a concentration values obtained by instrumental and remote sensing were compared. The need for remote data correction was identified.*

*Key words: the Avacha Bay, primary production, river flow, chlorophyll-a, remote sensing.*

### Введение

Авачинская бухта расположена на юго-восточном побережье Камчатки, представляет собой обширный глубоководный замкнутый залив округлой формы, соединяющийся с Тихим океаном сравнительно узким, шириной 3 км, проливом. Площадь бухты около 238 км<sup>2</sup>, длина 24 км, глубина до 28 м. В нее впадают реки Авача и Паратунка. Берега изрезаны многочисленными мелкими бухтами второго порядка (Тарья, Тихая, Раковая,

---

\*ЗАХАРКОВ Сергей Петрович – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ШТРАЙХЕРТ Елена Аркадьевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, ГОРДЕЙЧУК Татьяна Николаевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток); ЛЕПСКАЯ Екатерина Владимировна – кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, ТЕПНИН Олег Борисович – заведующий сектором (Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский). \*E-mail: zakharkov@mail.ru

Бабия, Петропавловская, Сероглазка, Моховая и др.) [9]. На берегу Авачинской бухты находятся административный центр Камчатского края г. Петропавловск-Камчатский и порт, и в настоящее время она испытывает огромную антропогенную нагрузку в виде поступающих с суши и морских судов стоков различной степени и характера загрязнения. Несмотря на важное рекреационное и рыбохозяйственное значение Авачинской бухты, экологические исследования данного водоема за всю историю его освоения проводили эпизодически и бессистемно, за исключением нескольких последних лет [8]. Первые измерения первичной продукции фитопланктона в бухте были проведены летом 2015 г., однако их результаты не были опубликованы. Настоящая работа направлена на устранение этих пробелов в гидробиологических исследованиях данной акватории.

## Материалы и методы

Судовые наблюдения в рейсах МРТК «Инженер Мартынов» в Авачинской бухте проводились 21.06.2017 г. на 8 станциях, 21.07.2017 г. на 7 станциях и 15.08.2017 г. на 7 станциях (рис. 1). Станции пронумерованы так же, как в работе [8]. Пробы морской воды отбирали батометром Ван-Дорна из оргстекла объемом 2,5 л с глубины, равной  $\frac{1}{2}$  видимости диска Секки, что соответствует 46 % поверхностной освещенности [12]. Исключение составила станция № 2, где пробы взяли с 12 горизонтов. Глубину видимости диска Секки измеряли на всех станциях.

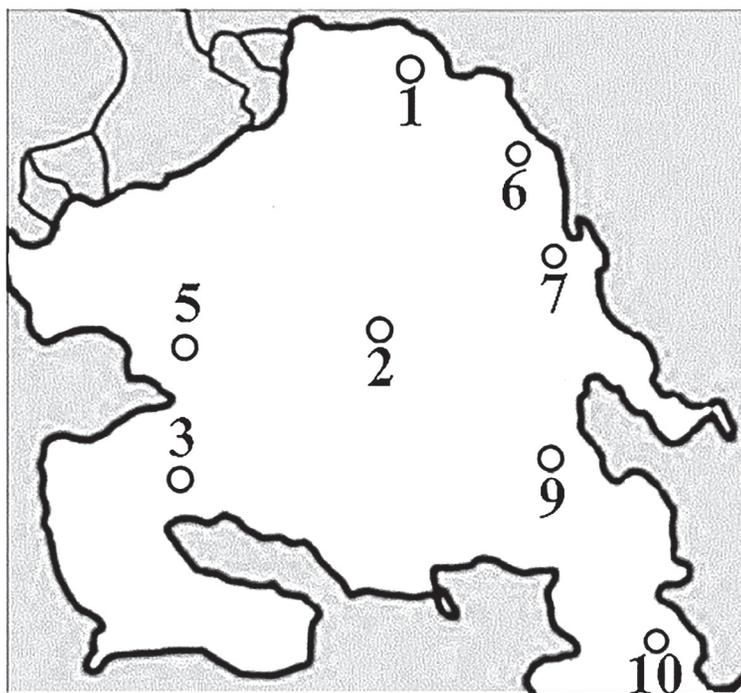


Рис. 1. Схема станций в период определения первичной продукции фитопланктона Авачинской губы в июне–августе 2017 г.

Определение величины первичной продукции (ПП) проводили с использованием радиоуглеродной модификации скляночного метода [3]. Пробы для определения разливали по склянкам объемом от 0,25 до 0,5 л (по 2 светлых и 1 темной на каждом горизонте станции), вносили  $^{14}\text{C}$  ( $\text{NaHCO}_3$ ). После окончания экспозиции пробы фиксировали раствором Люголя (0,3–0,5 мл), затем содержимое склянок отфильтровывали под вакуумом через мембранные фильтры «Vladisart» с размером пор 0,45 мкм, которые после

фильтрации промывали сначала 3 мл 1%-го раствора HCl от остатков реактива с  $^{14}\text{C}$ , затем 30 мл фильтрованной морской воды для удаления следов соляной кислоты. Фильтры высушивали на фильтровальной бумаге в течение 1 ч и упаковывали для хранения при температуре  $-18\text{ }^\circ\text{C}$  для дальнейшего определения в лаборатории. Пробы экспонировали при освещенности, равной  $\frac{1}{2}$  от максимальной поверхностной освещенности, весь световой день. Температура на станциях в зоне основного приповерхностного отбора варьировала, как правило, в пределах  $4\text{ }^\circ\text{C}$  (см. таблицу), поэтому пробы экспонировали при температуре, равной средней между максимальной и минимальной температурами с точностью  $\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ . На станции № 2, где отбор проб для измерения ПП проводили с 12 горизонтов, температура воды нижних слоев существенно отличалась от поверхностной. Для учета влияния температуры на величину ПП использовали температурный коэффициент Q10 [2]. Радиоактивность фитопланктона, сконцентрированного после экспозиции на мембранные фильтры, измеряли по стандартной методике на жидкостно-сцинтилляционном счетчике Tri-Carb 2800 TR фирмы PerkinElmer/Packard (США), при этом использовали сцинтилляционный коктейль ULTIMA GOLD AB той же фирмы. Работу проводили после 2-часовой экспозиции флаконов с образцами в темноте в лаборатории инструментальных и радиоизотопных методов анализа ТИБОХ ДВО РАН [6]. Величину первичной продукции в столбе воды вычисляли по формуле, предложенной М. Беренфельдом и П. Фальковски [11]:

$$\text{ПП} = 0,85 \cdot \text{АЧ} \cdot \text{Сх} \cdot \text{Zф} \cdot \text{Тэф}, \quad (1)$$

где ПП – первичная продукция ( $\text{мг С/сут} \cdot \text{м}^2$ ), АЧ и Сх – средние значения ассимиляционного числа ( $\text{мг С/мг Хл-а} \cdot \text{ч}$ ) и содержания Хл-а в слое фотосинтеза ( $\text{мг/м}^3$ ) соответственно, Zф – толщина эвфотической зоны, определяемая как тройная величина видимости диска Секки (м), Тэф – эффективный фотопериод (ч). Если АЧ определялось только на одном горизонте, то оно использовалось для расчетов в качестве среднего значения АЧ эвфотической зоны. Формула (1) соответствует предложенному ранее эмпирическому уравнению для расчета ПП в столбе воды [11]. Применимость данного уравнения для расчета ПП в дальневосточных морях была показана в работах [4, 5]. В связи с тем, что пробы экспонировались в течение целого светового дня, оно было нами модифицировано:

$$\text{ПП} = 0,85 \cdot \text{ДАЧ} \cdot \text{Схл} \cdot \text{Zф}, \quad (2)$$

где ДАЧ – среднее значение ассимиляционного числа за 1 сут ( $\text{АЧ} \cdot \text{Tд}$ , где Tд – длительность светового дня), Схл – среднее значение Хл-а ( $\text{мг/м}^3$ ). При расчете ПП на станции № 2 (июль) мы вынуждены были скорректировать формулу (2). Поскольку отсутствовали значения Хл-а по глубине, но имелись данные о ПП по горизонтам и средней ПП эвфотической зоны ( $\text{ППср} = \text{ДАЧ} \cdot \text{Схл}$ ), то величину ПП с  $1\text{ м}^2$  акватории вычисляли как

$$\text{ПП} = 0,85 \cdot \text{ППср} \cdot \text{Zф}.$$

Концентрацию пигментов определяли стандартным спектрофотометрическим методом [7]. Пробу воды объемом около 1 л пропускали через фильтры ФМАЦ  $0,65\text{ мкм}$ , которые замораживали и хранили при температуре  $-18\text{ }^\circ\text{C}$  для дальнейшей обработки в лабораторных условиях на берегу. Для вычисления абсолютных концентраций суммы Хл-а и феофитина-а использовали формулу [7]:

$$C_{\Sigma} = \frac{100 \cdot C_a^1}{0,59 \cdot C_{\text{ф}}^{\text{отн}} + C_a^{\text{отн}}},$$

где  $C_{\Sigma}$  – суммарное содержание Хл-а и феофитина-а ( $\text{мг/м}^3$ ),  $C_a^1$  – содержание Хл-а ( $\text{мг/м}^3$ ), полученное по формуле стандартного метода,  $C_{\text{ф}}^{\text{отн}}$  и  $C_a^{\text{отн}}$  – содержания феофитина-а и Хл-а (% от их суммы). Также учитывалось, что оптическая плотность экстракта при длине волны  $665\text{ нм}$  понижается в 1,7 раза за счет превращения Хл-а в феофитин-а [1].

Гидробиологические и гидрологические характеристики Авачинской бухты летом 2017 г.

№ станции	Н, м			Соленость, ‰			Хл-а, мг/м <sup>3</sup>			Среднее содержание Хл-а в эвфотической зоне, мг/м <sup>3</sup>			ППШ						ДАЧ, мг С/(мг Хл-а · ч)		
	VI	VII	VIII	VI	VII	VIII	VI	VII	VIII	VI	VII	VIII	мг С/(сут · м <sup>3</sup> )			г С/(сут · м <sup>2</sup> )			VI	VII	VIII
													VI	VII	VIII	VI	VII	VIII			
1	1	1,5	1,5	21,3	11,2	9,4	18,6	н.д.	9,37	12,5	5,9	14	320	н.д.	118	1,1	н.д.	2,23	17,25	н.д.	20,9
	0,5	0,5	0,5	8,1	12,1	13,5	7,7	н.д.*	12	14,3*	н.д.*	9,6*	107	122	109	1,79*	0,81*	0,78*	21,12	н.д.*	7,95
2	1	1	1	9,6	17,3	13,5	13,8	11,6	9,92	253	115	103	346	73	69	14,58	6,96	13,34	12,6	1,87	7,1
	2	2	2	18,5	18,6	14,3	23,8	9,92	6,45	173	138	81	148	82	38	15,61	6,97	15,61	6,88	1,87	7,1
3	4	4	4	29,4	27,4	28,5	13,1	20,4	7,63	117	136	54	78	21	107	10,97	29,9	12,36	11,8	12,1	12,1
	6	6	6	30,6	29,1	30,2	21,6	2,28	1,65	25	4	12	18	28	16	10,42	7,01	10,42	8,19	12,1	12,1
5	8	8	8	31,3	30,4	31,4	7,5	7,63	1,65	14,3	7,2	9,9	183	76	88	1,06	0,71	3,31	14,57	13	32,8
	10	10	10	31,7	31,2	31,7	11,2	9,44	1,65	11,4	5	14,7	316	145	247	2,97	0,89	4,28	27,72	23	28,6
6	12	12	12	32,1	31,4	31,8	4,1	3,04	8,01	14,6	5,6	13,8	159	233	96	0,8	1,47	0,86	10,82	25,5	8,2
	14	14	14	32,1	31,6	31,9	3,3	2,16	11,7	14,6	6,6	13,2	200	213	167	0,67	0,94	2,04	11,1	18,6	20,2
7	16	16	16	32,1	31,8	32,1	1,8	2,51	8,3	11,8	6,6	17,1	111	52	104	0,6	0,49	1,64	7,1	11,2	12,6
	18	18	18	32,2	31,9	32,1	2,2	1,28	8,3	11,1	4,3	17,1	84	30	70	0,42	0,94	0,63	13,68	12,8	8,58
9	20	20	20	32,2	32,1	32,1	2,4	1,65	8,2	4	2,9	9,5	193	123	124	1,18	0,89	1,97	15,0	17,4	17,4
	1	1,5	2	23,3	19,9	23,6	18,4	7,6	1,95	14,3	7,2	9,9	183	76	88	1,06	0,71	3,31	14,57	13	32,8
10	1	1,5	2	24,5	15,1	17,1	16,3	8,4	8,01	11,4	5	14,7	316	145	247	2,97	0,89	4,28	27,72	23	28,6
	1	2	1,5	18,8	23,9	12,4	16,7	10,3	11,7	14,6	5,6	13,8	159	233	96	0,8	1,47	0,86	10,82	25,5	8,2
9	1	1,5	1,5	19,5	22,9	18,7	18,7	11,5	8,3	11,8	6,6	13,2	200	213	167	0,67	0,94	2,04	11,1	18,6	20,2
	1,5	2	1,5	16,8	23,3	19,6	15,6	3,5	8,3	11,1	4,3	17,1	111	52	104	0,6	0,49	1,64	7,1	11,2	12,6
10	1,5	2,5	1,5	27,1	29,7	27,9	6,1	2,7	8,2	4	2,9	9,5	84	30	70	0,42	0,94	0,63	13,68	12,8	8,58
	1,2	1,8	1,7	19,9	20,2	17,9	16,4	7,3	8,2	11,8	5,4	12,7	193	123	124	1,18	0,89	1,97	15,0	17,4	17,4

\* Результат для всего столба воды, поэтому данные для конкретных горизонтов станции № 2 не указаны.

Примечание. Н – глубина отбора проб, равна (кроме станции № 2) половине глубины видимости диска Секки; Хл-а – содержание хлорофилла-а; ППШ – первичная продукция; ДАЧ – дневное ассимиляционное число; VI, VII, VIII – месяц проведения съемки; н.д. – нет данных.

Для станции № 2 полужирным шрифтом указаны величины, использованные при вычислении средних значений.

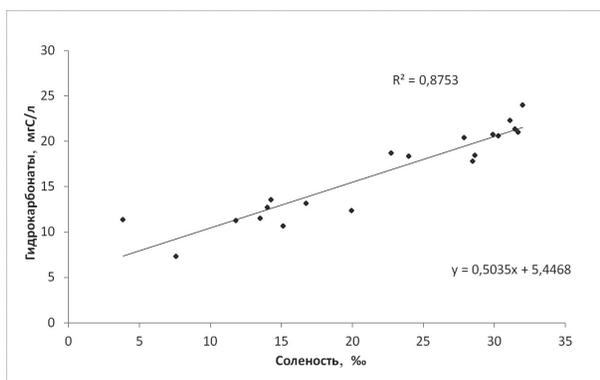


Рис. 2. Связь между соленостью (ось абсцисс) и гидрокарбонатами (ось ординат) в Авачинской бухте в летний период 2015, 2017 гг.

Неорганический углерод, используемый для расчета ПП в Авачинской бухте, определяли в летний период в 2015 и 2017 гг. Для 22 пар определений была показана тесная связь между соленостью и концентрацией гидрокарбонатов (рис. 2). Коэффициент детерминации составил 0,87, что позволило нам в дальнейшем использовать полученную закономерность и определять неорганический углерод по солености для расчетов ПП. В связи с отсутствием данных зонда 21.07.2017 г. на станции № 2 за средние значения принимались показания предыдущей и последующей съемок по солености.

Для возможности использования в дальнейших исследованиях данных по Хл-а, полученных дистанционно, нами было проведено сравнение натуральных и спутниковых значений этого параметра. Спутниковая информация предоставлена Центром хранения и обработки спутниковой информации NASA-GSFC (Goddard Space Flight Center – [www.oceancolor.gsfc.nasa.gov](http://www.oceancolor.gsfc.nasa.gov)). Данные по Хл-а были получены по алгоритму ОСЗ с использованием программного обеспечения SeaDAS версии 6.4. Спутниковые данные по Хл-а, по поглощению света при длинах волн 412 и 443 нм, по глубине эвфотической зоны отбирали по всем доступным дням с июня по август 2017 г.

## Результаты и обсуждение

Гидрологические и гидробиологические данные, полученные во время летних съемок на станциях (рис. 1), представлены в таблице.

В июне наивысших своих значений в приповерхностных слоях бухты первичная продукция достигала на станциях № 1 и 5, расположенных в районе стока рек. Известно, что наряду с освещенностью одним из определяющих факторов для развития фитопланктона и производства первичной продукции является достаточное количество биогенных элементов. Наличие их в Авачинской бухте обусловлено стоком рек Авача и Паратунка, при этом на долю р. Авача приходится до 80 % годового стока в бухту [10]. Июнь – время активного половодья рек, несущих с суши большое количество неорганических веществ, необходимых для развития фитопланктона. Группа вторых по величине показателей первичной продукции была зафиксирована на станциях, приближенных к суше (№ 7, 3, 6; здесь и далее станции расположены по мере убывания величины ПП). Здесь, вероятно, по мере усиления летнего прогрева водной толщи активизируются процессы разложения органического вещества, захороненного в донных отложениях на прибрежных станциях. Станции № 5 и 6 расположены вблизи берега и равно удалены от центральной части бухты и устьев рек, однако уровень первичной продукции на станции № 5 был в 2 раза выше, чем на станции № 6. Возможно, это объясняется тем, что вода рек Авача и Паратунка стекает в залив в основном вдоль юго-западного берега бухты [10]. Наименьшие значения

первичной продукции в июне наблюдались на станциях, наиболее удаленных от стока рек – на выходе из бухты (№ 9, 10). В столбе воды распределение первичной продукции было аналогичным таковому в приповерхностном слое, что указывает на хорошее перемешивание вод.

Съемка, выполненная в июле, показала иное, по сравнению с предыдущим месяцем, пространственное распределение первичной продукции. Ее величина существенно снижалась в приповерхностных слоях в 1,8 раза, в столбе воды в 1,3 раза. Это можно частично объяснить смещением максимумов генерации первичной продукции с приповерхностных горизонтов на более глубокие. Подтверждением тому служат наблюдения на станции № 2, где отбор проб проводился с 12 горизонтов. Здесь уровень ПП на горизонте 1 м был равен 115, а на глубине 4 м – 138 мг С/сут · м<sup>3</sup>. В поверхностных горизонтах максимумы ПП отмечены на станциях № 6, 7, 5, затем на № 2 и 3. Наиболее низкие значения ПП наблюдались на станциях № 9, 10. В столбе воды максимум первичной продукции в июле регистрировался на станциях № 6, 7 и 10, минимум – на станциях № 9 и 3. То есть наиболее интенсивное производство в этом месяце отмечалось на станциях в прибрежных районах бухты, которые, как правило, богаче биогенами, нежели расположенные мористее.

В августе среднее значение первичной продукции в приповерхностных горизонтах мало отличалось от июльского (123 и 124 мг С/сут · м<sup>3</sup> соответственно). Наибольшей первичная продукция была на станциях прибрежной зоны – № 5, 7 и 1. Возможно, такие изменения вызваны увеличением осадков в интервале наблюдений с 21.07 до 15.08 по сравнению с интервалом 21.06–21.07, предшествующим июльской съемке (99,7 и 51,3 мм соответственно; метеорологическая информация об осадках получена через сайт <http://gr5.ru>). В связи с исчерпанием биогенных элементов и невозможностью их с береговым стоком расположенные вдали от берега станции показали минимальные значения первичной продукции. В столбе воды увеличение уровня ПП также наблюдалось на станциях прибрежной зоны – № 5, 3, 1, снижаясь далее следующим образом: станции № 7, 9, 6, 2, 10. Минимальными были значения на станциях, приближенных к открытым водам.

Средняя величина первичной продукции фитопланктона с 1 м<sup>2</sup> в сутки в Авачинской бухте в июне, июле и августе равна соответственно 1,18, 0,89 и 1,97 г С. Вынос терригенной взвеси в июне приводил к уменьшению глубины эвфотической зоны, среднее значение видимости глубины диска Секки составило 2,4 м, тогда как в июле – 3,5, в августе – 3,4 м. При этом среднее значение Хл-а в эвфотической зоне максимальным было в августе. К осени, по данным Е.В. Лепской с соавторами [8], происходит повышение содержания биогенных элементов. Их концентрация, за исключением кремния, достигает максимальных годовых значений. Достаточно высокие концентрации биогенных элементов в толще воды, ее прозрачность и высокое содержание измеренного нами Хл-а являются факторами, объясняющими наибольшие значения первичной продукции с 1 м<sup>2</sup> поверхности в августе. Вероятно, образование первичной продукции в этом случае определяется и другими причинами, нежели в первые два летних месяца. Одной из них может служить увеличение температуры в столбе воды, приводящее к повышению скорости фотосинтеза.

Средние значения ДАЧ в течение летнего сезона изменялись незначительно, хотя на отдельных станциях наблюдались разнонаправленные изменения его значений. Это, вероятно, связано с тем, что водная система Авачинской бухты носит очень динамичный характер и водообмен проходит неравномерно: поверхностные слои обмениваются водой более интенсивно, чем придонные [10].

Для определения соответствия концентраций Хл-а, вычисленных со спутников и полученных натурными измерениями, усредняли концентрацию хлорофилла, измеренную инструментальными методами, по глубине от поверхности до глубины видимости диска Секки. Выявили положительные значения корреляции между спутниковыми и инструментальными методами: 0,461 в июне для 8 пар измерений, 0,669 в июле для 5 пар, 0,528 в августе для 4 пар.

## Заключение

Известно, что процессы первичного продуцирования зависят от специфических условий, сложившихся в регионе. Измерения первичной продукции в Авачинской бухте в летний сезон в поверхностных водах (преимущественно в первые два месяца) выявили ее тесную связь с речным стоком, максимум которого наблюдался в июне [10]. Тогда уровень ПП в поверхностных водах почти вдвое был выше, чем в последующие месяцы. Таким образом, в июне происходит активное потребление биогенных элементов фитопланктоном с затуханием продукционных процессов в июле и в августе. При этом в столбе воды максимум первичной продукции, рассчитанный с применением формул, зафиксирован в августе. По-видимому, в этом месяце на величину ПП влияет, наряду с концентрацией биогенов, такой фактор, как температура воды.

Измеренные радиоуглеродным методом значения первичной продукции и средние концентрации Хл-а позволяют отнести бухту к эвтрофным водоемам. Общая продуктивность фитопланктона по всей акватории составила за летний период 2017 г. около  $30 \cdot 10^9$  г органического углерода.

Невысокие значения коэффициентов корреляции между спутниковыми и инструментальными измерениями Хл-а, вероятно, показывают влияние аллохтонного органического вещества и взвеси на точность спутниковых измерений. Разработка локальных алгоритмов определения концентрации пигментов для данного региона требует дополнительных исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ведерников В.И., Коновалов Б.В., Кобленц-Мишке О.И. Результаты применения спектрофотометрического метода определения феофитина-а в пробах морской воды // Тр. ИОАН СССР. 1973. Т. 95. С. 138–146.
2. Винберг Г.Г. Некоторые итоги практики применения продукционно-гидробиологических методов // Продукция популяций и сообществ водных организмов и методы ее изучения / под ред. Г.Г. Винберга и М.И. Ярушиной. Свердловск: УрНЦ АН СССР, 1985. С. 3–18.
3. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во АН СССР, 1960. 329 с.
4. Захарков С.П., Штрайхерт Е.А., Шамбарова Ю.В., Гордейчук Т.Н., Ши С. Определение концентрации хлорофилла «а» в Японском море с использованием зондирующего и проточного флуориметров // Океанология. 2016. Т. 56, № 3. С. 482–490.
5. Захарков С.П., Штрайхерт Е.А., Гордейчук Т.Н., Ванин Н.С. Первичная продукция западной части Охотского моря в весенний период // Дальневосточные моря России. Кн. 2. Исследование морских экосистем и биоресурсов. М.: Наука, 2007. С. 463–482.
6. Звалинский В.И., Лобанов В.Б., Захарков С.П., Тищенко П.Я. Хлорофилл, замедленная флуоресценция и первичная продукция в северо-западной части Японского моря осенью 2000 г. // Океанология. 2006. Т. 46, № 1. С. 27–37.
7. Кобленц-Мишке О.И. Экстрактный и безэкстрактный методы определения фотосинтетических пигментов в пробе // Современные методы количественной оценки распределения морского планктона / под ред. М.Е. Виноградова. М.: Наука, 1983. С. 114–121.
8. Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Коломейцев В.В. и др. Исторический обзор исследований и основные результаты комплексного экологического мониторинга Авачинской губы в 2013 г. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2014. Вып. 34. С. 5–21.
9. Национальный атлас России: в 4 т. Т. 1. Общая характеристика территории / под ред. А.Н. Краюхина. М.: Роскартография, 2004. 495 с.
10. Потапов В.В. Гидрологическая характеристика Авачинской губы // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-10. С. 2227–2231.
11. Behrenfeld M.J., Falkowski P.G. A consumer's guide to phytoplankton primary productivity models // *Limnology and oceanography*. 1997. Vol. 42. P. 1479–1491.
12. Pilgrim D.A. Measurement and estimation of the extinction coefficient in turbid estuarine waters // *Cont. Shelf Res.* 1987. Vol. 7. P. 1425–1428.

Ж.В. МАРКИНА

## Рост и физиологическое состояние морских зеленых микроводорослей *Chlorella minutissima* и *Tetraselmis striata* в условиях загрязнения среды обитания медью

Изучено действие меди в концентрациях 50, 100 и 150 мкг/л на рост популяции, флуоресценцию хлорофилла *a*, содержание активных форм кислорода (АФК), мембранный потенциал митохондрий и содержание нейтральных липидов морских микроводорослей *Chlorella minutissima* и *Tetraselmis striata* (Chlorophyta) из зал. Петра Великого Японского моря. Рост *C. minutissima* стимулировался при концентрациях меди 50 и 100 мкг/л, *T. striata* – 50 мкг/л. У обеих микроводорослей отмечено снижение показателя флуоресценции хлорофилла *a*. У *C. minutissima* содержание АФК при внесении 50 мкг/л металла было ниже контрольного, а при 100 и 150 мкг/л не отличалось от такового. У *T. striata* содержание АФК увеличивалось при дозе меди 150 мкг/л. Мембранный потенциал митохондрий незначительно изменялся у *C. minutissima* при всех концентрациях меди и существенно снижался у *T. striata* при добавлении ее в количестве 100 и 150 мкг/л. Содержание нейтральных липидов увеличивалось при добавлении 50 мкг/л меди у *C. minutissima*, а при остальных концентрациях не отличалось от контроля. Токсикант во всех концентрациях приводил к снижению содержания нейтральных липидов у *T. striata*. Проведенные исследования показали, что *T. striata* более чувствителен к меди, чем *C. minutissima*. Концентрация меди 150 мкг/л выражено более токсична, чем 50 и 100 мкг/л, для обеих водорослей.

Ключевые слова: загрязнение, медь, *Chlorella minutissima*, *Tetraselmis striata*, флуоресценция хлорофилла *a*, активные формы кислорода, митохондрии, нейтральные липиды.

**Growth and physiological state of marine green microalgae *Chlorella minutissima* and *Tetraselmis striata* in copper polluted environment.** Zh.V. MARKINA (A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, FEB RAS, Vladivostok, Far Eastern Federal University, Vladivostok).

Copper influence (in concentrations 50, 100 and 150 mkg/l) on population growth, chlorophyll *a* fluorescence, reactive oxygen species (ROS) content, mitochondrial membrane potential and neutral lipids content of marine microalgae from *Chlorella minutissima* and *Tetraselmis striata* (Chlorophyta) isolated from Peter the Great Bay (Sea of Japan) were investigated. *C. minutissima* growth stimulated at 50 and 100 mkg/l copper concentrations and *T. striata* - at 50 mkg/l. Both microalgae had decreased chlorophyll *a* fluorescence. *C. minutissima* ROS content in metal addition of 50 mkg/l were lower than control and at 100 and 150 mkg/l copper concentrations didn't differ from microalgae growing in pure environment. *T. striata* ROS content increasing at copper dose 150 mkg/l. Membrane potential of *C. minutissima* mitochondrion were slightly altered at all copper concentrations and the parameter of *T. striata* significantly decreased at its addition in the amount of 100 and 150 mkg/l substance. Neutral lipids of *C. minutissima* increased, during microalga exposition to 50 mkg/l copper, but other concentrations didn't alter the parameter. Toxicants in all concentrations lead to decreasing neutral lipids content in *T. striata*. This study revealed that *T. striata* more susceptible to copper than *C. minutissima*. Copper concentration 150 mkg/l significantly more toxic, than 50 and 100 mkg/l to both microalgae.

МАРКИНА Жанна Васильевна – кандидат биологических наук, научный сотрудник (Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток), доцент (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток). E-mail: zhannav@mail.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта 18-3-052 программы «Приоритетные научные исследования в интересах комплексного развития Дальневосточного отделения РАН».

*Key words: contamination, copper; Chlorella minutissima, Tetraselmis striata, chlorophyll a fluorescence, reactive oxygen species, mitochondria, neutral lipids.*

Влияние тяжелых металлов на представителей водных экосистем привлекает огромное внимание исследователей с 60-х годов XX в. в связи с отравлениями людей, употреблявших в пищу морепродукты, выловленные или выращенные в загрязненной данными веществами среде. Наиболее изучаемыми в экотоксикологическом плане металлами являются кадмий, ртуть и медь [17, 18]. Первые два металла не являются эссенциальными, т.е. не участвуют в физиолого-биохимических реакциях, что обуславливает их высокую токсичность для организмов [12]. Медь, напротив, жизненно необходимый элемент, в том числе для растений: способствует образованию хлорофиллов, входит в состав пластоцианина (одного из переносчиков электронов между фотосистемами), участвует в ферментативных окислительно-восстановительных реакциях и азотном обмене, функционирует в цитохромоксидазном комплексе дыхательной цепи митохондрий [22]. Однако в высоких концентрациях она вызывает негативные эффекты, в том числе летальный [16]. Первичным токсическим действием данного металла на растительный организм является индуцирование продукции активных форм кислорода (АФК) [9]. Пристальное внимание к меди обусловлено также ее присутствием в разных типах сточных вод и, как следствие, большими объемами поступления в Мировой океан [18].

Увеличение содержания тяжелых металлов в водоемах в результате антропогенной деятельности приводит к их активному поглощению и накоплению в растениях, что отрицательно отражается не только на самих растениях, но и представляет серьезную угрозу здоровью человека и животных [22]. Одноклеточные водоросли являются источником питания для личинок беспозвоночных и взрослых двухстворчатых моллюсков, в том числе промысловых [1]. Это делает изучение действия меди на микроводоросли актуальным.

В экотоксикологической оценке микроводорослей базовым показателем является численность клеток [9]. Однако при неизменной или увеличивающейся величине этого показателя физиологические процессы в клетках могут быть угнетены. Наиболее часто измеряется флуоресценция хлорофилла *a* как показатель работы фотосинтетического аппарата – основного поставщика энергии растительной клетке [7]. В то же время состоянию митохондрий в токсической среде уделяется гораздо меньше внимания, хотя их работа также нарушается в стрессовых условиях [8, 19]. Известно, что стрессовые факторы наряду с физиологическими изменениями приводят к дефициту или накоплению некоторых веществ, например нейтральных липидов. Их метаболизм тесно связан с фотосинтезом, дыханием и другими физиологическими процессами [20].

Помимо выявления механизмов действия меди на микроводоросли и их органеллы, наиболее подверженные ее влиянию, что необходимо для пополнения данных об экологии видов, прогнозирования изменений в экосистемах, необходимо подобрать наиболее чувствительные показатели для оценки физиолого-биохимических нарушений для биотестирования природных вод с помощью микроводорослей, а также оценки токсичности веществ.

Действие меди на пресноводные одноклеточные зеленые водоросли исчерпывающе исследовано [9, 11, 16, 17], однако морским видам в данном плане все еще не уделяется должного внимания [5, 15], несмотря на их важную роль в экосистемах [21].

Для быстрой и качественной оценки состояния культур микроводорослей все чаще применяется проточная цитометрия, вошедшая в альгологическую практику более 30 лет назад [13]. На современном этапе она оснащена всем арсеналом методов флуоресцентного анализа компонентов клеток и происходящих в них процессов [2]. Измеряется автофлуоресценция хлорофилла *a*, применяются флуоресцентные красители для выявления физиологических и биохимических откликов на условия среды. Например, определение содержания липидов с помощью проточной цитометрии соответствует данным, полученным другими методами, что продемонстрировано на разных микроводорослях [13].

Цель настоящей работы заключалась в исследовании действия меди на динамику численности популяции, состояние фотосинтетического аппарата и митохондрий, содержание АФК и нейтральных липидов морских зеленых микроводорослей *Chlorella minutissima* и *Tetraselmis striata*.

### Материал и методика исследования

Объектами исследования служили культуры одноклеточных водорослей из отдела Chlorophyta, выделенные из зал. Петра Великого (Японское море): *Chlorella minutissima* Fott et Novakova и *Tetraselmis striata* Butcher. Культуры микроводорослей *Chlorella minutissima* штамм MBRU\_CM-86 и *Tetraselmis striata* штамм MBRU\_P-86 предоставлены ресурсным центром «Морской биобанк» ННЦМБ ДВО РАН (<http://marbank.dvo.ru>). Водоросли выращены на среде *f*, приготовленной на основе фильтрованной и стерилизованной морской воды соленостью 32 ‰, в 250 мл колбах Эрленмейера с объемом культуральной среды 100 мл при температуре 18 °С, интенсивности освещения 70 мкмоль/м<sup>2</sup>·с в области видимого света и свето-темновым периодом 14 ч свет : 10 ч темнота [4]. В качестве инокулята использовали культуры на экспоненциальной стадии роста. Начальная концентрация клеток *C. minutissima* –  $20 \cdot 10^4$  кл./мл, *T. striata* –  $3,7 \cdot 10^4$  кл./мл. Продолжительность экспериментов 7 сут. Пробы для проточно-цитометрического анализа отбирали через 3 и 7 сут опыта.

Медь добавляли в виде  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , концентрации (50, 100 и 150 мкг/л) указаны в пересчете на ионы меди. ПДК меди для морских вод России – 5 мкг/л, ее содержание достигает 50 мкг/л, уровень 150 мкг/л относится к категории «высокое загрязнение» [3].

Измерения всех показателей проведены на проточном цитометре CytoFLEX (Beckman Coulter, США). Для анализа записано 10 000 событий (региструемых в пробе частиц) в течение каждого измерения. Выбор клеток водорослей из общего числа событий, регистрируемых цитометром, проводили по флуоресценции хлорофилла *a* [13]. Проточно-цитометрический анализ выполнен в ННЦМБ ДВО РАН.

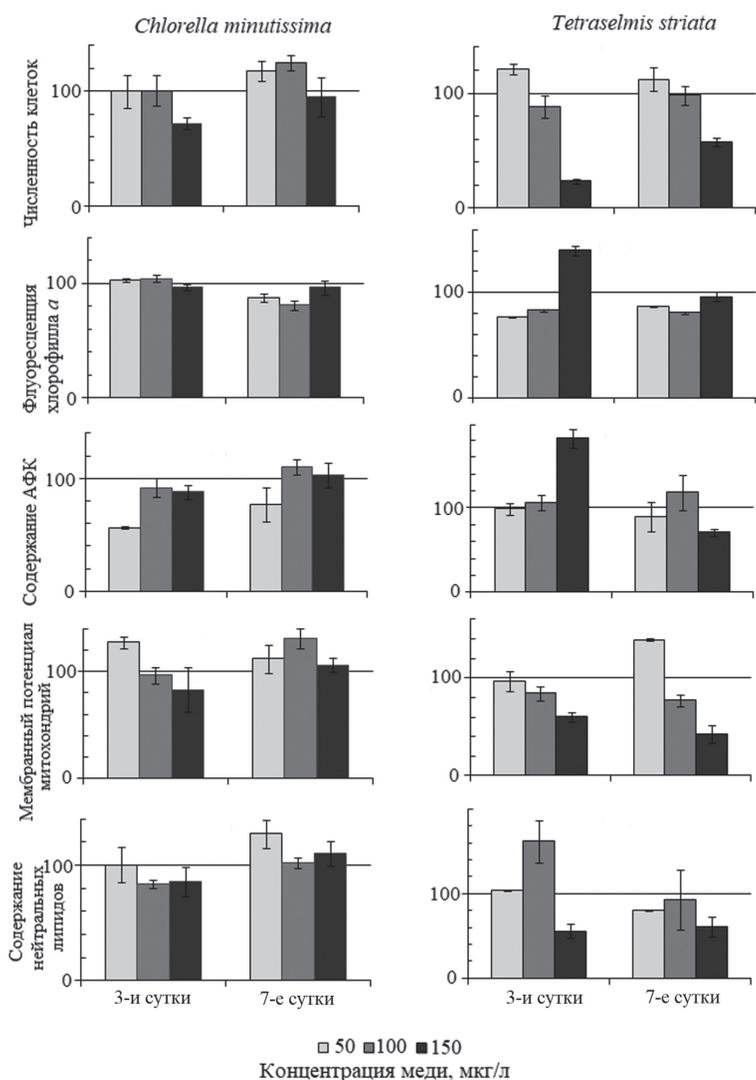
Интенсивность флуоресценции хлорофилла *a* регистрировали на длине волны 690 нм, длина волны возбуждения составляла 488 нм [13]. Продукцию активных форм кислорода (АФК) оценивали с помощью флуоресцентного красителя 2',7'-дихлородигидрофлуоресцеин диацетата, окрашивание проводили в течение 1 ч при комнатной температуре в темноте. Показатель флуоресценции его окисленного и диацетилированного продукта определяли на длине волны 525 нм, длина волны возбуждения 488 нм [10]. Для определения мембранного потенциала митохондрий использовали флуоресцентный краситель DiOC6(3), окрашивание проводили в течение 30 мин, длина волны возбуждения 488 нм, испускания – 525 нм [2]. Содержание нейтральных липидов определяли по флуоресценции флуорохрома Nile Red, окрашивание проводили в течение 15 мин при комнатной температуре в темноте, длина волны возбуждения 488 нм, испускания – 580 нм [6].

Эксперименты проведены в трех повторностях. Данные в виде средних значений и стандартных отклонений, выраженные в процентах к контролю, представлены на рисунке. За контроль приняты показатели, полученные без добавления меди.

### Результаты и обсуждение

Влияние разных концентраций меди на рост и физиологические показатели *Chlorella minutissima* и *Tetraselmis striata* было разнонаправленным (см. рисунок).

Медь оказывала как стимулирующий эффект на микроводоросли *Chlorella minutissima* и *Tetraselmis striata* при концентрации 50 мкг/л, так и ингибирующий при концентрации 150 мкг/л. Ранее было показано, что рост пресноводной зеленой водоросли *Scenedesmus incrassatulus* замедлялся через 6 сут экспозиции при 40 и 80 мкг/л этого металла [19].



Численность и показатели физиологического состояния микроводорослей *Chlorella minutissima* и *Tetraselmis striata* при воздействии меди (% к контролю)

Такую же реакцию на медь в концентрации 50–100 мкг/л проявила диатомея *Phaeodactylum tricorutum* [8]. Обнаруженное как нами, так и другими авторами снижение численности клеток при добавлении в среду меди обусловлено нарушением процессов фотосинтеза. В условиях интоксикации растительный организм может использовать энергию, предназначенную для роста, на другие клеточные процессы, необходимые для поддержания гомеостаза клетки [19]. Кроме того, медь оказывает негативное действие на морфологию хромосом и клеточный цикл, что приводит к ингибированию клеточного деления [14].

Рост растений прежде всего зависит от эффективного поглощения солнечной энергии и ее трансформации в химическую, которая утилизируется в процессе фотосинтеза [19]. Снижение интенсивности флуоресценции хлорофилла *a* у обеих микроводорослей в наших опытах может быть связано как с уменьшением количества пигмента (в результате ингибирования его синтеза, непосредственного разрушения, выхода из фотосинтетических мембран), так и с ингибированием процесса фотосинтеза в результате нарушения работы электрон-транспортной цепи фотосистем. Также медь способна заменять магний в молекуле хлорофилла *a*, делая его неспособным к фотосинтезу. Сбрасываемая энергия от

таких поврежденных хлорофиллов может передаваться молекулярному кислороду, приводя к появлению синглетного кислорода, вызывающего окислительное повреждение [18], что также является одной из причин снижения флуоресценции хлорофилла *a* и изменения других физиологических показателей.

Проведенные опыты показали, что у *C. minutissima* добавление 50 мкг/л меди привело к снижению содержания АФК. Так как данный процесс происходил одновременно с увеличением численности клеток, можно предположить, что эта концентрация является благоприятной для развития водоросли. У *T. striata* содержание АФК увеличивалось на 3-и сутки при концентрации 150 мкг/л металла. Показано, что с началом возрастания содержания АФК в клетках запускается активация генов, вовлеченных в пути детоксикации [23]. Вероятно, поэтому мы наблюдали снижение содержания АФК после его резкого увеличения при данных условиях к 7-м суткам опыта, что свидетельствует о включении адаптационных механизмов водоросли.

Функционирование митохондрий напрямую зависит от условий среды и энергетических потребностей клетки [16]. У *C. minutissima* в присутствии меди мембранный потенциал митохондрий увеличивался. Это также зарегистрировано у *P. tricornutum* при добавлении 50 и 100 мкг/л, однако рост диатомеи ингибировался [8]. Мембранный потенциал митохондрий *T. striata* снижался при воздействии меди, что свидетельствует о деполяризации мембран. Возможно, большее воздействие меди на митохондрии *T. striata* связано с тем, что данный вид, в отличие от *C. minutissima*, является подвижным, а на поддержание двигательной активности требуется большее количество АТФ, и, соответственно, возрастает нагрузка на митохондрии. Такое же явление зарегистрировано у зеленой микроводоросли *Pseudokirchneriella subcapitata* при концентрации меди 80 мкг/л через 3 сут опыта [16]. При подавлении фотосинтеза микроводорослей в токсических условиях усиливается роль митохондрий в метаболических процессах. Например, активация дыхания является следствием потребления энергии для обеспечения детоксикации меди. Митохондрии *C. minutissima* и *T. striata* подверглись большему воздействию меди, чем хлоропласты. Однако Н.В. Perales-Vela с соавторами [19] указывают, что процессы, связанные с обеспечением дыхания растений, более устойчивы к меди, чем фотосинтез. Возможно, это обусловлено видовыми различиями, однако в настоящее время мало экспериментов, посвященных одновременному изучению митохондрий и хлоропластов, чтобы сделать однозначные выводы. Также имеются сведения, что медь влияет на мембраны митохондрий сильнее, чем другие металлы даже в больших концентрациях [16].

У водорослей при стрессовых условиях любой природы часто отмечается накопление нейтральных липидов, однако в настоящей работе, напротив, отмечено их уменьшение. Это может быть связано с их использованием для восполнения энергозатрат клетки в токсических условиях. На примере другого тяжелого металла – кадмия показано, что его содержание в среде приводит к снижению количества нейтральных липидов, даже разрушению липидных телец у микроводорослей [9, 17]. Известно также, что накопление нейтральных липидов уменьшается при высоком уровне АФК [17], что было наиболее ярко выражено у *T. striata* на 3-и сутки опыта при концентрации 150 мкг/л меди.

## Выводы

Проведенные исследования показали, что вид *Tetraselmis striata* более чувствителен к действию меди в концентрациях 50–150 мкг/л, чем *Chlorella minutissima*. Одной из возможных причин этого может являться присутствие в составе клеточной оболочки *Chlorella* споропеллина, устойчивого к химическим воздействиям [1].

При концентрации 50 мкг/л рост обеих водорослей стимулировался, при 100 мкг/л у *C. minutissima* он продолжился, а у *T. striata* слабо ингибировался. Концентрация 150 мкг/л приводила к гибели части популяции *T. striata*.

Флуоресценция хлорофилла *a* уменьшалась к концу опыта у обеих водорослей при всех концентрациях токсиканта.

Содержание АФК у *C. minutissima* выражено уменьшалось при концентрации 50 мкг/л. Самое большое его увеличение происходило при 150 мкг/л у *T. striata*. В остальных случаях отмечались незначительные колебания показателя.

Мембранный потенциал митохондрий при добавлении меди увеличивался или оставался неизменным у *C. minutissima* и снижался у *T. striata*.

Содержание нейтральных липидов у *C. minutissima* увеличивалось при 50 мкг/л к концу опыта и оставалось неизменным при остальных концентрациях меди. У *T. striata* во всех случаях показатель был ниже контрольного уровня. Снижение содержания нейтральных липидов у водорослей, особенно в сочетании с уменьшением их численности, может являться дополнительной причиной (помимо непосредственной интоксикации медью) гибели организмов, чьей кормовой базой являются микроводоросли, например моллюсков и личинок беспозвоночных.

Таким образом, по увеличению чувствительности к влиянию меди исследованные показатели можно расположить в следующий ряд: флуоресценция хлорофилла *a* < численность клеток < содержание нейтральных липидов = содержание АФК < мембранный потенциал митохондрий. То есть такой широко используемый вследствие быстроты анализа критерий оценки, как флуоресценция хлорофилла *a*, является самым малоинформативным. В связи с этим рекомендуется или сочетать его с другими, или выбирать для оценки качества морских вод и токсичности веществ с помощью микроводорослей иные показатели, например мембранный потенциал митохондрий.

Автор искренне благодарит сотрудников лаборатории клеточных технологий ННЦМБ ДВО РАН за помощь в работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ботаника: курс альгологии и микологии / под ред. Т.Ю. Дьякова. М.: МГУ, 2007. 559 с.
2. Зурочка А.В., Хайдуков С.В., Кудрявцев И.В., Черешнев В.А. Проточная цитометрия в медицине и биологии. 2-е изд., доп. и расшир. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. 576 с.
3. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник. 2016 / под ред. А.Н. Коршенко. М.: Наука, 2017. 190 с.
4. Орлова Т.Ю., Айздайчер Н.А., Стоник И.В. Лабораторное культивирование морских микроводорослей, включая продуцентов фитотоксинов: науч.-метод. пособие. Владивосток: Дальнаука, 2011. 89 с.
5. Adams M.S., Dillon C.T., Vogt S., Lai B., Stauber J., Jolley D.F. Copper uptake, intracellular localization and speciation in marine microalgae measured by synchrotron radiation X-Ray fluorescence and absorption microspectroscopy // Environ. Sci. Technol. 2016. Vol. 50. P. 8827–8839.
6. Alemán-Nava G.S., Cuellar-Bermudez S.P., Cuaresma M. et al. How to use Nile Red, a selective fluorescent stain for microalgal neutral lipids // J. Microbiol. Methods. 2016. Vol. 128. P. 74–79.
7. Araújo C.V.M., Diz F.R., Lubián L.M., Blasco J., Moreno-Garrido I. Sensitivity of *Cylindrotheca closterium* to copper: Influence of three test endpoints and two test methods // Sci. Total. Environ. 2010. Vol. 408. P. 3696–3703.
8. Cid A., Fidalgo P., Herrero C., Abalde J. Toxic action of copper on the membrane system of a marine diatom measured by flow cytometry // Cytometry. 1996. Vol. 25. P. 32–36.
9. El-Naggar A.H., Sheikh H.M. Response of the green microalga *Chlorella vulgaris* to the oxidative stress caused by some heavy metals // Life Sci. J. 2014. Vol. 11. P. 1349–1357.
10. Gomes F., Fernandes E., Lima J.F.L.C. Fluorescence probes used for detection of reactive oxygen species // J. Biophys. Biochem. Methods. 2005. Vol. 65. P. 45–80.
11. Hamed S.M., Selim S., Klöck G., AbdElgawad H. Sensitivity of two green microalgae to copper stress: Growth, oxidative and antioxidants analyses // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2017. Vol. 144. P. 19–25.
12. Hall J.L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance // J. Exp. Bot. 2002. Vol. 53. P. 1–11.
13. Hyka P., Lickova S., Přibyl P., Melzoch K., Kovar K. Flow cytometry for development of biotechnological processes with microalgae // Biotechnol. Adv. 2013. V. 31. P. 2–16.
14. Jiang W., Liu D., Liu X. Effect of copper on root growth, cell division, and nucleolus of *Zea mays* // Biol. Plantarum. 2001. Vol. 44. P. 105–109.
15. Kumar K.S., Shin K.-H. Effect of copper on marine microalga *Tetraselmis suecica* and its influence on intra- and extracellular iron and zinc content // KJEE. 2017. Vol. 50. P. 16–28.

16. Machado M.D., Soares E.V. Modification of cell volume and proliferative capacity of *Pseudokirchneriella subcapitata* cells exposed to metal stress // *Aquat. Toxicol.* 2014. Vol. 147. P. 1–6.
17. Miazek K., Iwanek W., Remacle C., Richel A., Goffin D. Effect of metals, metalloids and metallic nanoparticles on microalgae growth and industrial products biosynthesis: a review // *Int. J. Mol. Sci.* 2015. Vol. 16. P. 23929–23969.
18. Nagajyoti P.S., Lee K.D., Sreekanth Tvm. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review // *Environ. Chem. Lett.* 2010. Vol. 8. P. 199–216.
19. Perales-Vela H.V., González-Moreno S., Montes-Horcasitas C., Canizares-Villanueva R.O. Growth, photosynthetic and respiratory responses to sub-lethal copper concentrations in *Scenedesmus incrassatulus* (Chlorophyceae) // *Chemosphere.* 2007. Vol. 67. P. 2274–2281.
20. Pyc M., Cai Y., Greer M.S. et al. Turning over a new leaf in lipid droplet biology // *Trends Plant Sci.* 2017. Vol. 22. P. 596–609.
21. Tragin M., Vaultot P. Green microalgae in marine coastal waters: the ocean sampling day (OSD) dataset // *Sci. Rep.* 2018. Vol. 8. DOI: 10.1038/s41598-018-32338-w.
22. Yruela I. Copper in plants // *Braz. J. Plant Physiol.* 2005. Vol. 17. P. 145–156.
23. Zhu Q.-L., Sai-Nan G., Wen F. et al. Transcriptional and physiological responses of *Dunaliella salina* to cadmium reveals time-dependent turnover of ribosome, photosystem, and ROS-scavenging pathways // *Aquat. Toxicol.* 2019. Vol. 207. P. 153–162.

А.В. ЕРМОЛЕНКО, А.Ф. ПОПОВ, Е.В. ЗАГНЕЙ,  
Т.Ф. ХОМИЧУК, Г.А. ЗАХАРОВА, Ю.В. НЕСТЕРОВА

## Возбудители гельминтозов людей в Приморском крае

*Обобщены сведения о 78 видах гельминтов, которые встречаются в Приморском крае и могут быть возбудителями гельминтозов человека. Приводятся данные об их распространении, путях заражения, мерах лечения и профилактики.*

*Ключевые слова:* гельминты, гельминтозы людей, Приморский край.

**Helminths of humans in the Primorsky Region.** A.V. ERMOLENKO (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok), A.F. POPOV (Federal Pacific State Medical University, Vladivostok), E.V. ZAGNEY, T.Ph. KHOMICHUK, G.A. ZAKHAROVA, Ju.V. NESTEROVA (Center of Hygiene and Epidemiology in Primorsky Region, Vladivostok).

*Information concerning 78 species of helminths which are found in Primorsky Region and can be causative agents of human helminthiasis: data about its distribution, infection routes, pathogenesis, methods of treatments and disease prevention.*

*Key words:* helminths, human helminthiasis, Primorsky Region.

По состоянию на 2006 г. у людей по всему миру зарегистрировано 384 вида гельминтов [43]. На территории Приморского края, составляющей в общем-то сравнительно небольшую часть земной поверхности, зафиксировано примерно 20 % общего числа видов гельминтов (см. таблицу).

### Возбудители гельминтозов, возможные и регистрируемые у людей в Приморском крае

Вид гельминтов	Источник заражения людей
<b>Трематоды</b>	
<i>Clinostomum complanatum</i> (Rudolphi, 1819)	Пресноводные, преимущественно карповые, рыбы
<i>Diplostomum spathaceum</i> (Rudolphi, 1819)	То же
<i>Isoparorchis hypselobagri</i> (Billet, 1898)	Пресноводные рыбы
<i>Bilharziella polonica</i> (Kowalewsky, 1895)	Вода стоячих водоемов
<i>Trichobilharzia ocellata</i> (La Valette, 1854)	То же
<i>Echinochasmus japonicus</i> (Tanabe, 1922)	Пресноводные, преимущественно карповые, рыбы
<i>Echinoparyphium recurvatum</i> (Linstow, 1875)	Пресноводные брюхоногие моллюски
<i>Echinostoma paraulum</i> Dietz, 1909	То же
<i>Echinostoma revolutum</i> (Fröhlich, 1802)	Пресноводные брюхоногие моллюски, бесхвостые амфибии

\*ЕРМОЛЕНКО Алексей Васильевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник (Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток), ПОПОВ Александр Федорович – доктор медицинских наук, профессор (Тихоокеанский государственный медицинский университет, Владивосток), ЗАГНЕЙ Елена Владимировна – главный специалист отдела, ЗАХАРОВА Галина Адольфовна – заведующая отделом, ХОМИЧУК Татьяна Фатеевна – главный специалист отдела, НЕСТЕРОВА Юлия Вячеславовна – врач-эпидемиолог (Центр гигиены и эпидемиологии в Приморском крае, Владивосток).

\*E-mail: ermolenko\_alexey@mail.ru<sup>2</sup>

Вид гельминтов	Источник заражения людей
<i>Euparyphium melis</i> (Schränk, 1788)	Амфибии
<i>Fasciola hepatica</i> (Linne, 1758)	Вода из стоячих водоемов
<i>Clonorchis sinensis</i> (Cobbold, 1875)	Пресноводные, преимущественно карповые, рыбы
<i>Cryptocoty lelingua</i> (Creplin, 1825)	В основном морские рыбы
<i>Centrocestus armatus</i> (Tanabe, 1922)	Пресноводные, преимущественно карповые, рыбы
<i>Metagonimus pusillus</i> Tatonova, Shumenko et Besprozvannykh, 2018	Пресноводные рыбы
<i>Metagonimus suisfunensis</i> Shumenko, Tatonova, Besprozvannykh, 2017	То же
<i>Heterophyopsis continua</i> (Onji et Nishio, 1924)	Солоноватоводные и морские рыбы
<i>Stictodoralari</i> Yamaguti, 1939	То же
<i>Dicrocoelium lanceatum</i> (Stiles et Hassall, 1896)	Муравьи
<i>Eurytrema pancreaticum</i> (Janson, 1889)	Кузнечики и сверчки
<i>Paragonimus westermani ishunensis</i> Chung, Hsu et Kao, 1978	Десятиногие ракообразные (личиночная форма), мясоедающие млекопитающие (взрослая форма)
<i>Paragonimus</i> sp.	Десятиногие ракообразные
<i>Nanophyetus schikhobalowi</i> Skrjabin et Podjapolskaja, 1931	Пресноводные, в основном лососеобразные, рыбы
<i>Plagiorchis elegans</i> (Rudolphi, 1802)	Личинки и имаго водных и околводных насекомых, ракообразные
<b>Цестоды</b>	
<i>Diphyllobothrium dendriticum</i> (Nitzsch, 1824)	Лососеобразные рыбы
<i>Diphyllobothrium</i> sp. (?= <i>D. hottai</i> Yazaki, Fukumoto et Abe, 1988)	Корюшки
<i>Diphyllobothrium nihonkaiense</i> Yamane, Kato, Bylug et Wikgren, 1986	Проходные лососевые рыбы
<i>Diphyllobothrium orcinii</i> (Hatzushika et Shirouzu, 1990)	Морские рыбы
<i>Pyramicocephalus phocarum</i> (Fabricius, 1780)	То же
<i>Ligula intestinalis</i> (Linne, 1758)	Пресноводные карповые рыбы
<i>Schistocephalus solidus</i> (Bloch, 1872)	Колушки и коэкологичные с ними рыбы
<i>Moniezia expansa</i> (Rudolphi, 1805)	Орибатидные клещи
<i>Dipylidium caninum</i> (Linne, 1758)	Власоеды
<i>Drepanidotaenia lanceolata</i> (Bloch, 1782)	Веслоногие ракообразные
<i>Hymenolepis diminuta</i> (Rudolphi, 1802)	Насекомые и многоножки
<i>Hymenolepis nana</i> Siebold, 1852	Жуки рода <i>Tenebrio</i> , чаще развитие прямое
<i>Microsomacanthus microsoma</i> (Creplin, 1829)	Веслоногие ракообразные
<i>Mesocestoides lineatus</i> (Goeze, 1782)	Членистоногие-копрофаги, мелкие рептилии, птицы, грызуны
<i>Echinococcus granulosus</i> (Batsch, 1786)	Шерсть зараженных собак, почва, наземная растительность
<i>Hydatigera taeniaeformis</i> (Batsch, 1786)	Грызуны
<i>Taenia solium</i> (Linne, 1758)	Свинина
<i>Taeniarhynchus saginatus</i> (Goeze, 1782)	Говядина
<b>Нематоды</b>	
<i>Diocotophya renale</i> (Goeze, 1782)	Олигохеты, рыбы
<i>Calodium hepaticum</i> (Bankroft, 1893)	Геогельминт
<i>Eucoleus aerophilus</i> (Creplin, 1839)	Дождевые черви
<i>Trichinella native</i> Britov et Boev, 1972	Мясоедающие млекопитающие (чаще хищники)
<i>Trichinella spiralis</i> (Owen, 1835)	Мясоедающие млекопитающие (чаще свиньи и грызуны)
<i>Gnathostoma dolores</i> Tubangui, 1925	Копеподы
<i>Gnathostoma hispidum</i> Fedtschenko, 1872	Копеподы, рыбы, амфибии, рептилии, млекопитающие
<i>Gnathostoma spinigerum</i> Owen, 1836	Копеподы, рыбы, амфибии
<i>Dirofilaria immitis</i> (Leidy, 1856)	Комары
<i>Dirofilaria repens</i> Railliet et Henry, 1911	То же

Вид гельминтов	Источник заражения людей
<i>Setaria equina</i> (Abildgaard, 1789)	->-
<i>Aspicularis tetraptera</i> (Nitsch, 1821)	Геогельминт
<i>Enterobius vermicularis</i> (Linne, 1758)	То же
<i>Syphacia obvelata</i> (Rudolphi, 1802)	->-
<i>Ancylostoma duodenale</i> (Dubini, 1843)	->-
<i>Uncinaria stenocephala</i> (Railliet, 1884)	->-
<i>Necator americanus</i> (Stiles, 1902)	->-
<i>Strongyloides stercoralis</i> (Bavay, 1876)	->-
<i>Metastrongylus elongates</i> (Dujardin, 1846)	Дождевые черви
<i>Trichostrongylus axei</i> (Cobbold, 1879)	Геогельминт
<i>Trichostrongylus colubriformis</i> (Giles, 1892)	То же
<i>Trichostrongylus vitrines</i> Looss, 1905	->-
<i>Trichuris trichiura</i> (Linne, 1758)	->-
<i>Haemonchus contortus</i> (Rudolphi, 1802)	->-
<i>Mecistocirrus digitatus</i> (Linstow, 1906)	->-
<i>Teladorsagia circumcincta</i> (Stadelmann, 1894)	->-
<i>Anisakis simplex</i> (Rudolphi, 1809)	Морские рыбы, головоногие моллюски
<i>Toxocara canis</i> (Werner, 1782)	Геогельминт
<i>Toxocara cati</i> (Schränk, 1788)	То же
<i>Ascaris lumbricoides</i> Linne, 1758	->-
<i>Ascaris suum</i> (Goeze, 1782)	->-
<i>Toxascaris leonina</i> (Linstow, 1902)	->-
<i>Thelazia callipaeda</i> Railliet et Henry, 1910	Мухи
<b>Скребни</b>	
<i>Corynosoma strumosum</i> (Rudolphi, 1802)	Морские ракообразные
<i>Macracanthorhynchus hirudinaceus</i> (Pallas, 1781)	Личинки жуков

В силу различных причин из почти 80 видов червей, выявленных в Приморском крае, далеко не все отмечались у людей. По данным эпидемиологического отдела Управления Роспотребнадзора по Приморскому краю, всего в регионе зарегистрировано около 20 гельминтозов.

### Трематодозы

У людей в Приморье найдены возбудители клонорхоза, нанофиедоза, парагонимоза и метагонимоза. Наиболее серьезные последствия причиняет клонорхоз, вызываемый китайской двуусткой *Clonorchis sinensis*, распространенной в Юго-Восточной и Восточной Азии и замещающей здесь более известную кошачью двуустку *Opisthorchis felineus* (Rivolta, 1884), обитающую в Сибири и Восточной Европе. Жизненный цикл этого червя включает смену первого (моллюски рода *Parafossarulus* Annandale), второго (в основном карповые рыбы) и окончательного хозяев. В роли последних выступают различные рыбацкие млекопитающие, в том числе человек. У них паразит локализуется в печени. Единичная интенсивность инвазии может не проявляться внешне в течение достаточно длительного времени. Но рано или поздно заражение приводит к развитию холангиокарциномы, способной вызвать даже смерть зараженного хозяина [40].

Нативный ареал этой трематоды в пределах Приморья включает водоемы бассейна р. Уссури: пойменные озера со стоячей и слабопроточной прозрачной водой, где обитают ее первые промежуточные хозяева [5, 7]. Однако в последние десятилетия нами отмечено расширение местообитания данного червя по вектору юг-юго-запад. Зараженные китайской двуусткой моллюски и рыбы были найдены в системе оз. Ханка: в бассейнах

р. Илистая (зараженные рыбы отлавливались даже в верховьях реки) и недалеко от р. Спасовка (оз. Кронштадтское), а также в бассейне р. Раздольная. Особую тревогу вызывает факт нахождения зараженных моллюсков и рыб непосредственно в пределах Уссурийска, в оз. Солдатское, которое, как и Кронштадтское, является местом массового отдыха людей.

Следует отметить, что вновь сформировавшиеся (очевидно, в результате хозяйственной деятельности человека) очаги клонорхоза отличаются гораздо большей напряженностью, чем естественные. Если в бассейне р. Уссури зараженность первых промежуточных хозяев составляет около 0,1 %, то в оз. Солдатское превышает 1,5–2 %, а вторые промежуточные хозяева (караси, голяны, китайский чебачок и др.) здесь заражены практически все [5]. В 1995–2017 гг. в Приморском крае было зарегистрировано 530 случаев заболевания клонорхозом у людей в возрасте от 10 до 70 лет. Чаще заболевание регистрировалось в Спасске-Дальнем (47,3 % от числа заболевших) и Уссурийске (27,7 %), реже в Дальнегорске (17,5 %) и Владивостоке (7,5 %).

Такой же, как у клонорхис, триксенный цикл, имеет и возбудитель нанофиетоза – трематода *Nanophyetus schikhobalowi*. Ее первыми промежуточными хозяевами служат речные моллюски рода *Parajuga* Prozorova et Starobogatov, вторыми – в основном лососеобразные (лососевые, хариусовые и сиговые) рыбы, а окончательными – рыбаобразные млекопитающие и человек [8]. Распространение этого паразита в Приморье ограничено в основном ареалом первых промежуточных хозяев (бассейны р. Уссури, оз. Ханка и р. Раздольная). Особенности экологии червя (прежде всего, холодолюбивость свободноживущих личиночных стадий) приводят к тому, что они встречаются в основном в горных и полугорных участках рек. Наличие облигатных вторых промежуточных хозяев в принципе не является ограничивающим фактором. При их исчезновении, как в некоторых притоках р. Раздольная, или при высокой численности паразита, как в р. Бикин, личинки (метациркарии) нанофиетуса могут заражать и рыб иной систематической принадлежности (не лососеобразных) [8, 26].

Локализуется данный сосальщик в тонком кишечнике окончательных хозяев. Имея мелкие размеры, эти черви при небольшой интенсивности инвазии внешне никак себя не проявляют. Однако сильная зараженность может вызвать различного рода отклонения от нормального состояния здоровья.

Приморье является частью ареала по крайней мере двух видов рода *Metagonimus*. Морфологически эти черви почти полностью соответствуют ранее описанным видам *M. yokogawai* Katsurada, 1912 и *M. katsuradai* Isumi, 1935 [6]. Однако проведенный молекулярно-генетический анализ показал, что по крайней мере часть этих трематод относится к двум новым видам – *M. suifunensis* и *M. pusillus* [52, 53]. На настоящий момент неизвестно, присутствуют ли в крае ранее известные виды, равно как и неизвестно, какие именно из них найдены у людей в данном регионе: диагноз «метагонимоз» ставился и ставится в основном по обнаружению яиц в фекалиях или по результатам серологических анализов, когда определить видовую принадлежность червей практически невозможно. В 2017 г. метагонимоз был выявлен у больного аппендицитом при гистологическом исследовании удаленного отростка.

Цикл развития трематод рода *Metagonimus* (вне зависимости от видовой принадлежности) включает смену первого (моллюски рода *Parajuga*), второго (пресноводные, чаще карповые, рыбы, предпочтительно с чешуей среднего размера) и окончательного хозяев. Роль последних могут выполнять рыбаобразные птицы и млекопитающие, включая человека [6]. У вторых промежуточных хозяев (рыб) трематоды локализуются под внутренней поверхностью чешуи и на плавниках, гораздо реже – на жабрах. Это делает возможность заражения людей относительно маловероятной: жабры обычно не входят в поедаемую часть рыб, а личинками с чешуи можно заразиться чаще всего при несоблюдении элементарных мер гигиены после чистки рыбы. Однако случаи метагонимоза все-таки регистрируются в регионе.

Распространение трематод рода *Metagonimus* ограничено ареалом первых промежуточных хозяев (системы рек Уссури и Раздольная, оз. Ханка). В основном зараженные их

личинками рыбы обнаруживаются на равнинных участках рек, хотя регистрируются и в полугорных и горных отрезках водотоков, но в меньших количествах.

До середины 80-х годов прошлого века основную проблему для эпидемиологов Приморья представлял парагонимоз. Зарегистрированным у человека возбудителем является *Paragonimus westermani ishunensis*. Это единственный из более чем 150 представителей данного рода червей, зараженность которым зависит от систематического положения окончательного хозяина. Обычно личинки всех остальных видов легочных сосальщиков, попав в окончательного хозяина – млекопитающего, мигрируют в легкие, где и достигают половозрелости [42].

У *P. westermani ishunensis* цикл развития несколько иной. Его первым промежуточным хозяином в Приморье являются моллюски рода *Parajuga*, вторыми – речные раки рода *Cambaroides* Faxon. Когда зараженного рака съедает хищник, то взрослые черви из его кишечника мигрируют в легкие, где и достигают половозрелости. Если же рак поедается крысой, кабаном или человеком либо любым другим нехищным млекопитающим, то личинки парагонимуса мигрируют в различные органы и ткани, образуя так называемую «мышечную личинку». По прошествии 42 сут от момента заражения поедание зараженного такими личинками сырого или недостаточно термически обработанного мяса другим нехищным млекопитающим, в том числе человеком, приводит к миграции мышечной личинки уже в легкие [3, 9].

Таким образом, у людей в Приморье наблюдаются две формы парагонимоза – личиночная и легочная, вызываемые разными стадиями развития паразита и имеющие разную этиологию.

Во второй половине 80-х годов XX в. в большинстве водоемов края произошло массовое вымирание раков, вторых промежуточных хозяев *P. westermani ishunensis*, из-за развившегося у них вирусного заболевания («рачье чумы»). Сохранились раки только в отдельных, чаще изолированных участках озер и рек. Это привело к разрыву жизненного цикла паразита в силу нарушения контакта между первыми и вторыми промежуточными хозяевами и соответственно к резкому снижению зараженности окончательных хозяев, включая человека. Однако здесь следует учитывать несколько моментов.

Во-первых, взрослые парагонимусы регулярно обнаруживаются у тигров, что предполагает наличие труднодоступных для людей очагов этого заболевания и возможность расширения этих очагов в водотоках Приморья при восстановлении численности раков, что происходит в последние годы, хотя и очень медленно. Во-вторых, возобновлению распространения легочных сосальщиков в Приморье может способствовать и сам человек (правда, это не доказано).

В последние годы у таможенников, служащих на пограничных переходах между Россией и Китаем, возникла интересная практика. Конфискованных у китайских граждан нелегально вывозимых за рубеж живых крабов стали отпускать в оз. Ханка. Не будем обсуждать экологические последствия для ханкайского бассейна такой «гуманности». Хотелось бы только отметить, что для большинства видов рода *Paragonimus* нет узкой привязки ко вторым промежуточным хозяевам (их роль часто выполняют десятиногие раки не только разных родов, но и различных семейств [22]). Такие действия могут способствовать восстановлению ранее разомкнутого жизненного цикла легочного сосальщика. Что касается собственно крабов, то они активно расселяются по притокам оз. Ханка. В частности, они были пойманы нами в среднем течении р. Илистая, более чем в 50 км от озера, т.е. явно далеко от места их выпуска в Ханку.

Что касается второго из обитающих на территории Приморья вида (*Paragonimus* sp.), то неизвестно, заражал ли он когда-либо людей. Сведения об обнаружении этого гельминта в крае ограничиваются только одним сообщением. А.В. Рыбаков [31] нашел партенит и церкарий данного сосальщика у одного из обследованных им моллюсков вида *Assiminea lutea* A. Adams на юге Приморья.

Остальные 18 из перечисленных в таблице видов трематод в Приморском крае у людей по разным причинам не фиксировались. К примеру, зона заражения трематодой *Fasciola hepatica* в крае ограничивается мелкими стоячими водоемами (болотами) вдоль осевого хребта Сихотэ-Алинь, где обитает основной промежуточный хозяин этого сосальщика – моллюск *Galba truncatula* (Müller). Людей там практически нет, а если кто-то и появляется в тех районах (например, охотники или рыбаки), то здесь надо учитывать тот факт, что в крае около 10 тыс. водотоков длиной более 1 км [15], и трудно представить себе человека, пьющего воду из болота, если рядом течет ручей с чистой водой.

Трематода *Centrocestus armatus* у вторых промежуточных хозяев (преимущественно карповых рыб) локализуется в основном в осевом скелете жабр, а жабры в пищу человеком практически не употребляются (косвенным доказательством этому является обнаружение *Echinochasmus japonicus*, также поселяющегося у рыб на жабрах, точнее – на жаберных лепестках). Возможно, данный вид все же встречается у человека в Приморье, но эпидемиологи обычно ставят предварительный диагноз по симптомам заболевания, а окончательный – по наличию яиц в кале. Симптомы гетерофиидных инвазий очень похожи, и яйца этих возбудителей практически не отличаются (во всяком случае при световом микроскопировании), поэтому не исключено, что центроцестоз, равно как и заражение другими представителями сем. Heterophyidae – *Cryptocotyle lingua*, *Stictodora lari* и *Heterophyopsis continua*, при диагностике путают с метагонимозом.

Источником заражения окончательных хозяев *Dicrocoelium lanceatum* являются муравьи, *Eurytrema pancreaticum* – кузнечики и сверчки, *Echinoparyphium recurvatum* и *Echinostoma paraulum* – пресноводные брюхоногие моллюски, *E. revolutum* – моллюски и бесхвостые амфибии, *Euparyphium melis* – амфибии, *Plagiorchis elegans* – личинки и имаго водных и околводных насекомых и мелкие ракообразные. Все эти объекты не входят в диету людей в Приморье (исключая разве что амфибий), поэтому перечисленные трематоды у них не регистрируются.

Трематоды *Bilharziella polonica* и *Trichobilharzia ocellata* половозрелости в органах у человека не достигают, но могут, внедряясь в кожу, вызывать так называемые церкариозы [10]. В местах проникновения церкарий на коже образуется сыпь, схожая с аллергическими дерматитами. Кроме зуда, иного вреда людям эти сосальщики не приносят. Люди с такими поражениями кожи в медучреждения обычно не обращаются или идут на прием к дерматологам, а не к инфекционистам. Естественно, в статистику гельминтозов эти церкариозы не включаются.

Окончательными хозяевами *Clinostomum complanatum* и *Diplostomum spathaceum* являются преимущественно рыбацкие птицы. У людей они приживаются очень плохо, и случаи заражения ими в мире единичны.

Среди перечисленных в таблице сосальщиков самый сложный, тетраксенный (со сменной четырех хозяев), жизненный цикл имеет *Isoparorchis hypselobagri*. В условиях Приморского края первыми промежуточными хозяевами этого червя выступают пресноводные переднежаберные гастроподы рода *Parajuga*, вторыми – амфиподы и веснянки, не входящие в диету людей в крае, третьими – в основном пресноводные не сомовые рыбы, питающиеся бентосом или опадом, окончательными – сомовые рыбы [4]. Не исключена возможность реинвазии: если зараженную изопарорхисом рыбу съедает хищная не сомовая рыба, червь у нее не погибает, а продолжает жить. Известны случаи заражения рыбацких рептилий, свиней и человека [23, 34, 54 и др.]. Крупные размеры личинок у третьего промежуточного хозяина делают заражение людей крайне маловероятным.

## Цестодозы

В Приморском крае выявлено 18 потенциально опасных для человека видов цестод, но заболевания, вызываемые девятью из них, на этой территории не отмечены.

Из цестодозов регистрируются дифиллоботриоз, гименолепидоз, эхинококкоз, тениоз и тениаринхоз.

Наиболее простой жизненный цикл имеет возбудитель гименолепидоза – цестода *Hymenolepis nana* (карликовый цепень). Для этого паразита один и тот же человек является и промежуточным, и окончательным хозяином. Личинки живут между кишечными ворсинками, а взрослые черви – в просвете кишечника. В некоторых случаях возможно включение в жизненный цикл промежуточных хозяев, в роли которых могут выступать блохи или мучные жуки. Заражение происходит фекально-оральным или контактным путем. Разносчиками яиц могут быть мухи и тараканы. В группу повышенного риска входят дети.

Симптомы гименолепидоза: изменение аппетита, в животе сильные боли до острого живота, в стуле кровь, слизь. Изжога, отрыжка, тошнота, рвота, нарушения со стороны ЦНС: головные боли, плаксивость, эпилептиморфные судороги.

Гименолепидоз регистрируется в большинстве районов края, но случаев заражения не много. В 1998–2018 гг. было зарегистрировано 111 случаев заболевания, из них 99 случаев у взрослых и 12 – у детей.

Схожие симптомы можно наблюдать при заражении другим представителем рода *Hymenolepis* – *H. diminuta* (крысиный цепень). Промежуточными хозяевами этого червя являются многоножки и насекомые, а окончательными – обычно грызуны. Исходя из этого, вероятность заражения людей, по крайней мере не питающихся насекомыми, крайне низка. Действительно, в мире известно не так много случаев заражения людей данной цестодой, и в основном это страны Юго-Восточной Азии, Индонезия и Антильские острова.

Промежуточными хозяевами (личинки локализуются в скелетной мускулатуре) бычьего (невооруженного) цепня *Taeniarhynchus saginatus* и свиного (вооруженного) цепня *Taenia solium* выступают соответственно коровы и свиньи. Поскольку физиологически организмы человека и свиньи близки, то человек также может быть промежуточным хозяином свиного цепня, что делает его для людей более патогенным, чем бычий цепень, несмотря на меньшие размеры (6 м против 10 м).

Поскольку на рынках в обязательном порядке проводится ветеринарный контроль продукции, предусматривающий проверку мяса на наличие личинок гельминтов, заразиться этими двумя видами червей можно либо от мяса животных, выращиваемых для собственного потребления, либо при употреблении в пищу свинины или говядины, купленных с рук (к сожалению, неконтролируемая практика продажи сельхозпродукции стала в нашей стране широко распространенным явлением). Это предполагает относительно невысокую зараженность людей данными гельминтами, что подтверждается статистическими данными. За последние 20 лет было зарегистрировано 27 случаев инфицирования тениозом и 21 случай – тениаринхозом.

Следует упомянуть, что бычьим цепнем люди заражаются не только при употреблении в пищу говядины. В Таиланде было разработано средство для похудения, состоящее из капсулы и таблетки. Предлагается сначала проглотить капсулу, а через полгода – таблетку. Эффект гарантируется. Однако стоит знать, что в капсуле содержится живая личинка (финна) *Taeniarhynchus saginatus*, а таблетка – это антигельминтик, который должен применяться из расчета на 1 кг массы больного. Легко представить, что предлагаемая доза антигельминтика может оказаться недостаточной или наоборот – избыточной для того или иного человека. Соответственно можно или не избавиться от паразита, или отравиться излишним количеством антигельминтика. Кроме того, большие размеры этого паразита приводят к растягиванию мышц живота у зараженного человека, а это уже никаким лекарством не исправить.

Некоторые виды цестод рода *Diphyllobothrium* (широкие лентецы) во взрослом состоянии достигают длины 20 м, являясь самыми крупными представителями этого класса плоских червей. Жизненный цикл представителей этого рода протекает по единой схеме и включает копепод как первых, рыб как вторых и птиц и млекопитающих как окончательных

хозяев. При этом видовая принадлежность вторых промежуточных хозяев и место локализации личинок в них часто может служить диагностическим признаком вида.

За последние 9 лет в Приморском крае установлено 62 случая дифиллоботриоза у людей, из них шестеро были дети. Только у половины больных наблюдалось отхождение фрагмента стробилы гельминта при дефекации. У остальных диагноз выявлялся при прохождении медицинской комиссии и копрологическом исследовании.

Долгое время считалось, что в Приморском крае у людей имеется только один вид широких лентецов – *D. latum* (L., 1758). Основным вторым промежуточным хозяином его являются щуки, а в их ареале – некоторые другие хищные рыбы. Мы обследовали более 100 экз. щук и ни в одной из них не нашли плероцеркоидов широкого лентеца. Судя по анамнезам, заражение людей происходило при питании сырой или недосоленной (малосольной) красной рыбой, ее икрой, а также недовяленной корюшкой. При этом плероцеркоиды у кеты, симы и горбуши обнаруживались не в полости тела (обычное место локализации личинок *D. latum*), а в мышцах (под кожей со спинной стороны за жировым плавником до начала хвостового стебля) и икре. Судя по всему, у лососей паразитируют как минимум два вида лентецов: в мышцах – *D. nihonkaiense*, а в икре – скорее всего *D. dendriticum*. Что касается личинок цестод из корюшек, поселяющихся в мышцах вдоль позвоночника, то их еще в 1953 г. описала Е.В. Белоус в своей кандидатской диссертации. Впоследствии она упомянула об этих червях в статье [2], но описания личинок не привела. Согласно Кодексу зоологической номенклатуры [25] описание какого-то вида в диссертации не является правоммерным, и данное Е.В. Белоус название этого гельминта *D. sobolevi* должно считаться *nomen nudum*.

Позднее в Японии у корюшек был выявлен и описан *D. hottai* [55]. Возможно, он встречается у этих рыб и в Приморье.

Помимо упомянутых выше трех видов в образцах взрослых цестод, полученных от человека, были найдены лентецы иного вида. По тотальным и гистологическим препаратам, изготовленным из этих червей, они были определены как *D. orcini* [18]. Жизненный цикл данного паразита неизвестен.

Кишечные цестодозы приводят к поражению слизистой кишечника в местах прикрепления червей и отравлению продуктами их жизнедеятельности. Кроме того, возникают авитаминозы по группе витаминов В.

Совсем иная картина наблюдается при заражении эхинококком *Echinococcus granulosus*. Его окончательными хозяевами являются псовые млекопитающие (собаки, волки, лисы и пр.), а промежуточными – копытные (коровы, овцы, свиньи) и человек. Яйца паразита (как и у бычьего и свиного цепней, а также широкого лентеца) выходят наружу как по отдельности, так и вместе с конечными члениками. Эти конечные членики эхинококка во внешней среде могут отползти от фекалий окончательного хозяина на 25 см, где разлагаются, оставляя яйца на траве или земле. Заражение промежуточных хозяев возможно при контактах с собаками (особенно бездомными) или при заглатывании яиц паразита вместе с травой.

Опасность заражения состоит в том, что в промежуточном хозяине финка приступает к бесполому размножению почкованием, разрастаясь в так называемый эхинококковый пузырь, который может достигать в весе нескольких килограммов. Такие пузыри могут образовываться в разных внутренних органах: на брыжейке, в почках, печени, мышцах, сердце, головном мозге и т.д. Медикаментозного лечения не существует. Пузырь удаляется только хирургически.

Эхинококкоз у людей в Приморье регистрируется регулярно, но не чаще 1–2 раза в год. Так, с 1998 по 2017 г. было установлено 28 случаев эхинококкоза. У большинства пациентов кисты обнаруживали в печени, реже – в легких. В одном случае эхинококковые пузыри были выявлены одновременно в почке и печени. Все пациенты были прооперированы. Еще один необычный случай был зафиксирован в г. Находка: диагноз «эхинококкоз» установлен при патологоанатомическом исследовании трупа больного, погибшего,

по официальной версии, от злокачественной опухоли легкого; рак легкого был диагностирован по клинико-рентгенологическим данным.

*Pyramicocephalus phocarum*, паразитирующий на стадии плероцеркоида у различных морских рыб, имеет в качестве облигатных дефинитивных хозяев морских млекопитающих. Промежуточными хозяевами *Ligula intestinalis* и *Schistocephalus solidus* выступают пресноводные рыбы, а окончательными – рыбаодные птицы. Человек для этих трех видов является случайным хозяином.

Источником заражения *Hymenolepis diminuta* окончательных хозяев, как отмечалось выше, являются многоножки и насекомые, *Dipylidium caninum* – власоеды, *Microsomacanthus microsoma* – копеподы, *Mesocostoides lineatus* – членистоногие-копрофаги, мелкие рептилии, птицы, грызуны, *Hydatigera taeniae formis* – грызуны. Все эти животные в диету людей в Приморье не входят, потому и риск заражения переносимыми ими червями минимален.

## Нематодозы

Отмечено 33 вида нематод, которые могут жить у человека, но далеко не все из них встречаются у людей в Приморском крае.

Наиболее часто здесь наблюдается энтеробиоз («болезнь грязных рук»), вызываемый нематодой *Enterobius vermicularis* (острицы). На долю этого гельминтоза приходится более 47 % инвазионных заболеваний людей в регионе.

Цикл развития острицы прямой, без смены хозяев. Заражение происходит при контакте с человеком, у которого яйцами паразита загрязнены руки. Возможно и самозаражение.

Мелкие размеры (у самок – до 0,5 см, самцы еще мельче) и локализация (в толстой и прямой кишках) являются причинами того, что паразит внутри хозяина каких-либо серьезных патологий не вызывает. Однако самки при откладке яиц выставляются в анальное отверстие зараженного человека, вызывая зуд. Расчесывание околоанальной области может привести к воспалениям.

В группу повышенного риска по энтеробиозу входят дети и взрослые, не соблюдающие мер личной гигиены.

Другой нематодоз – аскаридоз – также широко распространен в Приморье. На долю энтеробиоза и аскаридоза в сумме приходится около 97 % инвазионных заболеваний людей в регионе [19].

Возбудителями аскаридоза являются человеческая (*Ascaris lumbricoides*) и свиная (*A. suum*) аскариды. Место окончательной локализации этих одних из самых крупных нематод (самки человеческой аскариды могут достигать в длину 30, а свиной – 60 см), встречающихся у людей, – начальный отдел тонкого кишечника. Цикл их развития прямой (свиная аскарида у людей не достигает половозрелости), но в организме человека они совершают очень сложную миграцию: тонкий кишечник → кровь → легкие → бронхи → трахея → носоглотка → пищевод → желудок → тонкий кишечник. Соответственно выделяют две формы аскаридоза – кишечную и легочную (личиночную). Источником заражения являются немытые овощи и фрукты, а также некипяченая вода из водоемов.

По числу заболевших аскаридозом из расчета на 100 тыс. населения Приморье входит в тройку лидеров в Российской Федерации. Минимальные показатели зараженности за последние 20 лет здесь были в 3 раза выше максимальных по России. Следует учитывать, что интенсивность заражения аскаридами обычно невысокая и каких-либо специфических симптомов при этом нет. Диагноз «аскаридоз» ставится по нахождению яиц в фекалиях. При этом не выявляются случаи заражения только самцами человеческой аскариды или свиной аскаридой. К тому же даже подобного рода обследования проводятся в стационарах при госпитализации по поводу иных заболеваний, а регулярный медосмотр проходят далеко не все группы населения. Это дает основание предполагать,

что реальные показатели зараженности людей аскаридами в крае гораздо выше официальных.

Отсутствие специфичной симптоматики в полной мере относится и к анизакидозу («сельдевой болезни»), поэтому первый случай этого заболевания в Приморье был зарегистрирован только в 1989 г. [37]. Возбудителями анизакидоза могут быть несколько видов нематод семейства *Anisakidae* Railliet et Henry, 1912, но у людей в Приморье пока отмечался только один вид – *Anisakis simplex*. Жизненный цикл его включает смену промежуточного (самые разные морские беспозвоночные), резервуарного (любые морские рыбы и кальмары, питающиеся этими беспозвоночными) и окончательного (ластоногие и китообразные) хозяев. У человека этот паразит половозрелости не достигает, оставаясь на той же стадии развития (личинка 3-й стадии), что и у резервуарных хозяев, но может жить до полугода. При этом ферменты человека оказывают на нематоду лизирующее воздействие, и у нее возникает «реакция бегства». Червь внедряется в слизистую желудка или кишечника (в зависимости от места локализации) и при поселении в кишечнике может образовывать опухоли. Иногда он проникает через стенки ЖКТ в брюшную полость. Образуются точечные язвы, через которые содержимое кишечника может попасть в брюшную полость и вызвать перитонит. В любом случае заражение анизакисом вызывает острые боли в брюшной полости. Первичный диагноз обычно ставится неправильно: предполагается острое отравление, язвенные патологии, гастрит, холецистит, приступ аппендицита и т.п. [49].

В зависимости от локализации выделяют две формы анизакидоза – желудочную и кишечную. Последняя имеет более тяжелые последствия и может перейти в хроническую форму. Обитающих в желудке нематод можно увидеть при ФГДС, куда больных направляют для исключения язвенной патологии. Тогда червя просто извлекают щипцами, не применяя никаких медикаментозных препаратов.

Основным источником заражения людей анизакисом в Приморье до запрета лицензионного любительского лова была сельдь, а в последние годы – кета. Известны случаи заражения при питании симой, горбушей, анчоусом, терпугом. Как правило, в пищу использовалась сырая рыба или приготовленная в домашних условиях холодным способом. Однако не исключается возможность заражения рыбой, обработанной холодным способом на малых предприятиях, где санитарные нормы не соблюдаются в должной мере. Так, летом 1999 г. во Владивостоке резко возросло число пациентов в инфекционном отделении ГУЗ ККБ № 2 («больница рыбаков») с диагнозом пищевого отравления. В анамнезах причиной отравления чаще всего указывалась соленая или копченая рыба, купленная в магазинах. Мы просмотрели 17 экз. «сельди охотоморской малосоленой холодного копчения» (так указывалось на ценнике). В 11 рыбах были найдены живые анизакисы (когда эти черви гибнут, то становятся неподвижными и непрозрачно-блестящими).

Пики заболевания в последние 15–20 лет совпадают с нерестовой миграцией кеты (сентябрь–ноябрь). В группу повышенного риска входят браконьеры, работники рыбоохраны и полиции [17, 39].

По официальной статистике в Приморском крае за последние 20 лет зарегистрировано 25 случаев анизакидоза, причем в основном желудочной формы. В одном случае при кишечной форме заболевания, осложненного перфорацией кишечника, был зарегистрирован летальный исход. Нами описана хроническая форма анизакидоза, случайно обнаруженная во время хирургического вмешательства по поводу миомы матки [30].

Прямой цикл развития (без смены промежуточных хозяев) имеют представители рода *Toxocara* – *T. canis* и *T. cati*. Окончательными хозяевами их являются соответственно псовые и кошачьи млекопитающие (в условиях населенных пунктов – собаки и кошки). В их организмах из попавших туда яиц выходят личинки, которые с током крови совершают миграцию по телу, заново проникают в кишечник, где и достигают половозрелости.

У людей эти паразиты также мигрируют, попадая с кровью в различные органы, но *T. canis* назад в кишечник не возвращается и взрослой стадии не достигает. Черви этого вида инкапсулируются в различных органах, где долгое время сохраняют жизнеспособность, приводят к личиночной форме токсокароза. Вызывающие имагинальную форму кошачьи токсокары у людей, как и у кошек, достигают половозрелости в кишечнике.

Заражение людей происходит при проглатывании яиц токсокар с пищей и водой, загрязненными испражнениями собак и кошек, при контакте с загрязненным грунтом и зараженными животными.

Различают висцеральную и глазную формы токсокароза. У детей и взрослых наиболее часто наблюдается висцеральная форма с преимущественным поражением легких и печени. Поражения легких проявляются симптомами бронхита с астматическим компонентом, редко развиваются эозинофильные пневмонии. Поражение печени сопровождается болями в правом подреберье и ее увеличением. У некоторых больных наблюдаются симптомы гастроэнтерита. Висцеральный токсокароз проявляется субфебрилитетом, уртикарными высыпаниями на коже, эозинофилией, повышением СОЭ. При глазной форме понижается острота с выпадением части зрения, развивается односторонняя слепота [24].

Ведущая роль в диагностике токсокароза принадлежит иммуноферментному анализу (ИФА). Диагноз глазного токсокароза в основном устанавливают ретроспективно при гистологическом исследовании удаленных гранулем. Серологические методы малоинформативны.

Ситуация с токсокарозом более напряженная в крупных населенных пунктах, причем наблюдается тенденция к увеличению числа заболевших. В городах и больших поселках всегда имеется большое количество детских площадок с открытыми песочницами, которые кошки используют в качестве туалетов. Нами в 2016 г. во всех районах Владивостока было взято 60 проб песка из таких песочниц. 18 из них содержали яйца гельминтов, в том числе присутствовали яйца токсокар [46]. В 2 пробах песка были найдены яйца *Toxascaris leonina*. Это также геогельминт, окончательными хозяевами которого являются псовые и кошачьи млекопитающие, редко – человек. В Приморье эта нематода у людей пока не обнаруживалась.

60-й Союзной гельминтологической экспедицией в Приморском крае у людей было найдено 2 вида гельминтов с прямым жизненным циклом – *Necator americanus* и *Ancylostoma duodenale* [33]. В сентябре 2016 г. *Larva migrans* была зарегистрирована у охотника, который в течение двух недель находился в Пограничном районе. На обеих голених были извилистые линейные поражения кожных покровов, возникшие в результате перемещения гельминтов. В страны с жарким климатом из Приморского края последние три года он не выезжал. Поэтому следует не терять эпидемиологическую настороженность в отношении редких гельминтозов с локализацией в коже и помнить, что они встречаются и на территории юга Дальнего Востока.

Не совсем понятна ситуация с трихостронгилезом. В крае у копытных млекопитающих отмечено три вида червей, способных вызывать это заболевание у людей – *Trichostrongylus colubriformis*, *T. axei* и *T. vitrinus*. Эти гельминты имеют прямой жизненный цикл. Заражение происходит при проглатывании яиц паразитов [36]. Заболевание чаще протекает бессимптомно. При большом количестве червей наблюдаются слабость, недомогание, головные боли, боли в животе, тошнота, расстройство стула, иногда – признаки желчной колики, гипохромная анемия, эозинофилия, редко – резкий эозинофильный лейкоцитоз [28]. П.Г. Ошмарин [27] со ссылкой на более ранние исследования других авторов указывает, что трихостронгилиды встречаются на Дальнем Востоке в среднем у 0,5 % населения (диагностика производилась по обнаружению яиц этих гельминтов, поэтому видовая принадлежность их не установлена). Однако в доступных нам статистических сводках (с 1995 г.) трихостронгилиды у людей не указываются вообще.

К геогельминтам относится и возбудитель трихоцефалеза – власоглав *Trichuris trichiura*. Этот паразит тяготеет к тропикам и субтропикам, но встречается и в Российской

Федерации, в т.ч. в Приморье. Взрослые черви паразитируют в слепой и ободочной кишках, внедряясь узким передним концом в слизистую кишечника. Питаются они кровью, в связи с чем использование антигельминтиков, как правило, не дает положительного результата.

Клинические проявления трихоцефалеза при небольшой интенсивности инвазии не отмечаются. При сильном заражении возможны боль в животе, потеря аппетита и понос с примесью слизи или крови, что напоминает неспецифический язвенный колит и болезнь Крона. У недоедающих и страдающих хроническим поносом детей тяжелый трихоцефалез может привести к выпадению прямой кишки. Среднетяжелая инвазия может осложниться задержкой роста [13].

Пик заболеваемости трихоцефалезом в Приморье пришелся на 1995 г. (71 случай), причем наибольшее число больных было выявлено в Арсеньеве и Владивостоке. В дальнейшем отмечена тенденция к снижению числа заболевших.

Возбудителем стронгилоидоза является кишечная угрица *Strongyloides stercoralis*, имеющая космополитичное распространение. Развитие ее происходит без смены промежуточного и окончательного хозяев, но со сменой паразитического и свободноживущего поколений. Хозяином кроме человека могут быть млекопитающие разной систематической принадлежности (правильность видовой идентификации у некоторых из них вызывает сомнение) [32]. Заражение этим паразитом происходит через кожу, слизистую пищевода и ротовой полости. Оттуда личинки проникают в кровеносное русло и лимфатические сосуды и со стоком жидкостей заносятся в легкие, откуда передвигаются по альвеолам и бронхам в трахею, носоглотку и далее в пищевод, желудок, двенадцатиперстную и тонкую кишки. Дифференциация полов происходит во время миграции, а оплодотворение – в основном в легких и трахее. В кишечнике самки внедряются в слизистую, а самцы погибают.

Из отложенных самками яиц выходят рабдитовидные личинки, судьба которых различна. Если они задерживаются в кишечнике на срок более 24 ч, то превращаются в филяриевидные личинки, способные внедряться в слизистую кишечника или кожу перианальной области. Путь миграции личинок при аутоинвазии несколько иной, чем при перкутанном заражении, и возможен в трех вариантах: лимфатические сосуды→воздухоносные пути→глотка→пищевод→желудок→кишечник; капилляры кишечника→печень; брюшная полость→печень→кровь (иногда диафрагма, грудная полость или плевра)→легкие.

Вышедшие во внешнюю среду рабдитовидные личинки могут расти в фекалиях или почве, линяя, превращаясь в инвазионные филяриевидные личинки или свободноживущее (сапрофитное) поколение. Оплодотворение тогда происходит во внешней среде. Из яиц выходят рабдитовидные личинки, дающие начало следующему свободноживущему поколению. При неблагоприятных условиях рабдитовидные личинки свободноживущей генерации превращаются в инвазионные филяриевидные [20].

Угрицы отмечаются в Приморье повсеместно, но случаев заражения людей немного. В 2017 г. мы наблюдали случай завозного стронгилоидоза из Вьетнама, осложненного подпеченочным инфильтратом в брюшной полости диаметром 20 см. От оперативного вмешательства спасла терапия ивермектином повторными курсами.

Укороченный жизненный цикл характерен для нематод рода *Trichinella*. Один и тот же организм для них является и промежуточным, и окончательным хозяином. Заражение происходит при питании недостаточно термически обработанным мясом, содержащим личинки трихинелл. В тонком кишечнике личинки линяют, превращаясь во взрослых червей. Здесь же происходит оплодотворение и откладка яиц самками. Яйца во внешнюю среду не выходят. Из них сразу же вылупляются личинки, которые внедряются в слизистую кишечника и далее в кровеносное русло. Током крови личинки заносятся в скелетные мышцы, где начинают мигрировать в них (предпочтение отдается жевательным и подязычным мышцам, а также диафрагме) и инкапсулируются.

При естественном заражении трихинеллез (другое название болезни – «одутловатка») проявляется лихорадкой длительностью до 3 недель, болями в мышцах (преимущественно икроножных), отеками на лице и конечностях, полиморфной сыпью, болями в животе с гастроэнтеритом, выраженной эозинофилией, лейкоцитозом, иногда развитием осложнений. По мере завершения миграции личинок воспалительные процессы и острые проявления трихинеллеза стихают и уменьшаются. Отдельные проявления этого заболевания могут сохраняться еще некоторое время, но потом постепенно исчезают. Инкапсулированные в мышцах личинки могут сохранять жизнеспособность десятилетиями [11].

Хозяевами разных видов трихинелл могут быть мясоедающие позвоночные, в основном млекопитающие, но для некоторых видов – еще и птицы и крокодилы [11, 14, 45, 51 и др.]. У каждого из видов этого рода, несмотря на достаточно широкую специфичность, есть определенные предпочтения тех или иных хозяев.

Приморье является частью нативного ареала *T. nativa*. Этот паразит предпочитает жить у хищных млекопитающих, хотя может приживаться у крыс, человека и очень недолго у диких кабанов и домашних свиней. Источником заражения людей служат в основном медведи, особенно бурые, зараженные на севере края трихинеллами практически на 100 % [11]. Были случаи трихинеллеза, когда источником инвазии послужила бездомная собака.

По сообщению В.А. Бритова, в последние десятилетия в Приморском крае получила распространение *T. spiralis*, завезенная из Европы вместе с племенными свиньями. Этот вид как раз предпочитает крыс, свиней и человека, но на юге Дальнего Востока он обнаруживается сравнительно редко.

Считается, что еще один вид трихинелл – *T. pseudospiralis* Garkavi, 1972, не образующий капсул в мышцах и заражающий как млекопитающих (включая человека [41, 44]), так и птиц, является теплолюбивым и тяготеет в основном к тропикам и субтропикам. Однако этот паразит был отмечен у серых крыс *Rattus norvegicus* (Bercehouth) на Камчатке [45]. Хотя о нахождении его в Приморье не сообщается, мы не исключаем возможности его заноса, например, с перелетными или кочевыми птицами.

Исходя из сказанного, логичным было бы предположить, что основным возбудителем трихинеллеза в крае является *T. nativa*, а главным источником заражения ею – недостаточно термически обработанная медвежатина. Соответственно случаев трихинеллеза в регионе должно быть немного, и распространение этой болезни должно ограничиваться в основном группой охотников и членов их семей. Однако это расходится с реальным положением дел. В инфекционные отделения больниц обращались по поводу трихинеллеза люди, никак не связанные с охотниками и никогда не употреблявшие в пищу мяса диких животных. Причиной трихинеллеза у них была так называемая вакцина Бритова. В.А. Бритов, основываясь на результатах опытов зарубежных ученых с мышами по блокаде развития нескольких видов рака при заражении их трихинеллами [50], начал «лечить» различные аутоиммунные заболевания (в основном рак, но также СПИД, бесплодие и т.п.), заражая людей трихинеллами. Всего на рубеже веков доктор ветеринарных наук В.А. Бритов заразил трихинеллами, по его собственному признанию [12], более 2 тыс. человек. Давать здесь какую-либо оценку подобному «лечению» мы считаем излишним.

Клиническая картина трихинеллеза при самозаражении, в отличие от естественного инфицирования, отличалась более коротким инкубационным периодом, острым началом, чаще с проявлением выраженного абдоминального синдрома, умеренно выраженной и непродолжительной лихорадкой, ограниченностью распространения отеков, локализацией ангиомиозитов преимущественно в икроножных мышцах, более редким развитием экзантемы, частыми осложнениями и тяжелым течением на фоне сопутствующей патологии, а при обследовании – относительно невысоким уровнем эозинофилии [29].

Нематоды рода *Dirofilaria* Raillietet Henry, 1911 являются паразитами ряда отрядов млекопитающих. Они распространены повсеместно, регистрируются на всех материках, кроме Антарктиды [38]. Приморский край – часть ареала трех видов нематод этого рода: *D. ursi* Yamaguti, 1941, *D. immitis* и *D. repens*. Первый из них отмечен в подкожной

клетчатке бурого медведя *Ursus arctos* L. и тигра *Panthera tigris* L., обитающих на восточном склоне Сихотэ-Алиня [1], второй обнаружен нами в сердце собак *Canis familiaris* L. в различных районах края. Известны случаи выявления в подкожной клетчатке человека, однако на территории края этот паразит у людей не отмечался. *D. repens* установлен в подкожной клетчатке собак и лисиц *Vulpes vulpes* L., а также у людей [1].

Дирофиляриоз относится к заболеваниям с трансмиссионным путем передачи. Основными промежуточными хозяевами всех трех видов являются комары родов *Anopheles* Meigen, *Aedes* Meigen и *Culex* L., представленные в Приморье рядом видов, встречающихся практически повсеместно. В эксперименте прослеживалось развитие этих червей в других кровососущих членистоногих – иксодовых клещах, слепнях и москитах. Заражение окончательных хозяев происходит при укусе их комарами, несущими инвазионные личинки нематод. С током крови личинки достигают места окончательной локализации (для *D. repens* это подкожная клетчатка) и после наступления половозрелости приступают к воспроизводству. Личинки-микрофилярии попадают в кровь и при укусе зараженного млекопитающего промежуточным хозяином (комаром) инвазируют последнего. Миграция личинок в теле комаров происходит сначала из кишечника в мальпигиевы сосуды, а оттуда после достижения нематодами инвазионной стадии – в голову и ротовые органы.

Паразиты у людей не достигают половозрелости (человек является для *D. repens* факультативным хозяином), хотя остаются живыми длительное время, достигая длины 10–12 см. У людей эти черви локализуются в подкожной клетчатке.

Случаев заражения людей *D. immitis* на территории Приморья, как уже отмечалось, не выявлено, а дирофиляриоз, вызываемый *D. repens*, регистрируется редко. Здесь имеется противоречие. Комары пьют кровь и у собак, и у людей. Если в последние годы дирофиляриоз собак приобрел массовый характер (только нами у этих животных паразиты были найдены во Владивостоке и пригороде, в поселках Угольная, Угловое, Надеждинское, Пограничный, в г. Уссурийск), то в перечисленных населенных пунктах отмечались лишь единичные случаи заражения людей. Между тем в Европе подобного несоответствия не наблюдается. Возможно, в Приморье обитают иные расы этих паразитов или вообще иные виды, которые меньше приживаются или вовсе не приживаются у людей. Причиной единичных случаев дирофиляриоза людей в Приморье следует считать завозимых из Европы инвазированных дирофиляриями собак, от которых паразиты через комаров передаются людям. Для понимания причин описанного несоответствия необходимы дополнительные исследования.

Самой крупной нематодой, встречающейся у людей, является свайник-великан *Diocotophyma renale*. Источником заражения этим паразитом могут быть копеподы (промежуточные) или пресноводные рыбы (резервуарные хозяева). У окончательных хозяев личинки червя мигрируют через стенку двенадцатиперстной кишки сначала в печень, а оттуда – в правую почку, где и достигают половозрелости. Самки достигают в длину 1 м, самцы – 15 см [21].

Миграция паразита через стенку кишечника сопровождается резкими болями в брюшной полости, а через печень – развитием механической желтухи. В почках паразиты живут до года и полностью разрушают ее мозговое вещество.

Основными окончательными хозяевами диоктофимы являются волки. Соответственно в Приморье зона заражения людей должна совпадать с их ареалом – это в основном бассейн Усури [16].

За все время проведения на Дальнем Востоке паразитологических исследований свайник-великан у людей отмечался только однажды, в конце 20-х годов XX в. [33].

Остальные перечисленные в таблице виды нематод у людей в Приморском крае не обнаружены.

К трансмиссивным гельминтозам относятся сетариоз и телязиоз. Возбудителем сетариоза является *Setaria equina* – паразит лошадей. У последних взрослые черви поселяются в брюшной полости и мозгу. Промежуточные хозяева – комары родов *Aedes* и *Culex*.

У человека нематода локализуется в глазу и половозрелости не достигает. Случаи сета-риоза зарегистрированы в Европе, Азии, Северной и Южной Америке [47]. Ареал *Thelazia callipaeda* включает Южную и Восточную Азию и Европу. Промежуточными хозяевами ее являются мухи, а окончательными – человек и хищные млекопитающие (в эксперименте – еще обезьяны и кролики). Взрослые нематоды поселяются в слезном аппарате глаза [35].

Лечение как сета-риоза, так и телязиоза у людей сводится к хирургическому удалению червей.

Промежуточными хозяевами нематод рода *Gnathostoma* являются копеподы, резервуарными для *G. spinigerum* – рыбы и амфибии, а для *G. hispidum* – еще и рептилии и млекопитающие. Заражение людей может произойти при проглатывании зараженных копепод, а также при питании недостаточно термически обработанными резервуарными хозяевами. Половозрелости у людей эти гельминты не достигают.

Помимо перечисленных выше к геогельминтам относятся *Aspiculuris tetraptera*, *Syphacaea obvelata*, *Uncinaria stenocephala*, *Haemonchus contortus*, *Teladorsagia circumcincta*.

В дождевых червях в качестве промежуточных хозяев встречается *Metastrongylus elongatus*, что предполагает минимальные шансы заражения людей этой нематодой.

### Акантоцефалезы

Возбудителями акантоцефалезов людей могут быть два вида скребней – *Corynosoma strumosum* и *Macracanthorhynchus hirudinaceus*. Первый из них во взрослом состоянии паразитирует у тюленей. Его промежуточными хозяевами выступают морские ракообразные, резервуарными – рыбы. Люди могут заразиться при проглатывании инвазированных рачков [48]. Окончательными хозяевами *M. hirudinaceus* являются свиньи, а промежуточными – личинки жуков. Люди могут заразиться при питании последними [48]. Данные виды скребней у людей на территории Приморья не зарегистрированы.

### Санитарно-эпидемиологическая обстановка в Приморском крае

Рост миграционных потоков приводит к увеличению числа заносов возбудителей гельминтов, не обитающих в крае. Наиболее часто (по официальным данным) из введенных заболеваний регистрируется описторхоз, вызываемый кошачьей двуусткой *Opisthorchis felineus*. Этот паразит имеет сходный с китайской двуусткой жизненный цикл (у этих видов только первые промежуточные хозяева разные) и вызывает у людей сходные с клонорхозом симптомы заболевания. В связи с этим эти два гельминтоза при постановке первичного диагноза обычно путают.

Из других трематодозов дважды в Приморье регистрировался шистозомоз (в середине 90-х годов XX в.). Вид возбудителя, являющегося кровепаразитом, точно установлен не был.

По официальной статистике, в Приморье в 2004 г. было установлено 8839 случаев паразитарных заболеваний с 18 нозологическими формами, в то время как в 2016 г. – 4616 случаев с 11 видами гельминтозов. Это составило 7,7 % всех инфекционных заболеваний без учета гриппа и острых респираторных вирусных инфекций. В структуре паразитарных заболеваний 60,5 % приходилось на геогельминтозы, 37,4 % – на контактные инвазии, 2,1 % – на биогельминтозы. За период с 2014 по 2016 г. был проведен санитарно-эпидемиологический мониторинг почвы. Исследовано 6268 проб на территории Приморского края, из них в 114 (2,3 %) обнаружены яйца гельминтов. Список выявленных паразитарных возбудителей включал яйца токсокар (81,5 %), аскарид (11,1 %), власоглава (3,7 %) и прочих (3,7 %). Кроме того, за последние 3 года изучено 49 203 пробы (смыва) с объектов окружающей среды (в детских садах, школах, лечебных учреждениях), из них 11 проб

(0,02 %) не отвечали гигиеническим требованиям, что свидетельствовало о нарушении санитарно-эпидемиологического режима в учреждениях. Из 2042 проб плодоовощной продукции и зелени в одном случае (0,05 %) выявлено несоответствие гигиеническим требованиям: в пробе репчатого лука (импортируемая продукция) были обнаружены яйца токсокар.

### **Лечение гельминтозов**

Специфические химиопрепараты, применяемые для лечения гельминтозов, чрезвычайно разнообразны по химической структуре, механизмам и избирательности действия в отношении различных гельминтов, степени эффективности и токсичности для человека. Выбор препарата, его дозировки и схемы использования зависят от принадлежности гельминта к конкретному классу и степени инвазии: чем выше уровень инвазии, тем длиннее курс лечения.

При трематодозах и цестодозах используют празиквантел (белтрицид). В небольших дозах этот антигельминтик вызывает спазмы мышц у глистов с последующим их параличом, что ведет к гибели паразита. При более высокой концентрации препарат повреждает наружный покров плоских червей, в результате чего они быстро гибнут. Курс лечения и доза зависят от вида глистов, и поэтому лекарственное средство назначается врачом.

При эхинококкозе основным считается хирургическое удаление кисты с последующим длительным приемом альбендозола с целью профилактики рецидива.

При нематодозах используют альбендозол, мебендозол, левамизол, пирантел, тиабендозол. Препараты относятся к противопаразитарным средствам широкого спектра действия. Механизм действия антигельминтных препаратов основан на подавлении активности различных ферментов или блокировании синтеза белка паразита, что приводит к неизбежной гибели гельминтов. Применение препаратов часто сопровождается многочисленными побочными реакциями различной степени выраженности. Наиболее часто возникают диспептические явления, реже реакции со стороны центральной нервной системы и аллергические проявления вследствие гибели и распада гельминтов.

Мероприятия по борьбе и профилактике гельминтозов направлены на уничтожение возбудителя в хозяине или во внешней среде или нейтрализацию основных факторов передачи инвазии. В основном уничтожение возбудителя проводят лечением инвазированных людей. Появление эффективных и нетоксичных антигельминтиков нового поколения позволяет реально решать задачу резкого снижения заболеваемости кишечными гельминтозами. Важную роль играют меры, направленные на выключение промежуточных и конечных факторов передачи инвазии. Среди них особое значение имеет защита окружающей среды от фекального загрязнения (строительство очистных сооружений, контроль за состоянием надворных туалетов, запрещение применения необезвреженных фекалий в качестве удобрений и др.).

При профилактике биогельминтозов большое значение имеют мероприятия по уничтожению промежуточных хозяев гельминтов (моллюсков, насекомых и др.) и геогельминтозов (уничтожение яиц и личинок гельминтов, находящихся во внешней среде). Следует учитывать и другие факторы, имеющие большое значение: контроль качества продуктов животного происхождения, являющихся средой обитания ряда биогельминтозов, а также овощей, зелени, воды, подверженных случайному загрязнению яйцами и личинками геогельминтов. При этом определяющее значение в борьбе с гельминтозами имеет уровень жизни и культуры населения. Проведение медицинских мероприятий без серьезного изменения условий жизни, привычек и культурного уровня населения дает лишь кратковременный эффект.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барткова А.Д., Полякова Л.Ф., Ермоленко А.В. Дирофиляриоз людей в Приморском крае // Мед. паразитол. и паразитар. болезни. 2011. № 1. С. 47–48.
2. Белоус Е.В. Рыбы и земноводные Приморья как дополнительные и резервуарные хозяева гельминтов // Паразиты животных и растений Дальнего Востока. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1971. С. 3–14.
3. Беспрозванных В.В. Биология *Paragonimus westermani ichunensis* в условиях Приморского края. Экспериментальные исследования // Мед. паразитол. и паразитар. болезни. 1994. № 4. С. 28–32.
4. Беспрозванных В.В., Ермоленко А.В. Жизненный цикл *Isoparorchis hypselobagri* (Billet, 1898) (Trematoda: Heterophyidae) – паразита сомовых рыб // Зоол. журн. 1989. Т. 68, № 1. С. 136–139.
5. Беспрозванных В.В., Ермоленко А.В., Румянцева Е.Е., Воронок В.М., Барткова А.Д. Клонорхис (*Clonorchis sinensis*) и клонорхоз в Приморском крае. Владивосток: Дальнаука, 2013. 82 с.
6. Беспрозванных В.В., Ермоленко А.В., Дворядкин В.А. К обнаружению *Metagonimus katsuradai* Isumi, 1935 (Trematoda: Heterophyidae) в южном Приморье // Гельминты и вызываемые ими заболевания. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. С. 47–52.
7. Беспрозванных В.В., Ермоленко А.В., Румянцева Е.Е., Маслов Д.В., Воронок В.М., Татонина Ю.В. Нозоареалы клонорхоза в Приморском крае // Мед. паразитол. и паразитар. болезни. 2012. № 2. С. 7–14.
8. Беспрозванных В.В., Ермоленко А.В. Природноочаговые гельминтозы человека в Приморском крае. Владивосток: Дальнаука, 2005. 120 с.
9. Беспрозванных В.В. Развитие *Paragonimus westermani ichunensis* в резервуарном хозяине // Паразитология. 2002. Т. 36, вып. 5. С. 427–430.
10. Беэр С.А., Воронин М.В. Церкариозы в урбанизированных системах. М.: Наука, 2007. 240 с.
11. Бритов В.А. Возбудители трихинеллеза. М.: Наука, 1982. 270 с.
12. Бритов В.А., Нивин Е.А. Трихинеллы против иммунодефицита и рака. Владивосток; Усурийск, 2002. 80 с.
13. Бронштейн А.М., Токмалаев А.К. Паразитарные болезни человека: протозоозы и гельминтозы. М.: Изд-во РУДН, 2002. С. 104–106.
14. Гаркави Б.Л. Состав потенциальных хозяев *Trichinella pseudospiralis* // Паразитология. 1974. Т. 8, вып. 6. С. 489–493.
15. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики. Л.: Гидрометеиздат, 1978. Т. 18, вып. 3. 211 с.
16. Дворядкин В.А., Юдин В.Г. Трематоды диких плотоядных (сем. Canidae) юга Дальнего Востока СССР, пути их распространения и формирования фауны // Экология и зоогеография некоторых позвоночных суши Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. С. 102–110.
17. Добряков Е.Ю., Ермоленко А.В. К вопросу о распространении анизакидоза человека в Приморском крае // Мед. паразитол. и паразитар. болезни. 2008. № 4. С. 11–14.
18. Дубова А.В., Шедько М.Б., Барткова А.Д. Новый возбудитель дифиллоботриоза человека в Приморском крае // Актуальные проблемы экологии, морской биологии и биотехнологии: материалы XI регион. конф. студентов, аспирантов вузов и научных организаций Дальнего Востока России. Владивосток: ДВГУ, 2012. С. 73–75.
19. Ермоленко А.В., Барткова А.Д., Румянцева Е.Е., Воронок В.М., Захарова Г.А., Беспрозванных В.В. Аскаридоз людей в Приморском крае // Вестн. ДВО РАН. 2015. № 5. С. 114–118.
20. Каминский Ю.В., Иванис В.А., Попов А.Ф., Петухова С.А. Паразитозы Приморского края. Владивосток: Медицина ДВ, 2005. 160 с.
21. Карманова Е.М. Дикрофимидеи животных и человека и вызываемые ими заболевания // Основы нематодологии. Т. 20. М.: Наука, 1968. 263 с.
22. Курочкин Ю.В. Трематоды фауны СССР. Парагонимиды. М.: Наука, 1987. 151 с.
23. Ле Н.Т., Нго Х.З., Ермоленко А.В. Трематоды наземных позвоночных Вьетнама. Владивосток: Дальнаука, 2013. 165 с.
24. Лысенко А.Я., Константинова Т.Н., Авдюхина Т.И. Токсокароз. М.: РМАПО, 1999. 19 с.
25. Международный кодекс зоологической номенклатуры. 4-е изд. СПб.: Изд-во ЗИН РАН, 1999. 221 с.
26. Мишаков Н.Е. Нанофитоз человека в Приморском крае: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 1970. 19 с.
27. Ошмарин П.Г. Возбудители гельминтозоонозов и гельминтоферодомозов в Приморском крае // Паразитические черви животных Приморья и Тихого океана. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 45–63.
28. Паразитарные болезни человека / ред. В.П. Сергиев, Ю.В. Лобзин, С.С. Козлов. М.: Фолиант, 2006. 580 с.
29. Попов А.Ф., Петухова С.А., Симакова А.И. Клинические особенности трихинеллеза в Приморском крае // Инфекционные болезни. Новости. Мнения. Обучение. 2016. № 4. С. 80–84.
30. Попов А.Ф., Калинин О.Б., Коваленко Л.В., Симакова А.И., Петухова С.А., Хронический анизакидоз как хирургическая находка // Мед. паразитол. и паразитар. болезни. 2016. № 3. С. 57–59.
31. Рыбаков А.В. Гельминтофауна *Assiminea lutea* A. Adams (Gastropoda: Assimineidae) в заливе Петра Великого Японского моря // Паразиты животных и растений. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 77–85.
32. Скрыбин К.И., Шихобалова Н.П., Соболев А.А., Парамонов А.А., Судариков В.Е. Камалланаты, рабдитаты, тилленхаты, трихоцефалыги, диоктофиматы и распределение паразитических нематод по хозяевам // Определитель паразитических нематод. Т. 4. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 927 с.

33. Скрябин К.И., Подъяпольская В.П., Шульц Р.С. Краткий отчет о деятельности 60-й Союзной гельминтологической экспедиции в Дальневосточный край // Рус. журн. тропич. медицины и вет. паразитол. 1929. Т. 7, № 2. С. 113–130.
34. Скрябин К.И., Гушанская Л.Х. Подотряд Nemiurata (Markevitsch, 1951) Skrjabinet Guschanskaja, 1955. Ч. 2 // Трематоды животных и человека. Основы трематодологии. М.: Изд-во АН СССР, 1955. Т. 10. С. 339–643.
35. Скрябин К.И., Соболев А.А., Ивашкин В.М. Спирураты животных и человека и вызываемые ими заболевания. Ч. 4. Телязионидеи. М.: Наука, 1967. 624 с. (Основы нематодологии. Т. 16).
36. Скрябин К.И., Шихобалова Н.П., Шульц Р.С. Трихостронгилиды животных и человека. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 683 с. (Основы нематодологии. Т. 3).
37. Соловьева Г.Ф., Красных А.М. Обнаружение личинки *Anisakis simplex* (Ascaridata, Anisakidae) в желудке у человека // Паразиты животных и растений. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 131–133.
38. Сонин М.Д. Филяриаты животных и вызываемые ими заболевания. Ч. 3. Филярииды, онхоцерцины. М.: Наука, 1975. 396 с. (Основы нематодологии. Т. 24).
39. Царенко С.С., Кравцова В.О., Рожкова Т.В. Три случая анисакидоза желудка у милиционеров г. Владивостока // Новые технологии в эндоскопической диагностике и лечении: материалы I Дальневост. окружной науч.-практ. конф. Владивосток, 2005. С. 75–77.
40. Челомина Г.Н. Клонорхоз: эпидемиология и генетика. Владивосток: Дальнаука, 2015. 244 с.
41. Andrews J.R.H., Ainsworth R., Abernethy D. *Trichinella pseudospiralis* in humans: description of a case and its treatment // Trans. Roy. Soc. Trop. Med. and Hyg. 1994. Vol. 88, iss. 2. P. 200–203.
42. Blair D., Xu Z.-B., Agatsuma T. Paragonimiasis and the genus *Paragonimus* // Adv. Parasitol. 1999. Vol. 42. P. 113–222.
43. Coombs L. Helminth species recovered from humans // Handbook of Helminthiasis for Public Health. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006. P. 12–24.
44. Jongwutiwes S., Chantachum N., Kraivichain P., Siriyatien A., La Rosa G., Sreesunpasiricul C., Yingyouard P., Posio E. First outbreak of human trichinellosis caused by *Trichinella pseudospiralis* // Clin. Infection Diseases. 1998. Vol. 26, iss. 1. P. 111–115.
45. La Rosa G., Martucci G., Zarlenga D.S., Posio E. *Trichinella pseudospiralis* populations of the Palearctic region and their relationship with populations of the Nearctic and Australian regions // Int. J. Parasitol. 2001. Vol. 31, iss. 3. P. 297–305.
46. Moskvina T.V., Bartkova A.D., Ermolenko A.V. Geohelminths eggs contamination of sandpits in Vladivostok, Russia // Asian Pacific J. of Tropical Med. 2016. Vol. 9, iss. 12. P. 1215–1218.
47. Nabie R., Spotin A., Rouhani S. Subconjunctival setariasis due to *Setaria equina* infection; a case report and a literature data // Parasitol. Int. 2017. Vol. 66, iss. 1. P. 930–932.
48. Nicholas W.L. The biology of the Acanthocephala // Adv. Parasitol. 1973. Vol. 11. P. 671–706.
49. Oshima T. *Anisakis* and anisakiasis in Japan and adjacent area // Progr. Med. Parasitol. Jap. 1972. Vol. 4. P. 301–393.
50. Pockok D., Meerovitch E. The anti-neoplastic effect of trichinellosis in a syngenetic murine model // Parasitology. 1982. Vol. 84, iss. 3. P. 463–473.
51. Posio E., Foggin C.M., Marucci G., La Rosa G., Sacchi L., Corona S., Rossi P., Mukaratirwa S. *Trichinella zimbabwensis* n. sp. (Nematoda), a new non-encapsulated species from crocodiles (*Crocodylus niloticus*) in Zimbabwe also infecting mammals // Int. J. Parasitol. 2000. Vol. 32, iss. 14. P. 1787–1799.
52. Shumenko P.G., Tatonova Y.V., Besprozvannykh V.V. *Metagonimus suisfunensis* sp. nov. (Trematoda: Heterophyidae from Russian Southern Far East: Morphology, life cycle, and molecular data) // Parasitol. Int. 2017. Vol. 66, iss. 1. P. 982–991.
53. Tatonova Y.V., Shumenko P.G., Besprozvannykh V.V. Description of *Metagonimus pusillus* sp. nov. (Trematoda: Heterophyidae): phylogenetic relationships within the genus // J. Helminthol. 2018. Vol. 92, iss. 6. P. 703–712.
54. Varma T.K., Ahliwalia S.S. An unusual record of *Isoparorchis hypselobagri* (Billet, 1898), a trematode parasite of fishes from the bile duct of a pig // Indian Veterinary J. 1980. Vol. 57, N 8. P. 688–689.
55. Yazaki S., Fukumoro S., Abe K. A new species of the genus *Diphyllobothrium* originated from plerocercoids in Japanese surf smelts (*Hypomesus pretiosus japonicus*) and olive rainbow smelts (*Osmerus eperlanus mordax*) // Jap. J. Parasitol. 1988. Vol. 37. P. 422–428.

Д.С. ОСТАПЕНКО

## Определение рения в углеродистых породах и породах с органической матрицей методом ИСП-МС

Описываются исследования, направленные на определение низких и следовых концентраций рения при помощи масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) в геологических образцах, содержащих в своем составе углеродистые компоненты и органическую матрицу. Представлен способ полного количественного перевода геологических проб в раствор, избавления от силикатной и органической составляющих, показаны особенности проведения и возможные помехи непосредственно при выполнении ИСП-МС анализа. Полученные результаты удовлетворяют требованиям точности, принятым в геохимических исследованиях.

**Ключевые слова:** рений, определение рения, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, черные сланцы, углеродистые аргиллиты, органическая матрица.

**Determination of rhenium in carbonaceous and organic matrix rocks by ICP-MS.** D.S. OSTAPENKO (Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

*This paper describes studies aimed at determining low and trace concentrations of rhenium using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) in geological samples containing carbonaceous components and an organic matrix. This material describes a method for the complete quantitative conversion of geological samples into solution, disposal of the silicate and organic components, as well as the features of the ICP-MS analysis perform and possible interferences. It is shown that obtained results meet the accuracy requirements used during geochemical studies.*

*Key words: rhenium, determination of rhenium, mass-spectrometry with inductively-coupled plasma, black shales, carbonaceous mudstones, organic matrix.*

Рений – редкий металл, который до последнего времени считался рассеянным. При кларке  $\sim 7 \cdot 10^{-3}$  г/т рений является одним из редчайших элементов земной коры. В природе он встречается в основном в виде примесей в молибденовых и медно-молибденовых эндогенных и экзогенно-эпигенетических месторождениях. Важное свойство рения – его органофильность, которая способствует исследованию данного элемента в широком кругу углеродсодержащих пород и породных комплексов. Интерес к рудоносному потенциалу этих пород связан также с возможным наличием в них сопутствующих рению ценных металлов (U, Mo, V, Au и Pt). Несмотря на относительно низкое содержание рения (как правило, не выше 1 г/т), углеродсодержащие породные комплексы могут иметь значительные запасы этого металла вследствие их широкого площадного распространения [8].

Среди упомянутых геологических объектов особый интерес представляют углеродистые ферросиликатные и алюмосиликатные породы, в первую очередь различные черные сланцы. Так, в диктионемовых сланцах (палеозойских углеродсодержащих аргиллитах), распространенных на обширной территории Балтоскандии, наблюдается повышенная

---

ОСТАПЕНКО Дмитрий Сергеевич – младший научный сотрудник (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток). E-mail: ihsunday888@gmail.com

Работа выполнена в рамках проекта «Приоритетные научные исследования в интересах комплексного развития ДВО РАН» № 18-2-019.

комплексная металлоносность [2, 3, 5]. Очевидно, что разведка и оценка новых потенциальных источников различного сырья, а также надежность и достоверность определения запасов тех или иных месторождений напрямую связаны с точностью и чувствительностью применяемых аналитических методов, используемых при определении рения. При этом на фоне возросшего в последнее время интереса к исследованиям большеобъемных месторождений, сформированных ренийсодержащими горными породами, выявились серьезные проблемы в аналитической практике определения низких концентраций рения в подобных геологических образованиях.

Выбор аналитического метода определения содержания рения в минеральном материале основывается в первую очередь на предполагаемом исходном его содержании. Используются оптические, экстракционно-флуориметрические, электрохимические и также радиационные методы [10, 13]. При использовании рентгенофлуоресцентного анализа необходимо выделение ионов рения из сложной матрицы. В случаях ожидаемого высокого содержания целевого элемента (рудные концентраты, продукты гидрометаллургии и т.д.) применяется прямая или обратная вольтамперометрия [9–11]. Из более сложных инструментальных методов анализа используется атомно-эмиссионный и пламенный атомно-абсорбционный методы [4]. В работе [7] описана пробоподготовка с использованием трубок Кариуса. Для второго метода экспериментальное определение рения возможно только при высокой температуре, в пламени ацетилен-кислорода или ацетилен-закиси азота, однако пределы обнаружения данного элемента все равно остаются достаточно высокими. Стоит отметить, что в упомянутых исследованиях применяются процедуры сорбционного или экстракционного концентрирования рения при подготовке образца к анализу, что существенно усложняет процесс пробоподготовки, повышает риск ошибки и не всегда удовлетворяет требованиям точности при анализе низких концентраций [12, 13].

Основные недостатки большинства из указанных методов – достаточно высокий предел обнаружения, не всегда удовлетворительная воспроизводимость результатов определения, а также влияние некоторых сопутствующих элементов в пробах, снижающее точность анализа.

Цель данного исследования – оценка возможностей корректного, удовлетворительно воспроизводимого определения низких концентраций рения методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) в имеющих органическую матрицу (углеродсодержащих) образцах горных пород. Были проанализированы углеродистые аргиллиты (диктионемовые сланцы), относимые к различным углеродистым силикатным породам. Для данного типа пород не существует стандартных образцов с аттестованным содержанием рения, поэтому для оценки правильности результатов анализа использовался метод сравнения с данными, полученными тем же методом в лаборатории Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург).

В настоящее время масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой является одним из самых чувствительных методов определения рения. Метод ИСП-МС позволяет улавливать содержание рения на уровне нанogramмов на 1 г материала. На точность получаемых результатов оказывает влияние матрица образца, солевой фон, изобарные наложения, дрейф сигнала.

Поскольку метод ИСП-МС требует перевода образца в жидкое агрегатное состояние, возникает вопрос о максимально возможном количественном переводе исследуемого элемента в раствор. Химические соединения рения имеют высокую летучесть, при пробоподготовке следует подобрать способ вскрытия образца, обеспечивающий минимальные потери целевого компонента. Определение рения ведется в породах с органической матрицей, в связи с чем кислотное разложение образца целесообразно осуществлять в присутствии сильного окислителя [1]. Исследования [14, 15] показывают, что при проведении процедуры химической пробоподготовки углеродистых пород потерь данного элемента не наблюдается.

Использованная в настоящей работе методика включала в себя обработку углеродистых аргиллитов азотной, хлорной и плавиковой кислотами. При такой пробоподготовке происходит полное разложение силикатной и органической частей породы, а также в виде летучего тетрафорида кремния ( $\text{SiF}_4$ ) удаляется силикатный компонент, что в значительной степени снижает солевую нагрузку на ионную оптику масс-спектрометра, повышая точность анализа и обеспечивая наиболее низкий предел обнаружения рения, а при необходимости и других сопутствующих элементов [6].

Что касается изобарных наложений, у рения существует два стабильных изотопа –  $^{185}\text{Re}$  и  $^{187}\text{Re}$  ( $T_{1/2} = 41,2 \cdot 10^9$  лет) с распространенностью 37,4 и 62,6 % соответственно. Масс-спектрометрические измерения проведены для обоих изотопов. Благодаря своей атомной массе рений в достаточной степени свободен от различных изобарических интерференций и полностью свободен от влияния двух заряженных частиц. Некоторые помехи при измерении может создавать изотоп осмия –  $^{187}\text{Os}$ . Однако поскольку содержание  $^{187}\text{Os}$  в природном осмии составляет 1,64 % при кларке самого элемента в  $\sim 1,5 \cdot 10^{-3}$  г/т, данное явление не окажет сколько-нибудь существенного влияния на корректность полученных результатов.

Для определения рения применялся масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой Agilent 7700х. Измерения выполнялись в двух режимах: стандартном и с использованием гелиевой столкновительной ячейки с дискриминацией по кинетической энергии. В этом случае полиатомные частицы, имеющие больший по сравнению с одиночными ионами физический размер, сталкиваются с молекулами гелия чаще, чем ионы определяемого компонента, теряя таким образом энергию. Сохранившейся энергии частиц не хватает для преодоления энергетического барьера, и частица не попадает на детектор. Однако стоит отметить, что, несмотря на снижение изобарических полиатомных интерференций и некоторое уменьшение общего фонового шума, чувствительность и для определяемого элемента также несколько снижается. Таким образом, при использовании гелиевой столкновительной ячейки необходимо увеличить время интегрирования сигнала (время накопления аналитических данных детектором). Настройка чувствительности и уровня фонового сигнала выполнялась с использованием стандартного настроечного раствора Agilent № 5185-5959, содержащего изотопы  $^7\text{Li}$ ,  $^{59}\text{Co}$ ,  $^{89}\text{Y}$ ,  $^{140}\text{Ce}$ ,  $^{205}\text{Tl}$  в концентрации 1 ppb. Величина относительного стандартного отклонения (RSD) для аналитического сигнала не превышала 3,55 и 3,32 % для настроек в стандартном режиме и режиме с использованием гелиевой ячейки соответственно. Значение предела обнаружения было взято равным  $3\sigma$ , где  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение полученных значений концентраций определяемого компонента при анализе холостой пробы. Для  $^{185}\text{Re}$  данное значение составило 0,002 ppb, а для  $^{187}\text{Re}$  –  $\sim 0,001$  ppb, что объясняется его более высокой распространенностью. Для контроля качества подготовки пробы к анализу (разложение образца) и выполнения измерений был использован метод «введено–найдено». Образцы с добавкой рения в количестве 1 и 5 ppb были проведены через все стадии химической пробоподготовки, чтобы оценить возможную величину потери целевого компонента в данном процессе. Рассчитанное значение величины относительного стандартного отклонения (Sr) не превысило 3 % (табл. 1).

Таблица 1  
Значения относительного стандартного отклонения результатов определения Re для метода «введено–найдено»

Изотоп	Введено Re, ppb	Найдено Re, ppb	Sr, %
$^{185}\text{Re}$	1,0	0,97	2,15
$^{187}\text{Re}$	1,0	0,97	1,43
$^{185}\text{Re}$	5,0	5,03	0,42
$^{187}\text{Re}$	5,0	4,89	1,57

Корректность определения рения подтверждена результатами параллельного анализа контрольных образцов JA-1 и JA-3 (Геологическая служба Японии), прошедших те же

Таблица 2  
**Результаты определения Re в образцах углеродистых пород методом ИСП-МС и значения относительного расхождения (Dr) между результатами, полученными в ДВГИ и ВСЕГЕИ**

№ пробы	Содержание Re, г/т		Dr, %
	ВСЕГЕИ	ДВГИ	
30797	0,12	0,14	15,38
30805	0,12	0,17	34,48
24555	0,087	0,11	23,35
30793	0,095	0,11	14,63
23812	0,13	0,14	7,41
30822	0,091	0,11	18,91
24566	0,10	0,12	18,18
24573	0,11	0,13	16,67
23784	0,22	0,22	0,00
30808	0,23	0,27	16,00
ИДС-44/013	–	0,12	–
ИДС-46/013	–	0,12	–

стадии химической подготовки, что и исследуемые нами. Рекомендованные значения содержания рения в них составили 0,45 и 0,65 мг/т соответственно. Рассчитанные после анализа среднеквадратичные отклонения результатов определения не превысили 15 %, что соответствует требованиям к точности количественного химического анализа, принятым в геохимических исследованиях. Уровни воспроизводимости и относительного расхождения полученных данных показаны в результате исследования методом ИСП-МС дубликатов образцов во ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского (табл. 2).

Результаты анализа, полученные во ВСЕГЕИ, были приняты в качестве опорных.

### Заключение

В результате выполненных исследований показана возможность применения метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой для определения низких концентраций рения в горных породах со сложной органической матрицей, в частности в углеродистых аргиллитах. Показано, что при переводе пробы в пригодную для анализа форму кислотным разложением в присутствии сильного окислителя (азотной и хлорной кислот) не наблюдается потерь целевого компонента, а органическая составляющая полностью разрушается, что при выполнении инструментальной части анализа позволяет снижать солевую нагрузку и минимизировать влияние фона и возможных полиатомных помех. Сопоставление независимо полученных в двух лабораториях экспериментальных данных о рениеносности углеродистых осадочных горных пород свидетельствует о выполнении количественной оценки содержания рения с требуемой точностью.

Предлагаемый метод значительно расширяет возможности массовой аналитической оценки малых и следовых содержаний рения в геологических образцах с органической матрицей. Дополнительно проведенными экспериментами установлено, что описанная методика анализа применима для оценки рениеносности шунгитов и углей.

Автор выражает благодарность за помощь в подготовке материала к публикации коллегам из Дальневосточного геологического института ДВО РАН – руководителю лаборатории микро- и наноисследований канд. геол.-минер. наук В.В. Иванову и научному сотруднику лаборатории аналитической химии Н.В. Зарубиной.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Борисова Л.В., Ермаков А.Н. Аналитическая химия рения. М.: Наука, 1974. 319 с.
2. Вялов В.И., Миронов Ю.Б., Неженский И.А. О металлонности диктионемовых сланцев Прибалтийского бассейна // Минеральные ресурсы России: экономика и управление. 2010. № 5. С. 19–23.
3. Вялов В.И., Балахонова А.С., Ларичев А.И., Богомолов А.Х. Рений в диктионемовых сланцах Прибалтийского бассейна // Вестн. МГУ. Серия 4: Геология. 2013. № 2. С. 63–68.
4. Зайцева П.В., Пупышев А.А., Евдокимова О.В., Шуняев К.Ю. К вопросу определения рения методами пламенной атомно-абсорбционной и атомно-эмиссионной спектроскопии // Аналитика и контроль. 2012. Т. 16, № 1. С. 30–38.

5. Иванов В.В., Ханчук А.И., Фокин К.С. Диктионемовые сланцы: комплексность стратиформного благородно-редкометалльно-уранового орудения // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: материалы 13-й Междунар. науч. конф., Тбилиси, 15–21 сент. 2014 г. Тбилиси: Грузинский техн. ун-т, 2014. С. 75.
6. Иванов В.В., Зарубина Н.В., Зиновьев В.Г. и др. Сравнительная оценка содержания рения в углеродсодержащих горных породах методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и инструментального нейтронно-активационного анализа // Вопр. атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2015. Вып. 5. С. 49–58.
7. Козьменко О.А., Палесский С.В., Николаева И.В. и др. Усовершенствование методики химической подготовки геологических образцов в трубках Карнуса для определения элементов платиновой группы // Аналитика и контроль. 2011. Т. 15, № 4. С. 378–385.
8. Луцкий Д.С., Игнатович А.С., Хисматуллин Р.Р. Анализ способов определения концентрации рения в сложных гетерогенных и гомогенных системах // Науч. исслед. 2018. № 4 (24). С. 8–11.
9. Наноминералогия. Ультра- и микродисперсное состояние минерального вещества / под ред. Н.П. Юшкина, А.М. Асхабова, В.И. Ракина. СПб.: Наука, 2005. 581 с.
10. Оськина Ю.А., Горчаков Э.В., Колпакова Н.А. Определение рения вольтамперометрическим методом // Фундамент. исслед. 2013. № 8. С. 687–691.
11. Палант А.А., Трошкина И.Д., Чекмарев А.М. Металлургия рения. М.: Наука, 2007. 298 с.
12. Способ определения рения и рения в присутствии молибдена методом инверсионной вольтамперометрии: пат. № 2241983 РФ / Колпакова Н.А., Гольц Л.Г., Августович О.В.; Том. политехн. ун-т. № 2003133073/28; заявл. 11.11.2003; опубл. 10.12.2004, Бюл. № 34.
13. Трефилова И.В., Дегтев М.И., Аликина Е.Н., Амиджанов А.А. Химия, методы определения и концентрирования рения // Вестн. Перм. ун-та. Серия: Химия. 2015. № 1 (17). С. 66–80.
14. Beyremann K. Zur colorimetrischen Bestimmung von Rheniumspuren // Z. anal. Chem. 1961. Vol. 183, N 2. P. 91–107.
15. Matthews A.D., Riley I.P. The determination of Rhenium in seawater // Anal. chim. acta. 1970. Vol. 51. P. 455–462.

А.Г. АНДРЕЕВ

## Влияние стока реки Амур и прибрежного апвеллинга на циркуляцию вод в Татарском проливе (Японское море)

*Проведен анализ распределения распресненных вод Амурского лимана в Татарском проливе (Японское море) в сентябре–октябре (2002–2017 гг.) с использованием спутниковых данных об уровне моря и концентрации взвешенного органического углерода. Исследование динамики вод с использованием спутниковых данных о скоростях геострофических течений и температуре вод показало межгодовую изменчивость циркуляции поверхностных вод, определяемую стоком р. Амур и прибрежным апвеллингом. При увеличении стока р. Амур (2013, 2016 гг.) повышается уровень моря, усиливается антициклональная (по часовой стрелке) циркуляция вод в северной части Татарского пролива и возрастает перенос вод Амурского лимана на юг вдоль побережья материка. При уменьшении водности р. Амур (2002, 2008 гг.) понижается уровень моря и формируется циклоническая циркуляция вод в северной части Татарского пролива. Прибрежный апвеллинг приводит к снижению уровня моря и возникновению циклонической циркуляции вод в Татарском проливе.*

*Ключевые слова:* Японское море, сток р. Амур, спутниковые данные, уровень моря, циркуляция поверхностных вод.

**Impact of the Amur River discharge and coastal upwelling on the water circulation in the Tartar Strait (the Japan Sea).** A.G. ANDREEV (V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

*The distribution of the low salinity Amur Lyman water in the Tartar Strait (the Japan Sea) was analyzed in September–October (2002–2017) using satellite data on sea surface height and concentration of suspended organic carbon. The study of water dynamics using satellite geostrophic velocities and water temperature showed the variability of surface water circulation, related to the Amur River discharge and coastal upwelling. An increase in the Amur River discharge (2013, 2016) results in the sea level rise and enhanced anticyclonal (clockwise) water circulation in the northern Tartar Strait and the Amur Lyman water transport to the south along the mainland. The decrease of the Amur River discharge (2002, 2008) leads to the low sea level and cyclonic water circulation in the northern Tartar Strait. Coastal upwelling leads to the decreased sea level and formation of the cyclonic water circulation in the Tartar Strait.*

*Key words:* the Japan Sea, the Amur River discharge, satellite data, sea level, surface water circulation.

### Введение

Сток р. Амур (около 350 км<sup>3</sup>/год) поступает в относительно узкий и вытянутый в меридиональном направлении Амурский лиман, соединяющий Японское и Охотское моря (рис. 1, а). Устьевая область Амура включает в себя устьевой участок реки и устьевое взморье, состоящее из Амурского лимана и прилегающих частей Сахалинского залива и Татарского пролива. Положение и площадь зоны смешения речных и морских вод зависят от сезона и водности реки. В теплую часть года (июнь–сентябрь) распресненные воды из Амурского лимана в основном поступают в Сахалинский залив (Охотское море), где

---

АНДРЕЕВ Андрей Григорьевич – доктор географических наук, ведущий научный сотрудник (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток). E-mail: andreev@poi.dvo.ru

формируется стоковая линза (сравнительно тонкий слой распресненных вод на поверхности моря) [5, 6]. Осенью под воздействием ветров северных румбов воды Амурского лимана поступают в Татарский пролив [9]. Изменения в стратификации и циркуляции, связанные со стоковыми линзами, влияют на потоки биогенных элементов, а также, через распределение взвешенных веществ, на световой режим подповерхностного слоя вод и, как следствие, воздействуют на биологическую продуктивность вод.

Спутниковые данные об уровне моря, солености и температуре поверхностных вод, концентрации взвешенного органического углерода позволили изучить влияние ветра и стока р. Амур на распространение вод Амурского лимана в северо-западной части Охотского моря [3]. В данной работе на основе анализа спутниковых данных об уровне моря, скоростях геострофических течений, температуре и концентрации взвешенного органического углерода исследовано влияние стока р. Амур на распределение вод Амурского лимана и циркуляцию вод в северной части Татарского пролива в сентябре–октябре.

## Материал и методы

Наши исследования основываются на информации об уровне моря и скоростях геострофических течений с пространственным разрешением  $1/4^\circ$  на  $1/4^\circ$  (для исследуемого района ~30 км по долготе и ~15 км по широте), полученной по данным спутниковых измерений (<http://marine.copernicus.eu>) за 2002–2017 гг. Величина ошибки спутниковых данных об уровне моря (SSH), полученных с 2002 г. по настоящее время, составляет 1–2 см на расстоянии, превышающем 20 км от берега. Для интервала осреднения, равного 1 мес., ошибка данных об уровне моря (SSH) принята равной 0,8 см. Исходя из принятой величины ошибки SSH ошибка рассчитанных среднемесячных скоростей геострофических течений ( $V = \delta SSH \cdot g/f/L$ , где  $\delta SSH$  и  $L$  – соответственно разность уровня моря и расстояние между узлами сетки,  $g$  – ускорение свободного падения,  $f$  – параметр Кориолиса) для исследуемого района составляет 3–5 см/с.

Речные воды, поступающие в Амурский лиман, отличаются повышенным содержанием взвеси и окрашенного растворенного органического вещества, в связи с чем хорошо прослеживаются на снимках спутниковых спектрорадиометров (MODIS Aqua/Terra и др.) в видимом диапазоне спектра. Концентрация взвешенного органического углерода (BOY) в морской воде по данным сенсоров MODIS определяется по соотношению яркости отраженного излучения в желтом (длина волны 555 мкм) и синем (длина волны 443 мкм) диапазонах спектра [11]. В работе использовались данные дистанционных измерений температуры поверхностного слоя вод со спутников «Terra» – «Aqua» (радиометр MODIS) в инфракрасном диапазоне спектра с пространственным разрешением 4 км (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>). Для анализа фоновых гидрометеорологических условий привлекались данные о стоке р. Амур (Хабаровск) и направлению и скоростям ветра (Центр диагностики климата. – <http://www.esrl.noaa.gov>).

## Результаты и обсуждение

### *Распределение вод Амурского лимана в Татарском проливе по спутниковым данным*

Поступление вод Амурского лимана в северо-западную часть Охотского моря и северную часть Японского моря (Татарский пролив) определяется разностью уровня моря между данными бассейнами, ветровым режимом и водностью р. Амур. Около 85 % годового стока Амура приходится на теплый период года (май–октябрь). В связи с муссонным характером атмосферной циркуляции летом над исследуемым районом преобладают ветры юго-восточных, а осенью и зимой – северо-западных направлений. В июле и августе



Повышение (понижение) водности р. Амур в период весенне-летнего половодья приводит к росту (снижению) уровня моря ( $r = 0,76$ , 2002–2017 гг.) в северной части Татарского пролива в октябре (рис. 1, *в*) вследствие увеличения (уменьшения) притока вод Амурского лимана с пониженной соленостью и повышенными величинами SSH. На рис. 1, *г* представлено распределение SSH на меридиональном разрезе вдоль  $141,5^\circ$  в.д. в сентябре в годы пониженной (2002 и 2008 гг.) и повышенной (2013 и 2016 гг.) водности р. Амур. Увеличение стока вод р. Амур в мае–июле 2013 и 2016 гг. способствовало значительному увеличению уровня моря в северной части Татарского пролива в сентябре 2013 и 2016 гг. Распределение вод Амурского лимана с повышенными величинами SSH (40–50 см) в северной части Татарского пролива в сентябре и октябре 2013 г. представлено на рис. 2, *б*, *г*. Высокие величины SSH, наблюдаемые в южной части Татарского пролива (к югу от  $50^\circ$  с.ш.) в сентябре–октябре (рис. 2, *а–г*) обусловлены поступлением в данный район субтропических трансформированных вод с повышенной температурой и пониженной плотностью [2].

Контрасты цвета на границах стоковой линзы Амура позволяют использовать спутниковые данные в видимом (концентрация взвешенного органического вещества) диапазоне спектра для исследования закономерностей распространения вод Амурского лимана в Татарском проливе. На рис. 2, *д–з* представлено распределение БОУ в сентябре–октябре 2008 и 2013 гг. – в годы пониженной и повышенной водности р. Амур. Увеличение стока вод Амура в мае–июле 2013 г. привело к значительному увеличению концентрации БОУ в северной части Татарского пролива в сентябре 2013 г. (рис. 2, *е*). Распределение взвешенного органического углерода (БОУ) согласуется с распределением SSH в северной части Татарского пролива: повышенным величинам SSH соответствуют повышенные концентрации БОУ. Смена направления ветра с юго-западного (сентябрь 2013 г.) на северо-западное (октябрь 2013 г.) способствовало распространению вод Амурского лимана (высокие величины SSH и концентрации БОУ) на юг вдоль побережья материка (рис. 2, *з*, *з*).

Различия в распределении SSH и концентраций БОУ в Татарском проливе между сентябрем 2008 г. и сентябрем 2013 г. (рис. 2, *а*, *б*, *д*, *е*) и между октябрем 2008 г. и октябрем 2013 г. (рис. 2, *в*, *г*, *ж*, *з*) не связаны с ветровым режимом. В сентябре 2008 г. и сентябре 2013 г. над исследуемым районом преобладали ветры юго-западных румбов со скоростями 4–9 м/с, в октябре 2008 г. и октябре 2013 г. – северо-западных румбов со скоростями 4–12 м/с.

Согласно результатам расчетов течений с использованием экспедиционных данных [7, 8] и данным моделирования циркуляции вод с использованием численных моделей [10, 12] летом общая циркуляция вод в северной и центральной частях Татарского пролива является преимущественно циклонической. Западное звено циклонической циркуляции вод (течения Шренка или Лиманское) направлено на юг вдоль материка. Западно-Сахалинское течение направлено на север вдоль берега о-ва Сахалин. Осенью в северной части Татарского пролива образуется мощный антициклональный вихрь. Адвекция субтропических вод с повышенной температурой из Восточно-Китайского моря через Корейский пролив увеличивает уровень моря и оказывает влияние на направление и скорость геострофических течений в Татарском проливе летом и осенью [2]. Антициклональная/циклональная циркуляция вод в южной части Татарского пролива наблюдается в периоды повышения/понижения разностей уровня между Корейским проливом и прол. Лаперуза и увеличения/снижения притока вод с повышенной температурой в северную часть Японского моря.

На рис. 2, *д–з* показана циркуляция вод в северной части Татарского пролива в сентябре–октябре 2008 г. (пониженная водность р. Амур) и 2013 г. (повышенная водность р. Амур (рис. 1, *в*)). Циркуляция вод в сентябре–октябре 2013 г. представляла собой «классическую» схему течений для осеннего периода [7, 8]. В вершине Татарского пролива наблюдалась антициклональная (по часовой стрелке) циркуляция вод, вызванная поступлением в данный район вод Амурского лимана с низкой соленостью и плотностью (повышенные величины SSH). В центральной части Татарского пролива преобладала

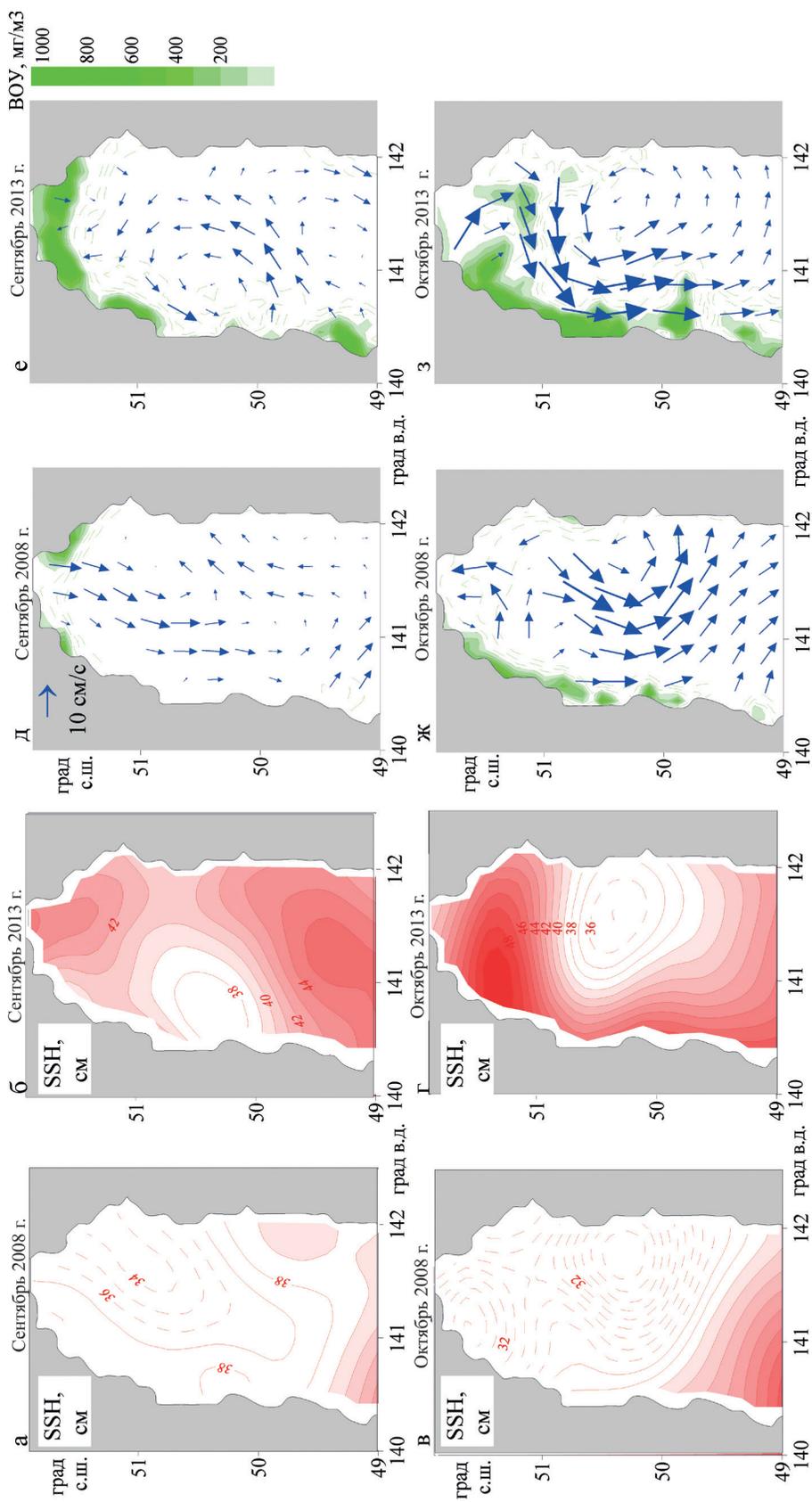


Рис. 2. Распределение уровня моря (изолинии и оттенки красного цвета), поле поверхностных геострофических течений (стрелки) и распределение концентрации взвешенного органического углерода (оттенки зеленого цвета) в Татарском проливе в сентябре–октябре 2008 и 2013 гг.

циклоническая циркуляция вод. Снижение водности р. Амур в мае–июле 2008 г. и уменьшение поступления вод Амурского лимана в северную часть Татарского пролива сопровождались циклонической циркуляцией вод в центральной и северной частях Татарского пролива в октябре 2008 г. (рис. 2, ж).

### ***Влияние прибрежного апвеллинга на циркуляцию вод в Татарском проливе***

Прибрежный апвеллинг вызывается ветром, дующим параллельно берегу таким образом, что берег остается слева, в Северном полушарии. В августе–сентябре благоприятные условия для развития устойчивого прибрежного апвеллинга в Татарском проливе наблюдаются у побережья материка [4], которое расположено слева относительно направления преобладающих ветров южных румбов. Преобладающие зимние муссонные ветры северного направления создают благоприятные условия для развития апвеллинга вдоль западного побережья о-ва Сахалин в октябре–ноябре. Апвеллинг и связанный с этим явлением подъем вод сопровождается понижением температуры поверхностных вод. Термические контрасты на поверхности моря позволяют выделить зоны апвеллинга по распределению температуры на поверхности моря, значения которой получены по спутниковым данным (рис. 3). В середине сентября 2013 г. в Татарском проливе наблюдалось снижение поверхностной температуры по направлению к побережью материка от 17 до 13–15 °С. Под воздействием ветров юго-западных румбов пятно вод с пониженной температурой перемещалось в северо-восточном направлении (рис. 3, а). Апвеллинг у западного побережья о-ва Сахалин в середине октября 2008 г. сопровождался снижением поверхностной температуры по направлению к берегу от 10 до 2–4 °С (рис. 3, б). Подъем глубинных вод с повышенной плотностью (пониженной температурой и повышенной соленостью) привел к снижению уровня моря (рис. 2, б–г) и возникновению циклональной циркуляции вод в западной части Татарского пролива в сентябре 2013 г. (рис. 2, е) и восточной части Татарского пролива в октябре 2008 г. и октябре 2013 г. (рис. 2, ж, з). Формирование мезомасштабной циклональной циркуляции вод в зоне апвеллинга вблизи восточного побережья Сахалина (Охотское море) показано нами в работе [1].

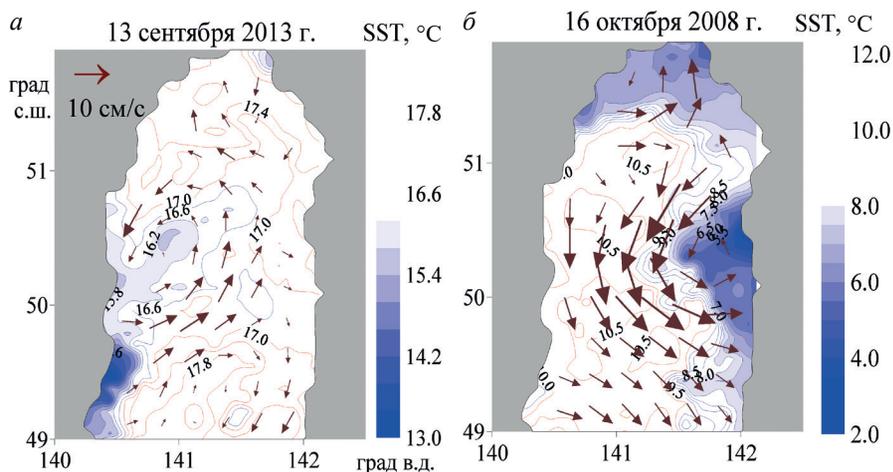


Рис. 3. Поле поверхностных геострофических течений и распределение температуры (изолинии и оттенки синего цвета) в поверхностном слое вод в сентябре 2013 г. (а) и октябре 2008 г. (б)

Разница в SSH (~10 см) между западной и восточной частями Татарского пролива в октябре 2013 г. (рис. 2, з) вызвала усиление течения Шренка (скорости геострофических течений возросли до 17–20 см/с), направленного вдоль побережья материка на юг (рис. 2, з).

## Заключение

Исследование динамики вод в Татарском проливе в сентябре–октябре 2002–2017 гг. с использованием спутниковых данных об уровне моря, концентрации взвешенного органического углерода, скоростях геострофических течений и температуре вод показало межгодовую изменчивость циркуляции поверхностных вод, определяемую стоком р. Амур и прибрежным апвеллингом. При увеличении стока р. Амур (2013, 2016 гг.) повышается уровень моря, усиливается антициклональная (по часовой стрелке) циркуляция вод в северной части Татарского пролива и возрастает перенос вод Амурского лимана на юг вдоль побережья материка. При уменьшении водности р. Амур (2002, 2008 гг.) понижается уровень моря и формируется циклоническая циркуляция вод в северной части Татарского пролива. Прибрежный апвеллинг и связанный с этим явлением подъем глубинных вод с повышенной плотностью приводит к снижению уровня моря и возникновению циклональной циркуляции вод в Татарском проливе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев А.Г. Мезомасштабная циркуляция вод в районе Восточно-Сахалинского течения (Охотское море) // Исследования Земли из космоса. 2017. № 2. С. 3–12.
2. Андреев А.Г. Особенности циркуляции вод в южной части Татарского пролива // Исследования Земли из космоса. 2018. № 1. С. 3–11.
3. Андреев А.Г. Распределение распресненных вод Амурского лимана в Охотском море по данным спутниковых наблюдений // Исследования Земли из космоса. 2019. № 2. С. 89–96.
4. Жабин И.А., Дмитриева Е.В., Кильматов Т.Р., Андреев А.Г. Влияние ветровых условий на изменчивость апвеллинга у побережья Приморья (северо-западная часть Японского моря) // Метеорол. и гидрология. 2017. № 3. С. 58–67.
5. Жабин И.А., Абросимова А.А., Дубина В.А., Некрасов Д.А. Влияние стока реки Амур на гидрологические условия Амурского лимана и Охотского моря // Метеорол. и гидрология. 2010. № 4. С. 93–100.
6. Жабин И.А., Дубина В.А., Некрасов Д.А., Дударев О.В. Структурные особенности зоны смешения речных и морских вод вблизи устья реки Амур по данным спутниковых и гидрологических наблюдений // Исследования Земли из космоса. 2007. № 5. С. 61–70.
7. Пищальник В.М., Архипкин В.С., Юрасов Г.И., Ермоленко С.С. Сезонные вариации циркуляции вод в прибрежных районах о. Сахалин // Метеорол. и гидрология. 2003. № 5. С. 87–94.
8. Юрасов Г.И., Яричин В.Г. Течения Японского моря. Владивосток: ТОИ ДВО РАН. 1991. 174 с.
9. Якунин Л.П. Распределение водного стока по фарватерам устья Амура // Тр. ДВНИГМИ. 1978. Вып. 71. С. 162–166.
10. Kim T.-K., Yoon J.-H. Seasonal variation of upper layer circulation in the Northern part of the East/Japan Sea // Continental Shelf Res. 2010. Vol. 30. P. 1283–1301.
11. NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group. Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Aqua Particulate Organic Carbon Data; 2018 Reprocessing. NASA OB.DAAC, Greenbelt, MD, USA. DOI: 10.5067/AQUA/MODIS/L3M/POC/2018.
12. Ponomarev V.I., Fayman P.A., Prants S.V., Budyansky M.V., Uleysky M.Yu. Simulation of mesoscale circulation in the Tatar Strait of the Japan Sea // Ocean modeling. 2018. Vol. 126. P. 43–55.

О.В. КАРПЕЦ, Е.С. ЮРЧЕНКО

## Анализ подходов к развитию высокоскоростного железнодорожного сообщения в развивающихся странах (на примере Индии)

*Проведен анализ возможностей и перспективы строительства высокоскоростных магистралей (ВСМ) на примере Индии. Рассмотрены сложившиеся в мире модели создания ВСМ. Для Индии наиболее подходящей является модель исключительной эксплуатации по типу японской.*

*Для получения представления об общей ситуации в этой стране и выявления предпосылок развития ВСМ авторами был проведен статистический анализ. После чего методом инструментального кейс-стади были выявлены основные проблемы реализации проекта и подготовлены предложения по повышению эффективности высокоскоростного железнодорожного строительства в Индии.*

*Ключевые слова: инфраструктура, инфраструктурные проекты, высокоскоростные железные дороги (ВСМ).*

**The analysis of possibilities and perspectives for the high-speed railway construction in developing countries (by the example of India).** O. V. KARPETS, E. S. YURCHENKO (Far Eastern Federal University, Vladivostok).

*The article presents the analysis of possibilities and perspectives for the high-speed railway (HSR) construction in certain country by the example of India. Major HSR models and their correlation with India's situation are considered. The most applicable for India is exclusive exploitation model like in Japan.*

*We used statistical analysis to get the general idea of country's state and identify the HSR development implications. After that we continued with instrumental case study which allowed identifying the project's major deficiencies and make suggestions to increase HSR construction efficiency in India.*

*Key words: infrastructure, infrastructural projects, high-speed railways (HCR).*

### Введение

В современном мире, характеризующемся глобализацией, для развития каждой страны критически важна эффективность ее транспортной системы, и наоборот, проблемы транспортной системы могут серьезно затормозить экономический прогресс, независимо от исходного уровня. В условиях высокой нестабильности мировой экономики государства, особенно развивающиеся, должны принимать взвешенные решения о расходовании средств, выборе пути дальнейшего развития. Россия пыталась развивать скоростные железные дороги (например, проект Москва–Казань), но на данное время реализация откладывается и стоит вопрос о принципиальном отказе от данного проекта по причине высокой стоимости и нецелесообразности [1]. Поэтому для рассмотрения была выбрана

\*КАРПЕЦ Ольга Викторовна – кандидат экономических наук, доцент, ЮРЧЕНКО Екатерина Сергеевна – старший преподаватель (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток). \*E-mail: ov.karpets@yandex.ru

страна, также испытывающая финансовые и другие трудности при модернизации транспортной системы и стоящая перед необходимостью выбора модели, а именно Индия.

Являясь второй по численности населения в мире (по данным Мирового банка на 2018 г.: Индия – 1352,6 млн чел., Китай – 1392,7 млн чел.), Индия демонстрирует динамичный рост экономики (7 % в 2018 г.). Она еще не может конкурировать с Китаем по уровню ВВП на душу населения (2015,6 против 9770,8 долл. США, данные 2018 г.), однако в перспективе у нее есть все шансы стать крупнейшим экономическим центром Азии [17].

Несмотря на большую численность населения, достаточно динамичное развитие экономики и традиционно высокое значение железнодорожной сети в сфере пассажироперевозок, в настоящий момент в Индии еще нет ни одной функционирующей высокоскоростной железнодорожной ветки. Правительство страны понимает актуальность данного вида транспорта и предпринимает соответствующие усилия. Это делает Индию выгодным объектом для нашего изучения, позволяя проиллюстрировать типичные проблемы, с которыми сталкивается развивающаяся страна при принятии решения о строительстве высокоскоростных железных дорог.

Основными целями статьи являются анализ ситуации с проектированием высокоскоростных железных дорог в Индии и определение перспектив развития данного вида транспорта с учетом мирового опыта.

В статье решаются следующие задачи: рассмотрение мирового опыта развития высокоскоростных магистралей (ВСМ), анализ предпосылок для развития этого вида транспорта в Индии, определение круга возможных проблем и перспектив его развития.

## Материал и методы

Для достижения поставленных задач изучена доступная информация (сайт Международного союза железных дорог, доклады по развитию высокоскоростного железнодорожного сообщения), рассмотрен мировой опыт создания и развития ВСМ, в результате чего выделены основные модели эксплуатации ВСМ и описано влияние экономических факторов на принятие решения о строительстве ВСМ, выбор модели и общую стоимость проектов. Также был проведен анализ доступной статистики по роли железных дорог в транспортном комплексе Индии и программы «Видение железных дорог Индии – 2020»<sup>1</sup>, что позволило выделить круг предпосылок для развития ВСМ в Индии, а также сформулировать проблемы их развития. Статистические данные были взяты за два периода: 1) 2009–2010 гг., так как именно тогда принималось принципиальное решение о выделении ресурсов на развитие ВСМ в Индии, и 2) 2015–2017 гг., чтобы показать прогресс в развитии железных дорог на современный момент.

Статистический анализ и изучение доступных документарных источников было дополнено инструментальным кейс-стади. В качестве объекта для рассмотрения был выбран единственный имеющийся на настоящий момент пилотный проект высокоскоростной железнодорожной ветки Мумбаи–Ахмадабад.

Исследовательский вопрос сформулирован следующим образом: почему, несмотря на имеющиеся предпосылки и возможные выгоды от развития ВСМ, правительство Индии занимает осторожную позицию в этом вопросе, а строительство ветки Мумбаи–Ахмадабад отстает от изначально установленного графика?

Проведенный ранее анализ опыта других стран и исследование основных тенденций в развитии железных дорог позволили сделать два предположения:

1) ветка Мумбаи–Ахмадабад отвечает необходимым предпосылкам развития ВСМ, а также позволяет ожидать положительных социальноэкономического и экологического эффектов;

---

<sup>1</sup> Indian Railways. Vision 2020 / Government of India, Ministry of Railways. 2009. 62 p.

2) в ходе реализации проекта ветки Мумбаи–Ахмадабад возник ряд проблем, приведших к увеличению сроков строительства.

В качестве источников данных были использованы технико-экономическое обоснование проекта и доступные материалы из новостных ресурсов. Незавершенность проекта на данный момент и связанный с этим недостаток достоверных статистических данных по проекту обусловили необходимость качественного подхода к анализу имеющихся материалов.

Выбранные методы позволяют провести комплексное исследование процессов, связанных с созданием высокоскоростных железных дорог в Индии, и выявить меры, позволяющие повысить эффективность дальнейших усилий индийского правительства в этом направлении.

## **Результаты и обсуждение**

### ***Опыт развития высокоскоростного железнодорожного сообщения в других странах***

Высокоскоростные железные дороги являются одним из современных высокотехнологичных видов транспорта, поэтому инвестировать в их строительство намерены как развитые, так и развивающиеся государства. Введение в действие высокоскоростной дороги можно рассматривать как существенную инновацию, в терминологии Й. Шумпетера, призванную кардинально ускорить инновационно-технологическое развитие страны.

Рассмотрим значительные технические отличия высокоскоростных дорог от традиционных.

Во-первых, и стандартные, и скоростные дороги применяют различные типы сигнальных систем, обеспечивающих безопасность движения. Для обычных поездов используются внешние (электронные) сигналы вместе с автоматической сигнальной системой поезда, для скоростных взаимодействие между движущимся поездом и различными частями пути полностью интегрировано и контролируется из кабины, вследствие чего машинисту не нужно видеть сигналы вдоль линии.

Во-вторых, для работы большинства новых высокоскоростных линий необходимо напряжение по крайней мере 25 тыс. вольт, что значительно превышает величину для обычных железных дорог. В связи с этим модернизация существующих дорог подразумевает реконструкцию электрической сети, а последующая эксплуатация скоростной железной дороги – повышенное потребление электроэнергии.

В-третьих, различаются характеристики подвижного состава и условия эксплуатации.

Для оценки экономических характеристик высокоскоростных железных дорог выделяются четыре основные модели [4].

1. Модель исключительной эксплуатации. Предполагает полное отделение высокоскоростных дорог от обычных. Для каждого типа дорог строится своя инфраструктура. Модель использовалась для создания японских высокоскоростных дорог – синкансэнов. Одной из причин стало то, что традиционные поезда ходили по узкой колее (1,067 м), для скоростных линий была выбрана колея, более распространенная в мире в настоящее время (1,435 м). Преимуществом данной модели считают независимое функционирование и обслуживание. Однако для менее развитых, чем Япония, стран подобный вариант может быть финансово затруднительным.

2. Модель смешанная высокоскоростная. Скоростные поезда используют либо специально построенные новые линии, либо модернизированные участки обычных линий. Применяется во Франции (TGV – Train à Grande Vitesse) на новых линиях, а также на заново электрифицированных путях традиционных железных дорог, где дублирование является нецелесообразным. Это позволяет снизить расходы на сооружение линий, что представляет собой преимущество рассматриваемой модели.

3. Модель смешанная традиционная, при которой некоторые обычные поезда ходят по скоростным веткам, была внедрена испанской компанией AVE (Alta Velocidad Española). Как и в Японии, в Испании традиционная ширина колеи отличается от стандартной (иберийская колея составляет 1,668 м), применяемой на территории остальной Европы. Для повышения универсальности была разработана специальная технология для подвижного состава, за счет которой поезда TALGO могут переходить с колеи одной ширины на другую по мере прохождения по специальному стыковочному участку без высадки пассажиров. К преимуществам можно отнести экономию на приобретении подвижного состава и обслуживании, а также гибкость предоставляемых услуг, т.е. возможность использовать как высокоскоростные (более 250 км/ч), так и скоростные (140–250 км/ч) поезда в зависимости от спроса.

4. Модель полностью смешанная. Дает максимальную гибкость, так как в данном случае услуги высокоскоростного и традиционного транспорта могут предлагаться при любой инфраструктуре. Хорошим примером являются немецкие междугородные поезда ICE (intercity trains) и ветка Рим–Флоренция в Италии, где высокоскоростные поезда в отдельных случаях используют модернизированные традиционные дороги, а для перевозки грузов можно задействовать избыточные мощности высокоскоростных дорог в ночное время.

Модели 1 и 2 предполагают более интенсивную эксплуатацию высокоскоростной инфраструктуры, в то время как в отношении моделей 3 и 4 следует понимать, что (за исключением секций с несколькими путями) более медленные поезда занимают больше отрезков пути на более длительный период времени и тем самым снижают возможность предоставления высокоскоростных услуг. Так как использование поездов со значительно различающимися скоростями приводит к большим потерям в пропускной способности линии, для смешанных линий был разработан вариант, когда высокоскоростные пассажирские поезда занимают их днем, а грузовые поезда – ночью. В некоторых случаях высокоскоростные ночные поезда переводятся на менее скоростные ветки, чтобы пропустить грузовые составы.

Выбор модели зависит от результатов сравнения стоимости сооружения новой инфраструктуры со стоимостью модернизации (и содержания) обычной сети. Следовательно, с экономической точки зрения понятие высокоскоростной дороги определяется рядом дополнительных факторов.

Согласно оценкам Международного союза железных дорог (International Union of Railways, UIC), строительство инфраструктуры новой высокоскоростной дороги предполагает три основных типа издержек [5]:

1) расходы на проведение технико-экономического обоснования, технический дизайн, приобретение земель и др., правовые и административные взносы, платежи, лицензии и т.п. Суммарно перечисленные траты в некоторых проектах (особенно когда необходимо приобретать дорожную землю) могут достигать значительных сумм и часто представляют собой невозвратный компонент общих инвестиций, равный 5–10 %;

2) издержки на строительство инфраструктуры, включающие все затраты на подготовку территории и сооружение платформ. Их размеры в разных проектах широко варьируют в зависимости от характеристик территории, но обычно составляют 10–25 % от общих инвестиций. В отдельных случаях необходимость принятия особых решений (виадуки, мосты, тоннели) приводит к удвоению суммы – до 40 % в технически сложных проектах;

3) сверхструктурные затраты, предполагающие создание таких специфических элементов, как сайдинги, направляющие, сигнальные системы цепных линий. Стоимость каждого из специфических элементов может составлять от 5 до 10 % общих инвестиций.

Хотя перечисленные разновидности издержек присутствуют во всех проектах для скоростных железных дорог, различия будут определяться типом инфраструктуры, которую надо построить в случае уже существующих сооружений [10]:

1) крупные коридоры, изолированные от других высокоскоростных линий, например Мадрид–Севилья или Париж–Лион;

2) крупные коридоры, интегрированные в сеть, такие как Мадрид–Барселона (в линию Мадрид–Севилья), Париж–Лилль (в линию Париж–Лион и скоростную сеть Франции);

3) небольшие продления или дополнения к существующим коридорам (Мадрид–Толедо или Лион–Валенсия), созданные для обслуживания прилегающих городов среднего размера;

4) отдельные крупные проекты, например Евротоннель, мост через прол. Большой Бельт или мост через Мессинский пролив;

5) проекты меньшего масштаба, дополняющие традиционную сеть, включая высокоскоростные линии, которые соединяют аэропорт с близлежащими городами, или улучшения традиционной инфраструктуры для предоставления более скоростных услуг (Германия и Италия).

Таким образом, в зависимости от уникального набора условий в каждой стране принималось решение в пользу той или иной модели развития железнодорожной сети. В случае Индии потенциальные выгоды от создания высокоскоростной железнодорожной сети осознаются правительством, однако сейчас в стадии строительства находится только один проект – высокоскоростная ветка Мумбаи–Ахмадабад.

### ***Предпосылки для развития высокоскоростного железнодорожного сообщения в Индии***

На 2009 г. железнодорожная сеть Индии являлась третьей в мире по размеру и объему грузо- и пассажироперевозок<sup>2</sup>. Данные официальной статистики Индии подтверждают важнейшую роль железнодорожных перевозок в транспортной системе страны (табл. 1).

Таблица 1

**Объемы пассажирских / грузовых перевозок основными видами транспорта в Индии [16]**

Период	Железные дороги		Авиация		Автомобили	
	пассажиро-километры на тонно-километр	%	пассажиро-километры на тонно-километр	%	млн пассажиро- километров	%
2014–2015	1 147 190 / 68 261	51	67 193 / 11 4384	3	1 054 231,5	46
2012–2013	1 098 103 / 65 063	49	56 891 / 29 724	2	1 102 587	49
2010–2011	978 508 / 62 647	46	52 842 / 374	3	1 081 848	51

Как видно из табл. 1, железная дорога Индии является одним из основных средств перевозки пассажиров. Впечатляют и объемы перевозимых грузов – в среднем около 35 % всего грузопотока, а по некоторым видам товаров (например, уголь, сталь, цемент, удобрения) – до 70 %<sup>3</sup>.

Однако существует ряд проблем, которые могут оказывать значительный негативный эффект на дальнейшее развитие как железных дорог Индии, так и ее экономики в целом, если не будет проведена модернизация железнодорожной сети:

устаревание и перегруженность существующих коридоров. За период с 1947 по 2009 г. протяженность железных дорог в стране выросла всего на 10 000 км (при общей протяженности 64 099 км в 2009 г.)<sup>4</sup>. В последние 10 лет темпы их строительства ускорились, однако протяженность (68 442 км в 2018 г. [9]) и техническое состояние железнодорожной сети все еще намного отстают от потребностей. При таких медленных темпах роста

<sup>2</sup> Indian Railways. Vision 2020 ...

<sup>3</sup> Там же.

<sup>4</sup> Там же.

многие направления перевозок достигли или приближаются к лимиту своей пропускной способности. Это приводит к ускоренному износу железнодорожных линий, а также повышенному риску срывов сроков перевозок при возникновении нештатных ситуаций, так как использовать альтернативный маршрут будет также проблематично;

повышенная аварийность. В 2008–2009 гг. на железной дороге зарегистрировано 177 аварий [9]. Усилия правительства по повышению безопасности движения привели к тому, что общее количество аварий в 2016–2017 гг. снизилось до 103 [9]. По сравнению с аварийностью на автомобильных дорогах это немного, однако необходимо учитывать, что железная дорога является тем видом транспорта, где данный показатель можно свести практически к нулю. На 2013–2014 гг. на железной дороге погибли 4803 чел., в 2014–2015 гг. наблюдалось резкое снижение количества смертей (2855), однако говорить о наличии устойчивой тенденции пока преждевременно [16]. В 2007–2008 гг. в результате аварий общая задержка при перевозках достигла 4381 ч<sup>5</sup>. Большинство аварий произошло из-за человеческого фактора;

низкая скорость подвижного состава. Средняя скорость железнодорожных составов в Индии значительно отстает от мирового уровня как в секторе пассажирских, так и грузовых перевозок. На 2009 г. максимальные скорости движения пассажирских составов составляли примерно 130 км/ч, грузовых – 70 км/ч<sup>6</sup>. При этом на 2018 г. ситуация изменилась незначительно, несколько увеличилась максимальная скорость пассажирских составов – до 160 км/ч. Средняя скорость пассажирских составов на 2017–2018 гг. была 33–60 км/ч в зависимости от типа поезда (самая низкая у обычных пассажирских поездов, самая высокая у экспрессов). Средняя скорость грузовых поездов на 2017–2018 гг. – 23,3 км/ч [9].

Правительство Индии, понимая необходимость модернизации транспортной системы страны, приняло программу «Видение железных дорог 2020». Ее основные приоритеты:

- выход железных дорог на более высокие экономические показатели;
- расширение дорожной сети;
- создание дополнительных мощностей;
- повышение безопасности перевозок;
- уменьшение вредных выбросов в атмосферу;
- внедрение смелых и инновационных решений;
- привлечение инвестиций для роста.

Как видно, развитие высокоскоростных магистралей отвечает большинству из перечисленных целей программы. Поэтому создание высокоскоростных пассажирских коридоров выделено в ней как одно из направлений работы в целях модернизации железнодорожной сети наряду с обновлением подвижного состава, внедрением передовых технологий при оказании услуг, усовершенствованием существующих путей и станций. Кроме того, у Индии есть возможности для того, чтобы сделать этот вид транспорта прибыльным и динамично развивающимся:

- высокая численность и плотность населения;
- развитие процесса урбанизации;
- рост доходов населения;
- повышение мобильности населения и экономический рост в стране;
- предпочтительность железнодорожного транспорта для населения.

В то же время существуют факторы, препятствующие развитию высокоскоростного железнодорожного сообщения:

- высокая стоимость новых проектов, значительно превышающая стоимость модернизации старых,
- длительность строительства,

---

<sup>5</sup> Там же.

<sup>6</sup> Там же.

сложные географические условия. На линиях маршрутов, наиболее выгодных для строительства высокоскоростных веток, располагается лишь небольшое число крупных населенных пунктов [11],

невозможность (во многих местах) модернизации существующих сетей до уровня скоростных или высокоскоростных перевозок из-за крутых поворотов, ограничивающих скорость движения поездов.

Таким образом, необходимо сделать выбор: либо строить новые высокоскоростные ветки, либо заняться модернизацией и повышением скорости движения на старых традиционных ветках. При этом камнем преткновения является вопрос о стоимости и сроках строительства высокоскоростных магистралей. Учитывая ограниченность ресурсов, правительство Индии занимает осторожную позицию, поэтому сейчас в стадии строительства находится только один проект – ветка Мумбаи–Ахмадабад.

***Железнодорожная ветка Мумбаи–Ахмадабад:  
первый опыт строительства высокоскоростной инфраструктуры  
в Индии***

В соответствии с программой «Видение железных дорог 2020» было выделено несколько маршрутов высокоскоростных магистралей: Мумбаи–Ахмадабад, Дели–Амритсар, Хайдарабад–Ченнай, Хаура–Халдия, Ченнай–Эрнакулам, Дели–Патна. На первом этапе (до 2020 г.) планировалось построить четыре высокоскоростных коридора общей протяженностью около 2000 км, на втором этапе – восемь добавочных коридоров.

Пилотным проектом стало направление Мумбаи (штат Махараштра) – Ахмадабад (штат Гуджарат). Аргументами в пользу этого выбора послужили:

удачное расположение ветки. Штаты Махараштра и Гуджарат являются одними из наиболее населенных и экономически развитых. Кроме того, большая часть населения поддерживает существующее правительство [11];

густонаселенность района строительства и наличие крупных городов (уровень урбанизации в штатах Махараштра и Гуджарат несколько выше, чем в среднем по стране, см. табл. 2) повышают вероятность окупаемости проекта, достигаемой при пассажиропотоке на уровне 8–10 млн чел. в год для ветки длиной 500 км [3];

Таблица 2

**Населенность территории вдоль ветки Мумбаи–Ахмадабад в 2011 г. [16]**

Штат	Площадь, км <sup>2</sup>	Численность населения, чел.	Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>	Численность городского населения, %
Махараштра	307 713	112 374 333	365	45
Гуджарат	196 244	60 439 692	308	43
Индия в целом	3 287 469	1 210 854 977	368	31

оптимальная протяженность ветки – 508 км. Считается, что пассажироперевозки по высокоскоростным магистральям более рентабельны на относительно коротких расстояниях – до 800 км [2]. При увеличении протяженности объем пассажиропотока и рентабельность резко снижаются, так как пассажиры выбирают воздушные перевозки, в то время как расходы на содержание линии растут [6];

высокая мобильность населения, что видно по интенсивности транспортного сообщения между конечными пунктами. Города Ахмадабад и Мумбаи связаны различными видами транспорта. По этому направлению ежедневно отправляются более 20 рейсов поездов и более 10 – самолетов. В наличии автодорога № 8. Для дальних перемещений используются автобусы (средняя скорость 50–70 км/ч), поезда (80–120 км/ч) или воздушный транспорт, для более коротких – преимущественно автомобили. Средняя продолжительность (ч) путешествия между двумя городами: на самолете – 1–1,5, поезде – 7–12, автобусе – 12–14, автомобиле – 7–9 [15].

Технико-экономическое обоснование проекта было подготовлено в 2013 г. Японским агентством международного сотрудничества и Министерством железных дорог Индии. Согласно проектной документации ветка Мумбаи–Ахмадабад будет иметь длину 508 км. Максимальная скорость движения поездов – 350 км/ч. Предусмотрено 12 промежуточных станций. 21 км дороги пройдет по туннелям, из них 7 км – по подводному туннелю<sup>7</sup>. Предполагается, что строительство ветки завершится в 2022 г. [7]. Предположительная цена билетов – 3000 рупий для эконом-класса [14]. Общая стоимость проекта оценивается в 17 млрд долл. В феврале 2016 г. Индия создала отдельную структуру – Национальную корпорацию высокоскоростных дорог, которая курирует строительство ветки Мумбаи–Ахмадабад, а также работу по проведению технико-экономической оценки проектов высокоскоростных железных дорог по другим направлениям.

В качестве рабочей была выбрана модель исключительной эксплуатации, по японскому образцу, так как в любом случае из-за множества крутых поворотов и необходимости модернизации уже имеющихся путей использование на них высокоскоростных составов было бы ограничено. В то же время объем прогнозируемого пассажиропотока достаточен для превращения ветки в прибыльный проект. Использование модели исключительной эксплуатации позволяет избежать ряда проблемных моментов и добиться наиболее интенсивного использования имеющихся мощностей за счет таких преимуществ указанной модели, как:

максимальное спрямление пути следования поездов во избежание крутых поворотов и необходимости сбрасывать скорость, что позволит дополнительно сократить время путешествия;

оптимизация логистики за счет упрощения сетки расписания и исключения необходимости пускать по одной ветке грузовые и пассажирские составы разных скоростей движения;

увеличение частоты движения поездов и пропускной способности ветки. Высвободившиеся мощности имеющихся на настоящий момент путей следования можно будет использовать под расширение грузовых перевозок;

повышение безопасности передвижения. На японских железных дорогах, где действует данная модель организации движения, с 1964 г. не произошло ни одной аварии с фатальным исходом. Контроль за системами движения и безопасности на высокоскоростных магистралях осуществляется легче, чем на самолетах [13];

устранение проблемы ускоренного износа линий, вызываемого движением составов разных весов.

Необходимо отметить, что реализация этого проекта предполагает тесное сотрудничество с японской стороной: при строительстве используются японские технологии и стандарты, которые в некоторых случаях значительно отличаются от индийских (например, ширина колеи новой ветки будет стандартной – 1435 мм, тогда как в Индии используется широкая колея – 1676 мм). Японские специалисты контролируют ход строительства, кроме того, проект софинансируется японской стороной. Японское агентство по международному сотрудничеству предоставляет кредит в размере 85 % стоимости проекта по ставке 0,1 %. Введен мораторий на выплаты в течение 15 лет. Срок погашения 50 лет. Оставшаяся часть стоимости будет финансироваться правительствами штатов Гуджарат и Махараштра.

Для ветки Мумбаи–Ахмадабад правительство страны приобретет 18 составов синкансенов из Японии общей стоимостью 70 000 млрд рупий. В каждом составе будет по 10 вагонов. Сделка предполагает передачу технологий и организацию производства синкансенов на территории Индии [14].

---

<sup>7</sup> Joint Feasibility Study for Mumbai-Ahmedabad High Speed Railway Corridor / Japan International Cooperation Agency, Ministry of Railways, Republic of India (MOR), Japan International Consultants for Transportation Co., Ltd., Oriental Consultants Global Co., Ltd., Nippon Koei Co., Ltd. 2015. Vol. 1–6. – <https://www.nhsrcl.in/project/feasibility-study-report> (accessed: 17.11.2019).

Ожидаемые положительные эффекты от строительства ветки Мумбаи–Ахмадабад: сбалансированное экономическое развитие региона за счет упрощения путешествий между населенными пунктами по маршруту;

уменьшение загрязнения воздуха. Согласно исследованиям, после строительства ветки к 2050 г. около половины пассажиропотока будет перевозиться с помощью железной дороги. Высокоскоростные железнодорожные перевозки являются более экологически чистыми для окружающей среды, чем автомобильные перевозки;

экономия площади. Строительство высокоскоростной ветки более экономно территориально, чем строительство автобана. Это важно в местностях с высокой плотностью населения [15], особенно учитывая тот факт, что на 2009 г. индийская государственная сеть автомагистралей обеспечивала 40 % транспортных перевозок и приблизилась к лимиту своей пропускной способности, при этом строительство новых автодорог требует большего количества земельных ресурсов, а также приведет к большему расходу топлива и загрязнению атмосферы<sup>8</sup>.

В результате изучения доступных материалов по кейсу можно утверждать, что первое предположение подтвердилось, т.е. ветка Мумбаи–Ахмадабад отвечает предпосылкам развития ВСМ и позволит достичь положительных социо-экономического и экологического эффектов для прилегающих территорий.

В то же время необходимо отметить, что реализация проекта сталкивается с рядом трудностей, которые даже ставили под сомнение возможность завершения строительства к назначенному сроку.

Первым негативным моментом явилось обесценивание рупии, что привело к повышению стоимости проекта.

Вторым проблемным моментом является необходимость скупки земель у крестьян. Индийские железные дороги скупают 1400 га земель в Гуджарате и Махараштре на сумму 100 000 млрд рупий. Этот процесс сталкивается с сопротивлением крестьян, чьи участки окажутся «разрезаны» новой веткой, даже несмотря на предложенные модели компенсации. Особенно противятся скупке земель крестьяне в округе Палгхар в Мухараштре [8].

Уже сейчас ясно, что поставленная в программе «Видение железных дорог 2020» амбициозная цель создания к 2020 г. четырех высокоскоростных железнодорожных коридоров не будет достигнута ни при каких условиях.

Сроки, указанные в технико-экономическом обосновании проекта Мумбаи–Ахмадабад (введение в эксплуатацию в 2021 г.)<sup>9</sup>, также не будут выполнены. Сейчас введение ветки в эксплуатацию отодвинуто на 2023 г. [12]. При этом по состоянию на конец 2018 г. проект был в стадии скупки земель и разработки конструкторских решений. В соответствии с информацией, размещенной на сайте Национальной корпорации высокоскоростных дорог, по состоянию на август 2019 г. продолжается проведение тендеров на разноплановые дизайнерские и конструкторские работы.

Все это позволяет сделать вывод, что второе предположение относительно кейса также подтверждается: в ходе реализации проекта ветки Мумбаи–Ахмадабад возник ряд проблем, приведших к увеличению сроков строительства.

## Заключение

В качестве пилотного проекта по развитию высокоскоростного железнодорожного сообщения в Индии было выбрано направление Мумбаи–Ахмадабад. Несмотря на очевидные выгоды для экономики региона в случае реализации проекта, он сталкивается с рядом сложностей, в том числе связанных с общественным недовольством.

<sup>8</sup> Indian Railways. Vision 2020 ...

<sup>9</sup> Joint Feasibility Study for Mumbai–Ahmedabad High Speed Railway Corridor ...

Имеющийся на настоящий момент опыт по строительству высокоскоростной ветки Мумбаи–Ахмадабад позволяет сделать ряд рекомендаций для повышения эффективности дальнейших усилий правительства Индии по развитию высокоскоростных магистралей в стране.

Во-первых, необходимо повысить прозрачность и доступность информации по реализации проекта для населения и других заинтересованных лиц.

Во-вторых, целесообразно предпринять усилия по созданию положительного образа реализуемых проектов с предоставлением информации на языке, доступном широкому кругу населения. Провести разъяснительную работу относительно преимуществ высокоскоростных железнодорожных поездов в сравнении с другими видами транспорта.

В-третьих, для повышения доступности построенных линий и увеличения пассажиропотока важно установить стоимость билетов ниже, чем на авиаперевозки.

В-четвертых, необходимо уделить внимание сопряжению высокоскоростных веток с другими видами транспорта для повышения удобства их использования. С одной стороны, рациональным является вариант, когда сеть высокоскоростных дорог складывается только по основным направлениям междугородного перемещения населения. Это позволяет разгрузить существующие железнодорожные и автомобильные магистрали от избыточного пассажиропотока. Удобная стыковка с другими видами транспорта обеспечивает беспрепятственное перемещение населения по менее активно используемым маршрутам. С другой стороны, для выбранной модели исключительной эксплуатации логичным представляется строительство отдельных вокзалов для высокоскоростного транспорта: это позволит добиться обеспечения более высоких стандартов безопасности, что особенно важно, учитывая недостаточно развитую культуру безопасного пользования железнодорожным транспортом у населения Индии, а также избежать наложения графиков движения высокоскоростных и стандартных поездов. Стоит иметь в виду, что выкуп подходящего для вокзала участка земли в центре города может быть проблематичным, а при строительстве его на окраине или за пределами города высокоскоростная ветка может потерять свое преимущество по экономии времени в сравнении с авиатранспортом (если путь до вокзала приводит к значительным потерям времени).

В-пятых, следует планировать строительство новых высокоскоростных веток так, чтобы в перспективе сформировалась полноценная сеть высокоскоростных железных дорог. То есть при принятии решения о строительстве ветки, объявлении тендеров на проведение проектных и конструкторских работ необходимо добиваться максимальной совместимости используемых технологий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Канаев П., Кокорева М. Путин не одобрил проект ВСМ Москва–Казань // РБК. 2019. – <https://www.rbc.ru/business/28/03/2019/5c9cd0a49a7947366db46c69>
2. Chen Z. Impacts of high-speed rail on domestic air transportation in China // *J. Transp. Geogr.* 2017. Vol. 62. P. 184–196. – <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.04.002> (дата обращения: 15.07.2018).
3. De Rus G., Nombela G. Is investment in high speed rail socially profitable? // *J. Transport Economics and Policy.* 2007. Vol. 41, N 1. P. 3–23. – <http://www.jstor.org/stable/20054001> (дата обращения: 15.07.2018).
4. Economic analysis of high speed rail in europe / ed. de Rus G. Bilbao: Fundación BBVA, 2009. 140 p. – [https://w3.grupobbva.com/TLFU/dat/inf\\_web\\_economic\\_analysis.pdf](https://w3.grupobbva.com/TLFU/dat/inf_web_economic_analysis.pdf) (дата обращения: 17.11.2019).
5. Estimation des ressources et des activités économiques liées a la grande vitesse / International Union of Railways. Paris: CENIT (Center for Innovation in Transport, Univ. Politecnica de Catalunya), 2005. 45 p.
6. González-Savignat M. Competition in Air Transport: The Case of the high speed train // *Journal of Transport Economics and Policy.* 2004. Vol. 38, N 1. P. 77–107. – <http://www.jstor.org/stable/20173046> (дата обращения: 15.07.2018).
7. High speed rail project started in India // UITP. – <https://india.uitp.org/articles/India-first-high-speed-rail> (дата обращения: 01.11.2018).
8. India's first bullet train manages to drive through land acquisition deadlock // *Economic Times.* 2018. – [https://economictimes.indiatimes.com/industry/transportation/railways/indias-first-bullet-train-manages-to-drive-through-land-acquisition-deadlock/articleshow/64880783.cms?utm\\_source=contentofinterest&utm\\_medium=text&utm\\_campaign=cppst](https://economictimes.indiatimes.com/industry/transportation/railways/indias-first-bullet-train-manages-to-drive-through-land-acquisition-deadlock/articleshow/64880783.cms?utm_source=contentofinterest&utm_medium=text&utm_campaign=cppst) (дата обращения: 01.11.2018).

9. Indian Railways Year Book 2017–2018 / Government of India, Ministry of Railways. 2018. 172 p.
10. International transport forum round tables competitive interaction between airports, airlines and high-speed rail / OECD. Paris: OECD Publ., 2009. 210 p.
11. Levy A. High-speed rail in India // Pedestrian Observations. 2018. – <https://pedestrianobservations.com/2018/09/15/high-speed-rail-in-india/> (дата обращения: 01.11.2018).
12. National high speed rail corporation limited website. – <https://www.nhsrcl.in/> (дата обращения: 05.08.2019).
13. Raghuram G., Udayakumar P.D. Dedicated High Speed Rail Network in India: Issues in Development // IIMA Working Papers. 2016. – <https://web.iima.ac.in/assets/snippets/workingpaperpdf/10701585992016-03-58.pdf> (дата обращения: 12.11.2018).
14. Rajat A. India on track to buy 18 bullet trains from Japan for Rs 7,000 crore // Economic Times. – [https://economictimes.indiatimes.com/industry/transportation/railways/india-on-track-to-buy-18-bullet-trains-from-japan-for-rs-7000-crore/articleshow/65678899.cms?utm\\_source=contentofinterest&utm\\_medium=text&utm\\_campaign=cppst](https://economictimes.indiatimes.com/industry/transportation/railways/india-on-track-to-buy-18-bullet-trains-from-japan-for-rs-7000-crore/articleshow/65678899.cms?utm_source=contentofinterest&utm_medium=text&utm_campaign=cppst) (дата обращения: 01.11.2018).
15. Shukla P., Pathak M., Mittal Sh., Dhar S. Scenarios and roadmap for intercity transport in India: The role of high speed rail. Ahmedabad: Indian Institute of Management, 2015. 45 p. DOI: 10.13140/RG.2.1.2678.7287.
16. Statistical Year Book India 2018 / Ministry of Statistics and Programme Implementation, Government of India. – <http://www.mospi.gov.in/statistical-year-book-india/2018> (дата обращения: 12.11.2018).
17. World Bank Open Data. – <https://data.worldbank.org/> (дата обращения: 12.11.2018).

**Ярошук Елена Игоревна**

В 2006 г. окончила Дальневосточный государственный технический университет (ДВПУ им. В.В. Куйбышева), получив специальность «геозколог», и была принята на работу в должности инженера в Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН. В 2009–2013 гг. прошла обучение в аспирантуре по специальности «Океанология». В настоящее время работает в лаборатории геохимии осадочных процессов в должности ведущего инженера. Научные интересы Елены Игоревны связаны с изучением этапности рудообразования на подводных возвышенностях Японского моря, исследованием гранулометрического состава донных осадков восточноарктических морей России в рамках международного проекта.

Имеет публикации в рецензируемых журналах, активно участвует в работе научных конференций всероссийского и регионального уровней.

УДК 553.2(265.54)

DOI: 10.25808/08697698.2020.209.1.015

Е.И. ЯРОШУК

## Рудные корки возвышенности Шевалдина и горы Петра Великого (Центральная котловина Японского моря)

*Приводятся данные о строении и химическом составе маломощных рудных корок, впервые поднятых при драгировании в пределах возвышенности Шевалдина и горы Петра Великого (Японское море). Образование корок на обеих подводных вулканических возвышенностях связано с цементацией марганцевыми гидроокислами мелких кусочков зеленовато-бурых глинистых минералов (железистых силикатов). По химическому составу корки относятся к марганцево-железо-кремнистым. Изменения содержания главных элементов Mn, Fe, Si связано с количеством включений бурых кусочков Fe-силикатов. Результаты химического анализа и образование рудных корок на склонах подводных вулканов позволяют отнести их к гидротермально-осадочным образованиям.*

*Ключевые слова:* марганцево-железкремнистые корки, Fe-силикаты, подводные вулканы, Японское море.

**Ore crusts of the Shevaldin Seamount and the Peter the Great Seamount (The Central Basin of the Sea of Japan).** E.I. YAROSHCHUK (V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

ЯРОШУК Елена Игоревна – ведущий инженер (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток). E-mail: e.yaroshchuk@poi.dvo.ru

Работа выполнена по госбюджетной теме «Палеоокеанология окраинных морей Востока России и примыкающих районов Тихого океана, особенности и этапность кайнозойского осадконакопления, магматизма и рудогенеза» (№ АААА-А17-117030110033-0).

*The data are given on the structure and chemical composition of low-power crusts of the Shevaldin Seamount and the Peter the Great Seamount (the Sea of Japan). The formation of crusts on the both underwater volcanoes is associated with the cementation of the small fragments of the greenish-brown clay minerals (ferruginous silicates) by the manganese hydroxides. By chemical composition, the crusts are manganese-ferro-siliceous. The changes in the content of the main elements Mn, Fe, Si are associated with the number of inclusions of brown pieces of Fe-silicates. The results of the chemical analysis and the formation of the ore crusts on the slopes of underwater volcanoes can be attributed to the hydrothermal sedimentary formations.*

*Key words: manganese-ferro-siliceous crusts, Fe-silicates, underwater volcanoes, the Sea of Japan.*

## **Введение**

Центральная (Японская) котловина – самая большая и глубокая в Японском море. Она протягивается в северо-восточном направлении до 900 км при средней ширине 250 км. Максимальная глубина – 3669 м. Поверхность дна котловины ровная, с отдельными вулканическими возвышенностями. При драгировании привершинных частей большинства этих структур совместно с вулканитами часто поднимали железомарганцевые корки. Содержание главных рудных элементов в них варьирует в широких пределах: Mn – от 0,2 до 63,1 % (среднее – 33,4 %), Fe – от 0,007 до 42,5 % (среднее – 6,4 %) [2]. Образование железомарганцевых корок в Японском море связано с гидротермально-осадочным процессом. На это указывают приуроченность их к привершинным частям подводных вулканических построек, особенности химического состава и заполнение пор подстилающих базальтов гидроокислами марганца [2, 10, 11].

В 2013 и 2014 гг. в экспедициях Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва (ТОИ) ДВО РАН впервые были подняты рудные корки с возвышенности Шевалдина и горы Петра Великого. Результаты исследования этих корок приведены в данной работе.

## **Материал и методы**

Материалом для изучения послужили образцы рудных корок, впервые поднятых при драгировании в пределах возвышенности Шевалдина и горы Петра Великого в экспедициях ТОИ ДВО РАН в 2013–2014 гг.

Наиболее представительные образцы изучались с помощью бинокля Stemi 2000-C, оснащенного цифровой камерой AxioCam MRc.

Для определения содержания Fe, Mn, Si, Al, Ca, Mg, Ti в образцах использовался атомно-эмиссионный (с индуктивно связанной плазмой) метод анализа на спектрометре Agilent 7500c (Agilent Technologies, США) в Центре коллективного пользования Дальневосточного геологического института ДВО РАН. Все элементы определялись на навеску, высушенную при 105 °С.

Дополнительно производился точечный анализ количественного содержания химических элементов на портативном рентгенофлуоресцентном энергодисперсионном спектрометре Olympus Delta DPO2000 в режиме заводской калибровки «Геохимия». Проверка точности определения химических элементов проверялась по отечественным (ООПО402, ООКО301, ООКО202, ООКО302, ООКО303) и международным (HISS-1, PACS-3, MESS-4) стандартным образцам донных отложений. Корректировка заводской калибровки Delta DPO2000 проводилась с помощью уравнений регрессий, вычисленных на основе этих стандартов.

## Геологическое строение возвышенности Шевалдина и горы Петра Великого

Возвышенность Шевалдина расположена в зоне сочленения Центральной (Японской) котловины Японского моря с возвышенностью Ямато (рис. 1, а). Впервые возвышенность Шевалдина была обнаружена и описана сотрудниками ТОИ ДВО РАН как отдельная структура в 30/31-м рейсе НИС «Профессор Богоров» в 1989 г. В 2014 г. в 68-м рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев», организованном ТОИ ДВО РАН, выполнены детальные морфологические исследования этой структуры и проведено дополнительное геологическое опробование (драгирование). Данные исследования показали, что возвышенность Шевалдина примыкает к северной части крупной возвышенности Северное Ямато примерно по изобате 2500 м. Она имеет изометричную форму и слегка вытянута в меридиональном направлении. Длина ее около 15 км при ширине основания около 12 км (по изобате 3000 м). Минимальная глубина над вершиной – 1685 м. Возвышенность имеет сложное строение и состоит из двух частей – пьедестала и отчетливо выраженной привершинной части. В ее западной части расположена кальдера, которая открывается на север в сторону Центральной котловины. Базальты, слагающие возвышенность, имеют позднемиоцен-плиоценовый возраст и относятся к пострифтовому типу вулканизма [7, 9].

В 2014 г. драгирование проводилось на крутых восточном и западном склонах привершинной части горы в интервале 1700–2300 м. На обеих станциях (LV68-1 и LV68-2) поднято незначительное количество (не более 5 кг) каменного материала щебнистой размерности. Среди поднятого материала совместно с базальтами и слаболитифицированными

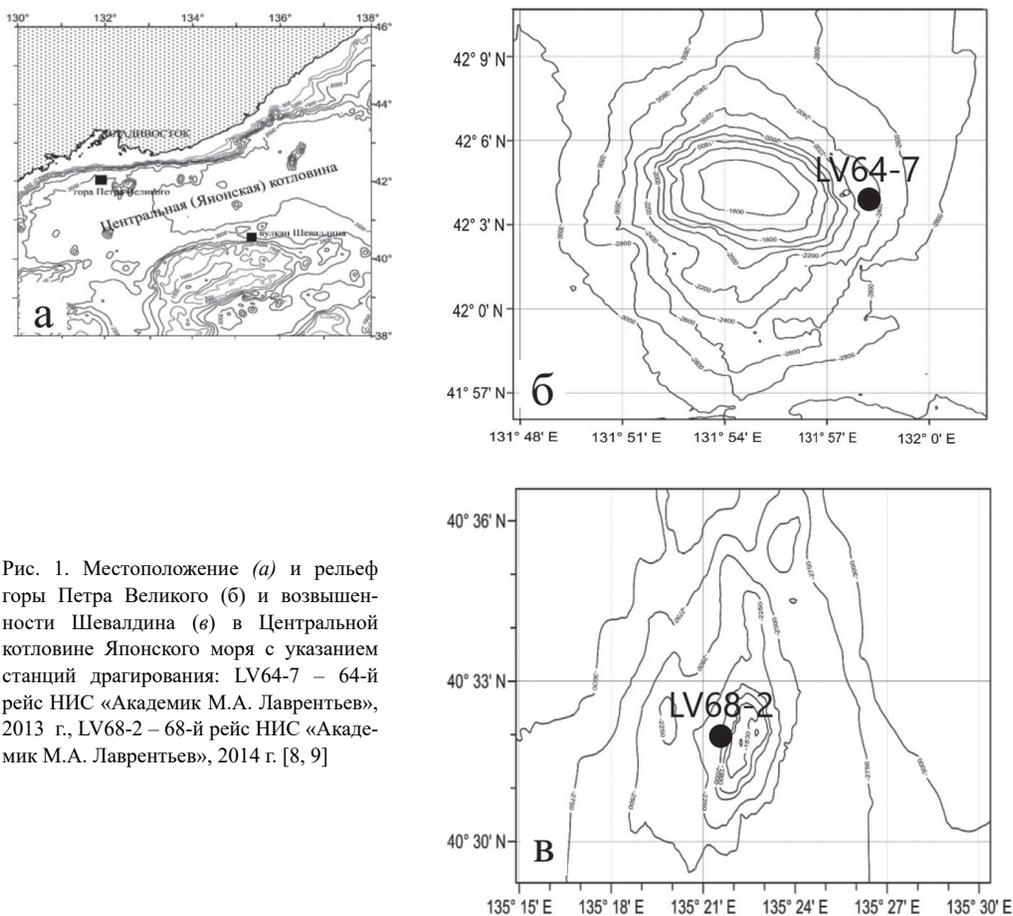


Рис. 1. Местоположение (а) и рельеф горы Петра Великого (б) и возвышенности Шевалдина (в) в Центральной котловине Японского моря с указанием станций драгирования: LV64-7 – 64-й рейс НИС «Академик М.А. Лаврентьев», 2013 г., LV68-2 – 68-й рейс НИС «Академик М.А. Лаврентьев», 2014 г. [8, 9]

осадочными породами впервые подняты обломки маломощных рудных корок толщиной до 1 см [9].

Гора Петра Великого расположена в северо-западной части Центральной котловины рядом с подножием материкового склона (рис. 1, б). Гора представляет собой вулканическую постройку округлой конусовидной формы высотой около 2000 м. Минимальная глубина над вершиной – 1430 м. Северо-западный склон вулкана крутой, а юго-восточный – более пологий. Первые исследования этой горы проводились сотрудниками ТОИ ДВО РАН геофизическими методами на НИС «Профессор Гагаринский» в 1990–2003 гг. Позже, в 2010 и 2013 гг. (52-й и 64-й рейсы НИС «Академик М.А. Лаврентьев»), изучение ее были продолжены геологическими методами [8]. Всего выполнено 5 станций драгирования на западном и восточном склонах горы. В результате этих работ были подняты базальты и слаболитифицированные осадочные породы, представленные туфодиатомидами и диатомовыми глинами с пирокластикой позднемиоцен-плейстоценового возраста [5]. В одной драге (LV64-7), отобранной на западном склоне, среди каменного материала были обнаружены маломощные рудные корки.

### Результаты и их обсуждение

Отобранные на возвышенности Шевалдина и в пределах горы Петра Великого образцы рудных корок представляют собой черные, иногда буроватые, рыхлые, редко более плотные образования толщиной примерно 1 см. Образцы изучены под бинокуляром.

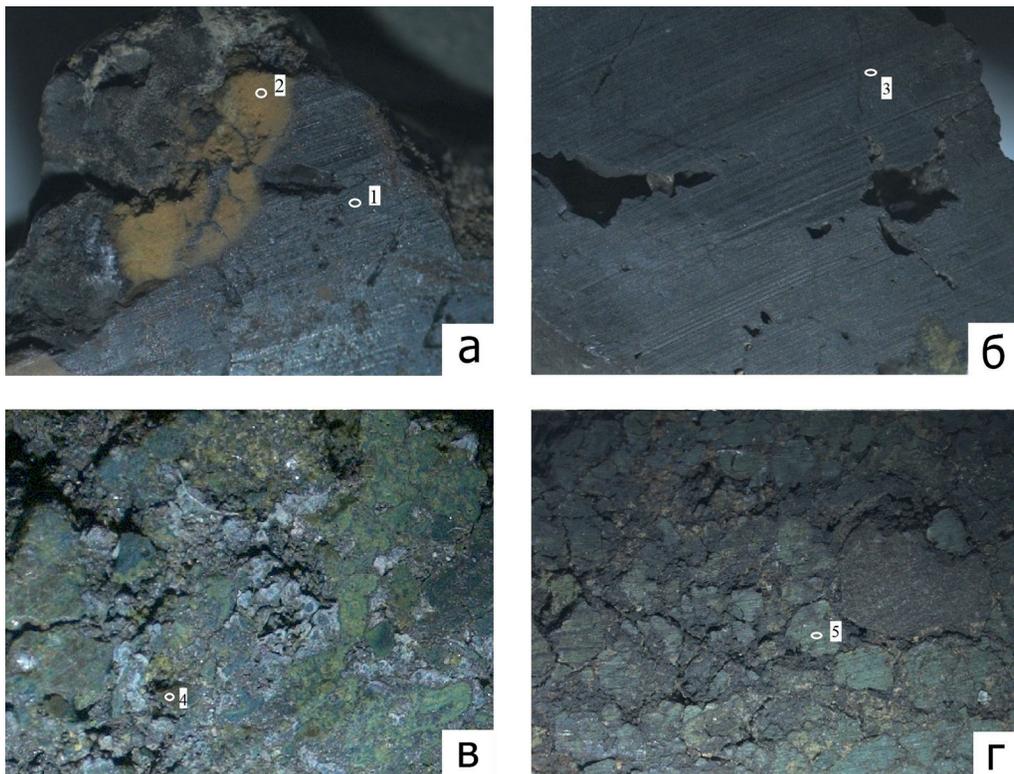


Рис. 2. Образцы рудных корок с возвышенности Шевалдина (а–в) и горы Петра Великого (г): а – цементация железомарганцевыми гидроокислами (1) бесформенных комочков Fe-Si состава (2); б – внешний вид массивного образования черного цвета преимущественно Mn состава (3); в – цементация аморфным кремнеземом бесформенных комочков Fe-Si состава (4); г – внешний вид кремнистой корки, бесформенные зеленые комочки Fe-Si состава (5) в цементе (вид под бинокуляром, ув. 4)

Таблица 1

Химический состав образцов рудных корок с возвышенности Шевалдина и горы Петра Великого (Mn – п.л.л. в %, Co – Л.л, в г/т)

Элемент	LV68-2-1	LV68-2-2	LV64-7	Элемент	LV68-2-1	LV68-2-2	LV64-7	Элемент	LV68-2-1	LV68-2-2	LV64-7
Mn	0,18	1,27	32,76	Co	14,35	27,38	11,35	La	3,61	5,74	46,14
Fe <sub>вс.</sub>	26,26	27,44	7,19	Ni	44,50	80,00	168,50	Ce	3,34	5,59	35,32
Si	19,58	18,51	10,28	Cu	31,46	12,00	20,55	Pr	2,42	3,58	25,86
Ti	0,001	0,003	0,026	Zn	48,48	26,67	397,56	Nd	1,79	2,95	22,08
Al	0,01	0,02	0,68	Pb	5,06	1,87	36,77	Sm	1,41	2,25	13,75
Mg	2,22	2,26	1,57	Mo	2,91	11,33	131,46	Eu	1,13	2,00	7,84
Ca	0,29	0,29	1,13	As	51,87	57,51	16,25	Gd	1,36	2,27	11,27
Na	1,18	1,02	2,82	W	4,26	6,90	6,64	Tb	1,23	1,61	10,55
K	4,91	4,53	1,96	Cr	2,25	3,35	12,88	Dy	0,91	1,41	9,93
P	0,12	0,11	0,05	V	14,35	27,38	11,35	Ho	0,89	1,36	10,40
Mn/Fe	0,01	0,05	4,56	Ba	38,13	63,61	465,64	Er	1,00	1,58	10,69
Fe/Si	1,34	1,46	0,70	Sr	112,64	103,22	287,13	Tm	0,88	1,52	10,72
Mn/Si	0,01	0,07	3,19	Li	32,56	40,00	352,74	Yb	1,17	1,72	11,16
(Mn+Fe)/Ti	21443	10071	1536	Rb	155,60	152,65	87,45	Lu	1,55	2,16	11,03
Al/(Al+Mn+Fe)	0,0004	0,0006	0,17	Y	2,99	4,04	18,65	ΣРЗЭ	6,85	11,12	75,15

Оказалось, что они представляют собой мелкие обломки глинистого вещества (Fe-силикатов) бурого или зеленоватого цвета, сцементированные железомарганцевыми гидроокислами (рис. 2). Подобные отложения выявлены на многих подводных вулканических возвышенностях Японского моря и определены как селадонит (гидротермальный минерал) [1, 6].

Валовый химический состав рудных корок приведен в табл. 1. Согласно данным анализа рудные корки возвышенности Шевалдина (обр. LV68-2-1, LV68-2-2) относятся к железокремнистым (Fe/Si – 1,34 и 1,46, Mn/Si – 0,01 и 0,07 соответственно), а горы Петра Великого (обр. LV64-7) – к кремнисто-железомарганцевым (Fe/Si – 0,70, Mn/Si – 3,19) (рис. 3). В первом случае модули меняются: Mn/Fe – от 0,007 до 0,046, (Mn+Fe)/Ti – от 10071 до 21443 и Al/(Al+Mn+Fe) – от 0,0004 до 0,0007, а во втором – 4,56, 1536 и 0,017 соответственно.

Для гидrogenных железомарганцевых образований значения титанового модуля находятся в пределах от 25 до 60, а в гидротермальных – выше 100 [4]. Значения алюминиевого модуля менее 0,4 указывает на содержание в осадке эксгалитивной компоненты [13].

Содержание микроэлементов во всех образцах незначительно. Сумма Ni, Co, Cu для образца с горы Петра Великого равна 200 г/т, причем наибольшее содержание отмечается для Ni (169 г/т). Для образцов с возвышенности Шевалдина сумма этих элементов примерно в два раза ниже и изменяется от 90 до 119 г/т. Кроме никеля в корках горы Петра Великого фиксируется значительно более высокое

содержание цинка, молибдена, бария, стронция, лития и РЗЭ по сравнению с корками с возвышенности Шевалдина (табл. 1).

При нанесении данных на классическую треугольную диаграмму Fe–Mn–(Ni+Co+Cu)·10, разделяющую железомарганцевые образования на гидротермальные и гидротермальные, выявляется, что они размещаются в основании диаграммы (рис. 3, а), что, согласно Е. Бонатти с соавторами [12], характеризует существенно гидротермальный источник вещества, участвовавшего в железомарганцевом рудообразовании на подводных возвышенностях Центральной котловины Японского моря.

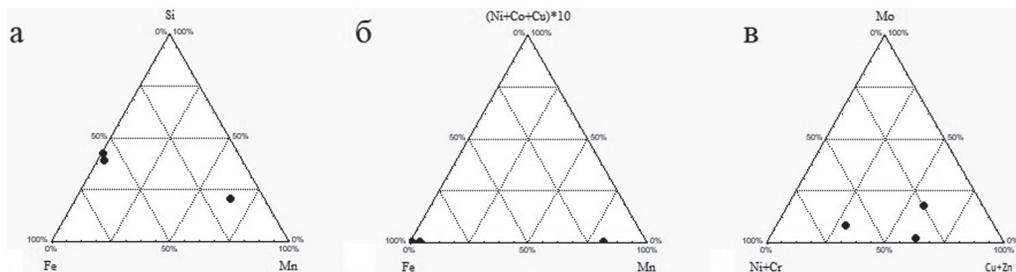


Рис. 3. Состав образцов рудных корок с возвышенности Шевалдина и горы Петра Великого на тройной диаграмме: а – Fe–Mn–Si, б – Fe–Mn–(Co+Cu+Ni) · 10, в – Cu+Zn–Mo–Ni+Cr

Для выяснения возможных источников металлов в гидротермальных железомарганцевых корках Идзу-Бонинской дуги Дж. Хейн с соавторами [14] предложили использовать тройную диаграмму Cu+Zn–Mo–Ni+Cr (рис. 3, в).

Вулканические постройки Центральной котловины сформированы в основном базальтами окраинно-морского типа, для которых, как и для ультраосновных пород Идзу-Бонинской дуги, характерны высокие содержания хрома, никеля, кобальта [3]. Следовательно, тройная диаграмма, разработанная Дж. Хейном с соавторами, применима для рудных корок Японского моря. На этой диаграмме (рис. 3, в) полученные данные занимают положение, указывающее на то, что основным источником металлов могли служить сульфиды, отложившиеся из гидротермальных растворов на более низких горизонтах в вулканических породах [14].

Распределение РЗЭ (рис. 4), нормализованных на хондрит, сравнимо с распределением их в базальтах Японского моря [5]. Вероятнее всего, источником этих элементов также являются подстилающие базальты.

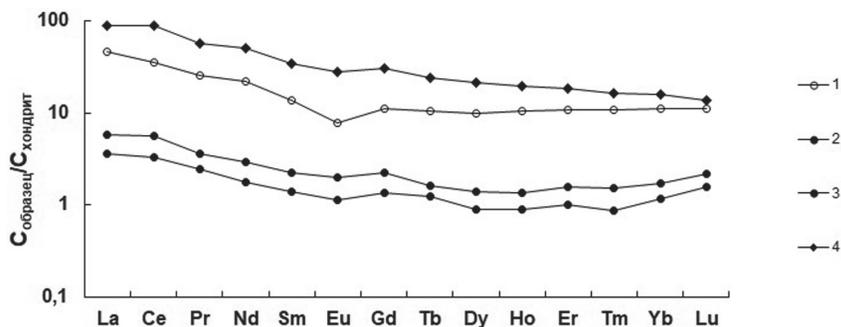


Рис. 4. Распределение хондрит-нормализованных РЗЭ в образцах рудных корок с подводных возвышенностей (1–3) и в базальтах Японского моря (4). Станции: 1 – LV64-7-1; 2 – LV68-2-1; 3 – LV68-2-2; 4 – базальты горы Петра Великого (данные по содержанию РЗЭ в базальтах взяты из работы [5])

Изучение химического состава отдельных минеральных агрегатов показало, что наибольшие содержания Mn (23,84 и 39,36 %) и Fe (2,15 и 22,02 %) отмечаются в цементе от темно-серого до черного цвета в образцах с возвышенности Шевалдина (табл. 2, рис. 2, а, б).

Таблица 2

**Результаты точечного анализа образцов рудных корок с возвышенности Шевалдина и горы Петра Великого (Fe – К, в %, Ni – Rb, в г/т)**

Элемент	Возвышенность Шевалдина				Гора Петра Великого
	1	2	3	4	5
Fe	22,02	30,22	2,15	19,75	18,68
Mn	23,84	9,47	39,36	12,61	6,04
Si	5,07	8,59	3,68	11,72	18,03
Ti	0,19	0,10	0,12	н.о.	0,12
Al	0,24	1,32	0,97	0,49	0,20
Mg	н.о.	2,39	н.о.	1,94	1,65
Ca	0,21	0,20	0,50	0,31	0,99
K	0,99	1,09	0,90	1,90	1,97
Ni	51,93	н.о.	283,38	185,12	110,89
Zn	46,88	103,01	108,97	87,01	425,88
Pb	103,23	226,32	218,42	81,58	47,90
Mo	158,00	64,31	328,23	115,05	46,79
W	237,75	86,07	144,82	н.о.	59,28
V	1255,78	328,56	851,94	н.о.	141,34
Sr	504,63	205,53	401,41	101,88	154,46
Rb	37,08	60,74	18,53	91,80	98,97

Примечание. Цифрами 1–5 обозначены области попадания рентгеновского луча в образцах рудных корок, фотографии которых приведены на рис. 2; н.о. – элемент не обнаружен.

Темно-коричневый обломок с прожилками марганца (табл. 2, рис. 2, а) имеет высокое содержание Fe (30,22 %) при относительно невысоких Mn и Si (9,47 и 8,59 % соответственно). В зернах зеленого цвета в образцах с горы Петра Великого и возвышенности Шевалдина содержание Fe варьирует от 18,7 до 19,8 %, Mn – от 6,04 до 12,61 %, содержание Si составляет 18,0 и 11,7 % соответственно (табл. 2, рис. 2, в, г). Следует заметить, что область точечного анализа превышает размер зерен, и поэтому захватывается окружающая матрица. В данном случае содержание марганца может быть завышено.

### Заключение

Рудные корки, поднятые при драгировании с возвышенности Шевалдина и горы Петра Великого, сформировались в результате цементации железомарганцевыми гидроокислами мелких кусочков глинистых минералов железокремнистого состава. Они образовались в позднем кайнозое, о чем свидетельствуют поднятые одновременно с ними отложения позднемиоцен-плейстоценового возраста (гора Петра Великого). Значения геохимических модулей (титанового и алюминиевого) указывают на значительное содержание в рудных отложениях эксгалативной компоненты. Расположение фигуративных точек валового химического состава в основании треугольной диаграммы Е. Бонатти также подтверждает их гидротермальное происхождение.

Источником рудного вещества являлись поствулканические гидротермальные растворы, циркулировавшие по трещинам в вулканических породах. Первичными были образования Fe-силикатов. Так как вулканизм на этих возвышенностях Японского моря имел длительный и пульсирующий характер, то состав и температура поствулканических гидротермальных растворов менялась во времени. Последующие поступления более

низкотемпературных марганцевых растворов по трещинам или ослабленным зонам в вулканических породах привели к цементации обломков Fe-силикатов гидроксидами марганца.

Автор выражает искреннюю благодарность к.г.-м.н. Н.В. Астаховой (ТОИ ДВО РАН) за обсуждение рукописи и рекомендации по ее улучшению.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Астахова Н.В., Лопатников Е.А., Можеровский А.В., Ярошук Е.И. Гидротермальные образования возвышенности Первенца (Японское море) // Вулканология и сейсмология. 2019. № 4. С. 29–39.
2. Астахова Н.В. Железомарганцевые корки центральной котловины Японского моря // Литология и полезные ископаемые. 2018. № 5. С. 384–396.
3. Берсенева И.И., Леликов Е.П., Безверхний В.Л. и др. Геология дна Японского моря. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 140 с.
4. Волохин Ю.Г., Мельников М.Е., Школьник Э.Л. и др. Гайоты западной Пацифики и их рудоносность. М.: Наука, 1995. 368 с.
5. Карнаух В.Н., Цой И.Б., Леликов Е.П., Емельянова Т.А., Ващенко Н.Г., Терехов Е.П. Геологическое строение подводной горы Петра Великого (Японское море) // Вестн. ДВО РАН. 2013. № 6. С. 189–198.
6. Липкина М.И., Дриц В.А., Цикурский С.И. и др. Высокожелезистые диактаэдрические слоистые силикаты из гидротермальных пород и осадков вулканических построек Японского моря // Изв. АН СССР. Серия геол. 1987. № 10. С. 92–111.
7. Отчет о результатах экспедиционных исследований в рейсе № 30/31 НИС «Профессор Богоров», Японское море (сентябрь 1989 г.). Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 1990. 48 с.
8. Отчет о результатах экспедиционных исследований в рейсе № 64 НИС «Академик М.А. Лаврентьев», Японское море (19 октября – 1 ноября 2013 г.). Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2014. 151 с.
9. Отчет о результатах экспедиционных исследований в рейсе № 68 НИС «Академик М.А. Лаврентьев», Японское море (17–31 октября 2014 г.). Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2015. 57 с.
10. Пущин И.К., Аннин В.К., Берсенева Ю.И. и др. Новые данные о геологическом строении дна северо-западной части Японского моря (по материалам 21-го рейса НИС «Первенец») // Геологические исследования в окраинных морях северо-западной части Тихого океана. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 3–13.
11. Скорнякова Н.С., Батулин Г.Н., Гурвич Е.Г., Успенская Т.Ю., Краснов С.Г., Гнидаш М.И. Железомарганцевые корки и конкреции Японского моря // Докл. АН СССР. 1987. Т. 293, № 2. С. 430–434.
12. Bonatti E., Honnorez J., Joensuu O., Rydell H. Classification and genesis of submarine iron manganese deposits // Ferromanganese Deposits on the Ocean Floor / ed. D.R. Horn. Washington, DC: Nat. Sci. Foundation, 1972. P. 149–166.
13. Bostrom K. The origin and fate of ferromanganese active ridge sediments // Stockholm Contrib. Geol. 1973. Vol. 27, N 2. P. 148–243.
14. Hein J.R., Schulz M.S., Dunham R.E. et al. Diffuse flow hydrothermal manganese mineralization along the active Mariana and southern Izu-Bonin arc system, western Pacific // J. Geophys. Res. 2008. Vol. 113. B08S14. – DOI: 10.1029/2007JB005432.

## А.С. Хоментовский – выдающийся ученый и организатор академической науки на Дальнем Востоке России

В истории изучения природных ресурсов, развития производительных сил и науки Востока России в XX в. решающую роль сыграли выдающиеся отечественные путешественники, исследователи и ученые, среди которых был геолог, географ и природовед Александр Степанович Хоментовский.

А.С. Хоментовский (1908–1986 гг.) прожил большую творческую жизнь, насыщенную производственной, научной, педагогической и общественной деятельностью. С его именем связано исследование крупных народнохозяйственных объектов: Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса, районов строительства Богучанской и Зейской ГЭС, открытие Южно-Уральского угольного бассейна, освоение Оренбургского газового комплекса и многих других. Более 10 лет (1960–1970 гг.) А.С. Хоментовский посвятил Дальнему Востоку России, где

особенно ярко проявились его незаурядные способности как ученого и организатора академической науки. В 1960–1964 гг. он был председателем президиума Дальневосточного филиала им. В.Л. Комарова СО АН СССР, а в 1965–1970 гг. – организатором и первым директором Хабаровского комплексного НИИ СО АН СССР (с 1988 г. ИВЭП ДВО РАН).

Александр Степанович Хоментовский родился 24 марта 1908 г. в Санкт-Петербурге в семье инженера путей сообщения. Ему еще не было и года, как семья переехала в г. Оренбург, где прошли его детские годы и где он получил среднее образование.

В 1926 г. А.С. Хоментовский поступает на горный факультет Сибирского технологического института в г. Томск (сейчас Томский политехнический университет), в 1930 г. заканчивает его, получив звание горного инженера.

После окончания вуза А.С. Хоментовский работает в должности начальника геологической партии в Восточной Сибири, принимает участие в открытии и разведке Канско-Ачинского угленосного бассейна. После защиты в 1938 г. кандидатской диссертации Александр Степанович по июню 1941 г. заведовал кафедрой геологии в Красноярском педагогическом институте. С первых дней Великой Отечественной войны он находился в действующей армии на Калининском и Западном фронтах в должности заместителя начальника инженерных войск корпуса (а затем армии) в воинском звании инженер-майор. Награжден боевыми орденами и медалями.

В августе 1943 г. А.С. Хоментовского как крупного специалиста геолога-угольщика отзывают с фронта и направляют в распоряжение Минуглепрома СССР, в трест



Александр Степанович Хоментовский, член-корреспондент АН СССР

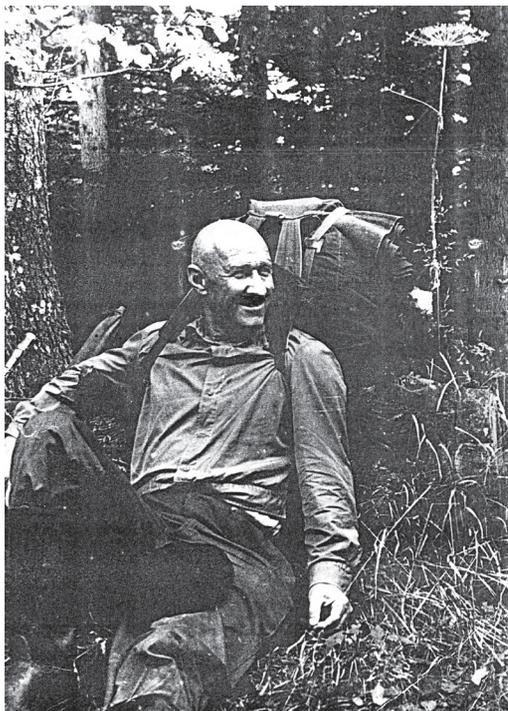
«Южуралуглеразведка» (г. Оренбург). Здесь он участвует в открытии и разведке Южно-Уральских месторождений угля с запасами в сотни миллионов тонн на территории Оренбургской области и Башкирии. За эти открытия ему в составе группы геологов присвоено высокое звание лауреата Государственной премии СССР (1950 г.). Поиск и разведка Южно-Уральских месторождений угля были осуществлены благодаря его замечательным научно-методическим разработкам, которые привели к блестящим открытиям новых месторождений угля не только на Урале, но и, впоследствии, в других регионах – на Дальнем Востоке России, в Китае, Вьетнаме, Корее. Производственную работу в тресте А.С. Хоментовский совмещает с активной научно-педагогической деятельностью в Оренбургском государственном педагогическом институте. Он читает курс лекций, организует экспедиционные исследования Южно-Уральского региона со студентами-географами.

В 1951 г. Правительство СССР командирует А.С. Хоментовского в Китай по просьбе китайских геологов, где под его руководством и по разработанной им методике были развернуты широкомасштабные поиски угольных месторождений. Итогом этих научных и производственных работ было открытие 16 новых угольных месторождений в восточной части Китая. В 1953 г. в Китае была опубликована монография А.С. Хоментовского «Основные особенности геологической структуры восточной части Китая» на китайском языке.

Результаты поисков и разведки угольных месторождений на Южном Урале и в Китае обобщены Александром Степановичем в его докторской диссертации «Закономерности размещения буроугольных месторождений в зависимости от геологической структуры и тектонического развития», защищенной в Москве, в Институте геологических наук АН СССР в 1954 г. Официальными оппонентами на защите диссертации были доктора геолого-минералогических наук, будущие знаменитые академики Ю.А. Косыгин и А.Л. Яншин. После защиты докторской диссертации А.С. Хоментовский возвращается к научно-педагогической работе – он избран по конкурсу заведующим кафедрой динамической геологии Саратовского государственного университета (1954–1957 гг.).

В 1957 г. по просьбе китайской стороны А.С. Хоментовский вторично командируется Правительством СССР в Китай для подготовки научных кадров. В 1957–1958 гг. под его руководством в КНР было подготовлено 17 кандидатов наук, а также издана монография (курс лекций) «Геология неметаллических полезных ископаемых» на китайском языке (Пекин, 1960. 420 с.). За работу по подготовке научных кадров Александр Степанович был награжден медалью КНР «Советско-китайская служба». Спустя много лет А.С. Хоментовский как ученый-интернационалист был приглашен Оргкомитетом XIV Тихоокеанского международного научного конгресса для участия в работе этого представительнейшего форума ученых, который состоялся в Хабаровске в августе 1979 г.

В 1958–1960 гг. после возвращения из Китая А.С. Хоментовский заведовал кафедрой поисков и разведки полезных ископаемых в Пермском госуниверситете, а также кафедрой геологии в Пермском политехническом институте



А.С. Хоментовский в экспедиции

(сейчас Пермский технический университет). Кроме того, он был научным руководителем крупного межвузовского хоздоговорного (с Уральским геологуправлением) проекта «Мезозойские осадочные формации северо-востока Русской платформы» (в бассейнах рек Кама, Вятка, Сысола, Печора).

В 1960 г. Общим собранием АН СССР А.С. Хоментовский был избран членом-корреспондентом АН СССР и назначен председателем президиума Дальневосточного филиала им. В.Л. Комарова СО АН СССР. Из Перми он переезжает во Владивосток.

А.С. Хоментовский считал, что академическая наука на Дальнем Востоке России должна развиваться не только во Владивостоке, как сложилось традиционно начиная с 1932 г., но и в других городах Дальневосточного региона. Будучи руководителем ДВФ СО АН СССР, он успешно решал эту задачу. Во Владивостоке при его участии в 1962 г. был открыт Биолого-почвенный институт, в 1964 г. – Институт биологически активных веществ (сейчас Тихоокеанский институт биоорганической химии ДВО РАН). Был значительно расширен и укреплен новыми научными лабораториями Дальневосточный геологический институт (ДВГИ), открытый в 1959 г. членом-корреспондентом АН СССР Е.А. Радкевич. В частности, в ДВГИ была создана Лаборатория осадочных формаций, которой руководил Александр Степанович. До открытия этой лаборатории основная тематика исследований в ДВГИ была представлена рудной и магматической геологией.

В 1961 г. в Хабаровске по инициативе А.С. Хоментовского открыли первую в этом городе академическую специализированную Геолого-геофизическую лабораторию ДВГИ (руководитель доктор геолого-минералогических наук Г.М. Власов). В 1966 г. эта лаборатория частично стала основой Дальневосточного института минерального сырья Министерства геологии СССР (организатор и первый директор – чл.-корр. АН СССР Е.А. Кулиш). ДВИМС был крупным отраслевым институтом с актуальной тематикой и тесной координацией с Дальневосточным геологическим управлением.

Также в Хабаровске в 1963 г. А.С. Хоментовским была организована академическая Хабаровская группа лабораторий ДВ Филиала СО АН СССР природно-географического направления, на базе которой в 1968 г. открыт первый в этом городе академический институт – Хабаровский комплексный НИИ СО АН СССР, и А.С. Хоментовский был первым директором этого института.

В г. Благовещенск (Амурская область) в 1961 г. по инициативе А.С. Хоментовского открыта Благовещенская геолого-геофизическая лаборатория, на основе которой в 1980 г. организован Амурский комплексный НИИ ДВНЦ АН СССР (с 2005 г. – Институт геологии и природопользования ДВО РАН).

Большая заслуга А.С. Хоментовского в организации Дальневосточного отделения АН СССР (сейчас ДВО РАН) – он неоднократно ходатайствовал перед президиумом АН СССР и Правительством СССР об открытии на Востоке страны Отделения АН СССР по типу Сибирского отделения АН СССР. Этому была посвящена выездная сессия АН СССР под председательством академика А.П. Виноградова (сентябрь 1965 г.), а также работа ряда правительственных комиссий: под руководством академика В.Б. Сочавы (1968 г.), вице-президента АН СССР академика М.Д. Миллионщикова (1969 г.), президента АН СССР академика М.В. Келдыша (1970 г.), приезжавших на Дальний Восток в связи с организацией академической науки в Дальневосточном регионе России.

Исключительно велика роль А.С. Хоментовского в деле охраны природы и рационального использования природных ресурсов Приморья и Приамурья. До его приезда на Дальний Восток России здесь полным ходом «покоряли» природу. А.С. Хоментовский одним из первых ученых поднял вопрос об охране дальневосточной природы, известной во всем мире как Уссурийская тайга. При президиуме ДВФ СО АН СССР он организовал Комиссию по охране природы, которая много сделала в области пропаганды научных идей и практической реализации проектов рационального природопользования. По инициативе А.С. Хоментовского было учреждено продолжающееся печатное издание – сборники научных трудов ДВФ СО АН СССР «Охрана природы на Дальнем Востоке». Он был

ответственным редактором этих уникальных книг и автором научных статей, тем самым привлекая ученых-дальневосточников к этой благородной работе.

По инициативе А.С. Хоментовского в 1963 г. на территории Хабаровского края и Амурской области были открыты четыре заповедника: Большехехирский, Комсомольский, Хинганский и Зейский. Эти заповедники стали базой проведения научных академических исследований, полигонами изучения животного и растительного мира в заповедных условиях.

Работая на Дальнем Востоке, А.С. Хоментовский лично выполнил инженерно-экономическое и экологическое обоснование двух крупных народнохозяйственных проектов Нижнего Амура: строительство канала оз. Большое Кизи – бухта Табо Татарского пролива и возведение каскада гидротехнических сооружений на Амгунь-Горинском междуречье. Эти проекты актуальны и сейчас, они позволяют решить ряд транспортных, энергетических, рыбохозяйственных и других вопросов охраны окружающей среды.

Созданный А.С. Хоментовским крупный по численности и широкопрофильный по исследованиям (геолого-геофизические науки, география, биология, математика и экономика) Хабаровский комплексный НИИ СО АН СССР стал базой для открытия новых институтов. Из него выделились Институт тектоники и геофизики (1971 г.), Институт экономических исследований (1976 г.), Вычислительный центр (1981 г.), Институт горного дела (1983 г.).

Работая на Дальнем Востоке, А.С. Хоментовский в ранге председателя оргкомитетов провел ряд крупных всесоюзных конференций, в частности таких как «Развитие производительных сил Дальнего Востока» (Владивосток, 1962 г.), «Охрана, рациональное использование и воспроизводство естественных ресурсов Приамурья» (Хабаровск, 1967 г.), «Проблемы изучения четвертичного периода» (Хабаровск, 1968 г.).

А.С. Хоментовский успешно налаживал международные связи ученых-дальневосточников и сам непосредственно участвовал в установлении международных контактов ученых. С этой миссией он побывал в Корейской Народно-Демократической Республике (1961 г.), в Социалистической Республике Вьетнам (1962 г.), в Японии (1966 г.). В КНДР он принимал участие в полевых геологических исследованиях с коллегами из ДВГИ (ДВФ СО АН СССР) и учеными из Корейской академии наук. Результатом этих работ стала фундаментальная монография, вышедшая под его редакцией и в соавторстве, – «Геологическое строение Северо-Восточной Кореи и Юга Приморья» (М.: Наука, 1966. 308 с).

Подготовка научных кадров высшей квалификации – одна из важнейших заслуг А.С. Хоментовского в период его жизни на Дальнем Востоке. Этой работе он, доктор геолого-минералогических наук (с 1954 г.) и профессор (с 1955 г.), отдавал много труда и душевных сил. А.С. Хоментовский впервые открыл в ДВГИ (г. Владивосток) аспирантуру по осадочной геологии. Пользуясь случаем, можно отметить, что автор этих строк в 1963 г. закончил очную аспирантуру под его руководством во Владивостоке в ДВГИ досрочной защитой кандидатской диссертации, поэтому по праву считает А.С. Хоментовского своим Учителем.

Еще в 1964 г. А.С. Хоментовский составил социально-экономическое обоснование открытия в г. Хабаровск государственного классического университета для подготовки кадров для производства и науки из местного населения с целью ускоренного развития производительных сил Приамурья. Но тогда это не нашло поддержки со стороны городских и краевых властей. Между тем ориентация на специалистов из западных районов страны давала и до сих пор дает резко отрицательный эффект, выражающийся в хронической текучести научных и производственных кадров. В 2005 г. в Хабаровске на базе Политехнического института был открыт Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ), но в нем, к сожалению, нет химического, биологического, физического, геологического факультетов и специализированных кафедр в области этих наук.

У всех дальневосточников, которые общались и работали с А.С. Хоментовским, он остался в памяти как простой, душевный, обаятельный человек, наделенный природным

юмором, но в то же время строгий и принципиальный ученый исключительно широкого научного кругозора в различных областях знаний, умело сочетавший фундаментальные исследования с решением самых насущных вопросов практики.

Разработка фундаментальных и прикладных научных проблем, важных для народного хозяйства Дальнего Востока, и их реализация, подготовка научных кадров, организация и открытие новых академических институтов – главные результаты деятельности А.С. Хоментовского на Дальнем Востоке России и как председателя президиума ДВФ СО АН СССР, и как первого директора Хабаровского комплексного НИИ СО АН СССР, и как научного руководителя крупных междисциплинарных научных программ применительно к Дальнему Востоку России.

Надо отметить то, что не все и не всегда гладко было у А.С. Хоментовского как руководителя ДВФ СО АН СССР во взаимоотношениях с подчиненными ему руководителями научных подразделений. А.С. Хоментовский нацеливал научные коллективы на решение крупных фундаментальных проблем, специфичных для Дальнего Востока России, ставя на второй план более узкие задачи. И в этом смысле многие его не понимали, а точнее, не хотели понять. К примеру, некоторые директора институтов ДВФ СО АН СССР во Владивостоке предъявляли ему претензии по поводу того, что он отдает ставки (вакансии научных сотрудников) в другие города Дальнего Востока, организовывая в них академические подразделения. На эти претензии Александр Степанович отвечал, что институты во Владивостоке уже функционируют, а в Хабаровске и Благовещенске вообще нет никакой академической науки. Поэтому научно-организационную и общественную деятельность А.С. Хоментовского после его отъезда с Дальнего Востока стали замалчивать, а время пребывания на посту председателя президиума ДВФ СО АН СССР игнорировать...

Но в связи с 75-летием академической науки на Дальнем Востоке председатель президиума ДВО РАН академик В.И. Сергиенко в статье «Не угасает светоч знаний...» (Вестник ДВО РАН. 2007. № 2) отдал должное А.С. Хоментовскому и его деятельности на посту председателя президиума ДВФ СО АН СССР в 1960–1964 гг. и первого директора ХабКНИИ (1965–1970 гг.).

Действительно, работа А.С. Хоментовского в дальневосточный период его жизни была направлена на развитие академической науки на Дальнем Востоке России. Это был ученый энциклопедических знаний, научный кругозор которого дал ему возможность поработать для будущего Дальневосточного региона с точки зрения организации и открытия здесь сети академических институтов.

В декабре 1970 г. А.С. Хоментовский возвращается на Урал. С конца 1970 г. по февраль 1973 г. работает в Пермском политехническом институте, а с февраля 1973 г. до конца жизни (март 1986 г.) – в г. Оренбург, в Политехническом институте (сейчас государственный университет), где создал и возглавил кафедру инженерной геологии и геодезии, а также первый в стране общественный Оренбургский НИИ охраны и рационального использования природных ресурсов. Под его руководством и при непосредственном участии в Оренбурге и в целом на Южном Урале разрабатывались крупные проекты природопользования, мероприятия по рациональному использованию водных ресурсов, мелиорации ландшафтов, рекультивации нарушенных земель, велись большие подготовительные работы по созданию Оренбургского степного заповедника, изучению памятников природы и др. А.С. Хоментовский обосновал и внес в Министерство высшего образования СССР предложение о подготовке в вузах страны инженеров по охране природы и рациональному использованию ресурсов.

В 1976 г. А.С. Хоментовский возглавил Оренбургский отдел Географического общества СССР и Комитет по охране природы областного совета НТО. Под его руководством ежегодно проводились научные конференции «Человек и ландшафты», «Исследования и исследователи Оренбургского края». Он был руководителем ряда экспедиций по Южному Уралу и организатором систематически проводимых школьных географических олимпиад. Работа Оренбургского отдела ГО СССР под руководством А.С. Хоментовского

получила высокую оценку: отдел был награжден Почетной грамотой Географического общества СССР. На VII Географическом съезде СССР (г. Фрунзе, 1980 г.) А.С. Хоментовский был избран почетным членом ГО СССР.

Можно добавить, что А.С. Хоментовский до конца жизни был членом редакционной коллегии научного журнала «География и природные ресурсы».

Неукоснительное соблюдение правил научной этики – главная черта характера А.С. Хоментовского. В любом научном коллективе, руководимом им, он работал сам и требовал того же от других. Александр Степанович никогда не был соавтором научных статей и других публикаций, если не принимал непосредственного участия в исследованиях, будучи по должности научным руководителем тем, проектов, диссертаций. В то же время он никогда не отказывался просмотреть и поправить рукопись статьи, автореферата и других работ, особенно молодых авторов.

Надо отметить, что не каждый ученый удостоивается такой чести, чтобы еще при его жизни о нем была написана книга. Такую книгу – «Притяжение земли» создал писатель Л.Н. Большаков (Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во. 1985. 112 с.). Эта книга – дань А.С. Хоментовскому за его выдающиеся заслуги в деятельности на благо России, в том числе Сибири, Дальнего Востока и Урала.

Имя А.С. Хоментовского как выдающегося ученого вошло в Большую советскую энциклопедию (1978, т. 28).

В Оренбургском государственном университете создан Музей А.С. Хоментовского, где можно детально ознакомиться с жизнью и деятельностью ученого.

А.С. Хоментовский опубликовал более 300 научных работ, подготовил 40 кандидатов и докторов наук, под его редакцией напечатаны десятки сборников научных статей и монографий. Основные его труды посвящены закономерностям образования и пространственного размещения угольных и других осадочных месторождений полезных ископаемых Сибири, Дальнего Востока, Урала, ближнего зарубежья – Китая, Кореи, Вьетнама, классификации осадочных формаций, современному осадконакоплению на платформах и в складчатых геосинклинальных зонах, неотектоническим процессам при формировании рельефа, эволюции географических ландшафтов и другим проблемам геологической и географической среды.

А.С. Хоментовский умер 14 марта 1986 г., похоронен в Оренбурге.

В 112-ю годовщину со дня рождения ученого и патриота России, первого директора Хабаровского комплексного НИИ СО АН СССР (ИВЭП ДВО РАН) с удовлетворением можно отметить, что память о А.С. Хоментовском на Дальнем Востоке, Урале и в Сибири жива и будет жить, – она в его делах, научных трудах и учениях.

Учитывая большие заслуги А.С. Хоментовского в развитии академической науки и изучении природы Приамурья, Хабаровский крайисполком в декабре 1987 г. принял решение об установлении мемориальной доски на здании, где работал ученый. Памятная мраморная доска была установлена в апреле 1989 г., в День науки. На ней золотыми буквами высечено: «В этом здании в 1963–1970 гг. работал видный советский ученый в области геологии, географии и охраны природы, организатор академической науки на Дальнем Востоке, лауреат Государственной премии СССР, член-корреспондент АН СССР Хоментовский Александр Степанович».

Прошли годы, пришли новые поколения ученых, но имя А.С. Хоментовского в истории становления и развития науки на Дальнем Востоке России не утратило своего значения, занимая достойное место в ряду известных русских землепроходцев, путешественников и ученых.

## Основные научные труды А.С. Хоментовского, опубликованные в дальневосточный период его деятельности

1. Геология неметаллических полезных ископаемых. Пекин, 1960. 420 с. (на кит. яз.).
2. Дальневосточный филиал СО АН СССР в 1960 году // Тез. докл. на сессии Совета Дальневост. фил. СО АН СССР по итогам научных исследований 1960 г. Владивосток: ДВФ СО АН СССР, 1961. С. 3–21. (В соавт. с Л.Н. Хетчиковым и В.М. Майоровым).
3. Центр науки на Дальнем Востоке (к 30-летию Дальневост. фил. им. В.Л. Комарова СО АН СССР) // Материалы юбилейной сессии, посвященной 30-летию ДВ Филиала им. В.Л. Комарова СО АН СССР. Владивосток: ДВФ. СО АН СССР, 1962. С. 3–15. (В соавт. с В.М. Майоровым).
4. Схема классификации и общие закономерности размещения тектонических мезозойских и кайнозойских впадин платформ и складчатых зон Северной и Восточной Азии // Тектоника Сибири. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1962. Т. 1. С. 18–29.
5. Физико-географические условия низовьев р. Амур и их возможные изменения после строительства канала «Озеро Большое Кизи – бухта Табо Татарского пролива»: тез. докл. выездной сессии АН СССР на Дальнем Востоке. М.: АН СССР, 1962. С. 39–41.
6. Алехинское месторождение минеральных вод на острове Кунашир // Охрана природы на Дальнем Востоке. Владивосток: ДВФ СО АН СССР, 1964. Вып. 2. С. 211–221.
7. Над чем работают наши ученые // Красное знамя. 3 апр. 1964 г.
8. Некоторые особенности развития рельефа кайнозойских вулканических плато в условиях умеренного муссонного климата // Вопросы географического изучения Дальнего Востока. Хабаровск: Кн. изд-во, 1965. С. 5–10.
9. Палеозойские отложения Северо-Восточной Кореи и Юго-Западного Приморья / Геологическое строение Северо-Восточной Кореи и Юга Приморья. М.: Наука, 1966. Вып. С. 124–141. (В соавт. с Ро Су Вон, В.П. Мишиным и А.Ф. Шехоркиной).
10. Природные особенности, леса, болота и заболоченные земли бассейна р. Гиллой // Комаровские чтения. Растительность северных районов Дальнего Востока. Владивосток: ДВФ СО АН СССР, 1967. Вып. 14. С. 3–42. (В соавт. с Н.Г. Васильевым и Ю.С. Прозоровым).
11. Древесная растительность как показатель глубины залегания минеральных грунтов в торфяниках Эльбанского участка Среднеамурской низменности // Геоморфологические, ландшафтные и биогеохимические исследования в Приамурье. М.: Наука, 1968. С. 151–156.
12. Некоторые особенности границы между зонами кедрово-широколиственных и темнохвойных лесов в районе г. Комсомольска-на-Амуре // Геоморфологические, ландшафтные и биогеохимические исследования в Приамурье. М.: Наука, 1968. С. 124–127.
13. Некоторые особенности развития рельефа кайнозойских вулканических плато // Проблемы геоморфологии и неотектоники органогенных областей Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1968. Т. 2. С. 335–338.
14. Карта природных зон Хабаровского края. Масштаб 1 : 6 000 000. Издание картфабрики № 3. ГУГК при СМ СССР. М., 1969.
15. Проблема, заслуживающая внимания // Тихоокеан. звезда. 30 апр. 1970 г.
16. Природа // Дальний Восток (географическое описание). Серия: Советский Союз. РСФСР. М.: Мысль, 1971. С. 17–78.
17. Условия образования четвертичных отложений тектонических впадин юга Дальнего Востока // Проблемы изучения четвертичного периода. М.: Наука, 1972. С. 68–72.
18. Пути преобразования озера Эворон // Физико-географические и ландшафтно-геохимические исследования в южной части Дальнего Востока. М.: Наука, 1975. С. 45–51.

*П.В. ИВАШОВ,  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, главный научный сотрудник,  
заслуженный деятель науки Российской Федерации  
(Институт водных и экологических  
проблем ДВО РАН, Хабаровск).  
E-mail: iver@iver.as.khb.ru*

УДК 001.91

DOI: 10.25808/08697698.2020.209.1.017

## Пётр Фёдорович Бровко – путешественник, ученый, педагог

В июле 2019 г. свое 70-летие отметил профессор, доктор географических наук Пётр Фёдорович Бровко – член-корреспондент РАЕН, почетный академик Национальной академии туризма, действительный член Петровской академии наук и искусств, почетный работник высшего профессионального образования.

П.Ф. Бровко родился 26 июня 1949 г. в с. Иваньков Черниговской области (Украина). В следующем году семья переехала на Сахалин, в г. Холмск. В 1966 г. по окончании средней школы Пётр поступил в Дальневосточный государственный университет на отделение географии.

Интерес к профессии проявился у П.Ф. Бровко еще в школьные годы. Начиная с 4-го класса он – активный турист, участник летних и зимних, пеших и лыжных походов по островам Сахалин и Итуруп. Много занимается в кружке «Юный геолог», дважды становится призером областных соревнований по спортивному ориентированию и туристской технике.

В ДВГУ по предложению заведующего кафедрой физической географии профессора В.И. Лымарева в 1967–1968 гг. студент Бровко принимает участие в Шантарской береговой экспедиции, проходившей в сложных геологических и ледовых условиях. Через сорок лет в одной из своих книг профессор напишет: «Такого места на земном шаре больше нет».

По итогам первого этапа экспедиции в феврале 1968 г. студент второго курса Пётр Бровко выступил с докладом «Физико-географический очерк Шантарского моря» на ученом совете Приморского филиала ГО СССР и был избран действительным членом Географического общества СССР. Билет члена Общества ему вручала председатель Приморского филиала ГО СССР, первая в мире женщина – капитан дальнего плавания Анна Ивановна Щетинина.

Вся дальнейшая профессиональная деятельность Петра Фёдоровича связана с ДВГУ (ныне ДВФУ), где он прошел большой путь от младшего научного сотрудника до заведующего кафедрой географии стран Азиатско-Тихоокеанского региона (в 1993–2012 гг.), профессора.

П.Ф. Бровко создал на Дальнем Востоке научную школу комплексного береговедения, продолжив дело своих учителей – проф. О.К. Леонтьева (МГУ им. М.В. Ломоносова) и проф. В.И. Лымарева (ДВГУ). С 1978 г. он входит в Рабочую группу «Морские берега» Комиссии РАН по проблемам Мирового океана, руководит лабораторией прибрежно-морского природопользования в ДВФУ. Пётр Фёдорович – автор более 300 научных работ по береговедению, физической и экономической географии, геоэкологии, географическому образованию и краеведению.



Пётр Фёдорович Бровко. 2014 г. Фото  
Т.Л. Федотовой

Краеведы Находки поздравляют с юбилеем нашего соратника, наставника, профессора, доктора географических наук, обладателя множества наград и титулов ПЕТРА ФЁДОРОВИЧА БРОВКО. Здоровья Вам, творческих успехов в работе!

С уважением, члены Русского географического общества,  
представители Находкинского отделения РГО – ОИАК.



Первый водопад в Алексеевском каскаде. 2018 г. Фото В.В. Трофименко

Самым тесным образом профессор взаимодействует с коллегами из Российской академии наук. Он является экспертом, рецензентом и редактором научных изданий, академических журналов в Москве и Якутске, Чебоксарах и Южно-Сахалинске, Хабаровске и Владивостоке. Выпускники ДВГУ – его ученики и воспитанники – работают в Тихоокеанском институте географии, Тихоокеанском океанологическом институте им. В.И. Ильичёва, Институте морской геологии и геофизики ДВО РАН, других организациях.

С 1983 г. П.Ф. Бровко избирался членом ученого совета, заместителем председателя, а в 2005–2015 гг. был председателем Приморского отделения РГО – Общества изучения Амурского края. Представлял Приморье почти на всех съездах РГО начиная с 1985 г. (г. Фрунзе). Содействовал созданию в Приморском крае местных отделений РГО в городах Находка и Уссурийск, с. Камень-Рыболов. Имеет благодарность от Русского географического общества в связи с 50-летием нахождения в рядах РГО (март 2018 г.).

П.Ф. Бровко награжден медалью «За безупречный труд» администрацией г. Владивосток, медалями «В.К. Арсеньев» и «Т.Г. Шевченко», памятными знаками «Г.И. Невельской» и «150 лет Владивостоку».

В течение многих лет П.Ф. Бровко – участник морских и береговых экспедиций, он избирается старшиной Владивостокского морского собрания, где активно работает в секции по истории флота, пропаганде морских и географических знаний. В числе важнейших мероприятий – ежегодные выступления во Владивостокском филиале Нахимовского военно-морского училища с лекциями о морских берегах и островах Тихого океана, русских кругосветных мореплавателях, развитии гидрографии на Дальнем Востоке, глобальной проблеме водных ресурсов, освоении регионов Тихоокеанской России.

28 июня 2019 г. Пётр Фёдорович выступил перед школьниками в ВДЦ «Океан» с интереснейшим рассказом о предмете своего давнего увлечения – коллекции водопадов. В его собрании открытки и картины, календари и книги, марки и банкноты, стихи и легенды,

множество самых обычных и редких вещей, связанных с водопадами. Ребята из разных уголков России запоминали и записывали факты, задавали вопросы; было видно, что тема их очень увлекла. Многие из них никогда не видели водопадов, и теперь у них наверняка появилось желание побывать у «летающей воды». На память о встрече дружина «Тигренок» подарила профессору П.Ф. Бровко голубой галстук участника программы Русского географического общества «Мир открытий».

4 июля 2019 г. в библиотеке-музее г. Находка по инициативе местного отделения Русского географического общества состоялся вечер-портрет профессора ДВФУ, доктора географических наук Петра Фёдоровича Бровко «Бескорыстный труд на благо родного края: К 70-летию профессора П.Ф. Бровко», посвященный юбилею ученого. На вечере председатель Находкинского местного отделения РГО З.Н. Ковалева говорила о 15-летнем плодотворном сотрудничестве с Петром Фёдоровичем, благодарила ученого за теплые встречи, вдохновляющие краеведов на новые исследования и открытия. Она отметила, что П.Ф. Бровко – один из немногих, кто проводит встречи по географической тематике со школьниками как в городах, так и в отдаленных селах Приморского края, показывает возможности в определении будущей профессии, постоянно пополняет библиотеки интереснейшими изданиями.

По предложению председателя Федерации туризма заслуженного путешественника России, редактора общественной газеты «Мир путешествий» В.В. Трофименко краеведы и члены «Клуба любителей летающей воды» (г. Партизанск) подарили юбиляру красочное фото с изображением первого водопада в Алексеевском каскаде на северном склоне горы Лысая в Партизанском районе. Пётр Фёдорович посвятил изучению и описанию водопадов множество книг, статей, очерков, он популяризирует эту тему среди студентов и школьников. В 2016 г. вышла в свет книга-путеводитель «Путешествие к водопадам Приморья», посвященная П.Ф. Бровко (авторы В.С. Давыдов, В.В. Трофименко, В.С. Маратканов).

Тема водопадов уникальна и малоизученна, а потому интересна и востребована. Это большой потенциал для научно-исследовательских работ – увлечение водопадами предвещает множество необыкновенных открытий.



Зовут пути-дороги... 2015 г. Фото П.И. Шенчугова



Сахалин, порт Холмск. 2017 г. Фото А.О. Горбунова

Участники вечера выразили профессору П.Ф. Бровко признательность за высокий профессионализм, преданность географии, доброе отношение к ученикам и коллегам, пожелали ему крепкого здоровья, новых творческих успехов и достижений в науке, образовании, пропаганде географических знаний.

*М.В. ВАСИНА,  
магистрант,  
М.Г. ЖУКОВИНА,  
аспирант*

*(Дальневосточный федеральный университет,  
Владивосток).*

*E-mail: mashishya@mail.ru*

## Правила для авторов

Журнал «Вестник ДВО РАН» входит в рекомендованный Высшей аттестационной комиссией перечень ведущих российских рецензируемых научных журналов и изданий, в которых могут быть опубликованы значимые результаты диссертаций по следующим направлениям: 02.00.00 – химические науки; 25.00.00 – науки о Земле (группа специальностей 03.02.00 – общая биология – находится в стадии регистрации).

Журнал индексируется в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ), размещается в базах данных на платформе EBSCO Publishing Inc. (Massachusetts, USA).

Журнал печатает ранее не публиковавшиеся проблемные, обзорные, дискуссионные статьи и оригинальные научные исследования, а также рецензии, хронику научной жизни, персоналии и др. В числе приоритетных – материалы о Дальнем Востоке.

Представленную автором рукопись редакция направляет по профилю научного исследования или по тематике рассматриваемых в рукописи вопросов на рецензию ученым и специалистам в данной области (доктору наук, кандидату наук). Срок рецензирования – до 1,5 месяца. В случае получения отрицательной рецензии или рецензии, содержащей рекомендации по доработке статьи, она направляется авторам для принятия соответствующего решения. Имя рецензента не разглашается.

После устранения недостатков, указанных рецензентом, переработанная статья, направленная в редакцию, регистрируется как вновь полученная, исправления согласуются с рецензентом.

Если автор не согласен с мнением рецензента, рукопись направляется на повторную экспертизу другому специалисту. При получении второго отрицательного отзыва редакция прекращает работу над статьей.

Участники процесса подготовки рукописи к изданию обязаны сообщать редакции о наличии потенциальных причин для возникновения конфликта интересов. Авторы имеют право указать в сопроводительном письме имена тех специалистов, кому, по их мнению, не следует направлять рукопись на рецензию в связи с возможным, как правило профессиональным, конфликтом интересов. Данная информация является строго конфиденциальной и принимается во внимание редакцией при организации рецензирования.

**Оформление статей.** Текст набирается в программе Word любой версии, объем должен составлять до 18 страниц, обзорных статей – до 30 (включая список литературы, таблицы и рисунки с подрисуночными подписями, резюме). Шрифт 12 Times New Roman, интервал 1,5. Все поля, кроме левого, шириной 2 см, левое – 3 см. Страницы должны быть пронумерованы.

**Титульный лист.** В левом верхнем углу проставляется индекс статьи по таблицам Универсальной десятичной классификации, имеющейся в библиотеках, или с помощью интернет-ресурса <http://teacode.com/online/udc/>. Далее – инициалы и фамилии авторов, название статьи, резюме и ключевые слова на русском языке. Затем – резюме и ключевые слова на английском языке. Резюме на английском языке должно в начале текста содержать название статьи, инициалы и фамилию автора, после которых в круглых скобках указывается место работы автора. Если авторов несколько, у каждой фамилии и соответствующего учреждения проставляется цифровой индекс. Если все авторы статьи работают в одном учреждении, указывать место работы каждого автора отдельно не нужно, достаточно указать учреждение один раз. Если у автора несколько мест работы, каждое обозначается отдельным цифровым индексом.

На титульном листе в подстрочной ссылке указываются сведения об авторах статьи: ФИО полностью, ученая степень, звание и должность, в круглых скобках – наименование места работы. Контактное лицо (обычно первый (основной) автор) помечается звездочкой и в конце сведений приводится его E-mail. Также в подстрочной ссылке помещается информация, касающаяся финансовой поддержки данной работы. (См. образцы оформления титульного листа на сайте журнала [vestnikdvo.ru](http://vestnikdvo.ru)).

**Структура статьи.** Материал статьи должен быть изложен кратко, в научно-информационном стиле, данные таблиц и рисунков не должны повторяться в тексте. Статья должна быть четко структурирована. Структура оригинальных статей должна соответствовать формату IMRAD (Introduction, Methods, Results and Discussion): введение, отражающее состояние вопроса к моменту написания статьи; цели и задачи настоящего исследования; материал и методы; результаты; обсуждение; выводы по пунктам или заключение (по желанию авторов).

**Иллюстративные материалы** представляются в форматах: для фото, рисунков – .tif или .jpg (300 dpi для черно-белых и 600 dpi для цветных); графики, диаграммы, схемы и т.п. – excel, cdr. Если электронное графическое изображение создано в приложении Microsoft Office (Word, PowerPoint, Excel), то его следует представлять по принципу «как есть» в том же формате, чтобы обеспечить возможность внесения изменений. Цветные изображения представляются только по согласованию с редакцией.

Иллюстрации не должны превышать размеров полосы набора (135 x 225 мм).

Иллюстрации могут размещаться по тексту, но обязательно прилагаются в виде отдельных файлов. Подрисовочные подписи даются отдельным списком, в конце статьи, они должны содержать исчерпывающий комментарий к изображению; не допускается воспроизведение небуквенных и нецифровых знаков (квадраты, кружки и т.д.). Если рисунок состоит из нескольких частей (например, а, б, в), у них должен быть общий заголовок и отдельные поясняющие подписи для каждой части. В тексте все иллюстрации (фотографии, схемы, диаграммы, графики и т. д.) именуется рисунками. На все рисунки в тексте должны быть даны ссылки. Рисунки должны располагаться непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые.

**Список литературы.** В оригинальных статьях желательно цитировать не более 20–25 источников, в обзорных – до 50, при этом не менее 30 % из них должны быть новыми, т.е. опубликованными за 5 последних лет; самоцитирование (ссылки на работы авторов и соавторов статьи) не должно превышать 15 %. Ссылки на интернет-источники должны быть надежными. Как минимум следует давать полный URL-адрес и дату, когда ссылка была доступной. Ссылки должны быть проверяемыми.

Не следует без особой необходимости ссылаться на учебники, диссертации, а также авторефераты диссертаций. Если цитируемым источником являются документы (приказы, ГОСТы, патенты, медико-санитарные правила, методические указания, положения, постановления, санитарно-эпидемиологические правила, нормативы, федеральные законы), а также архивные материалы, их нужно указывать не в списках литературы, а давать в виде подстрочных сносок в тексте.

Авторы несут ответственность за правильность данных, приведенных в пристатейном списке литературы.

Список литературы составляется в алфавитном порядке, по фамилиям первых авторов и названиям работ без учета соавторов и хронологии, и нумеруется. При ссылке в тексте указывается порядковый номер источника в квадратных скобках. В списке идет литература сначала на русском языке, затем на иностранных. Приводятся полное наименование книги или статьи, место издания, издательство, год, количественная характеристика источников (для книги – общее количество страниц, для статьи или главы – страницы, на которых она помещена).

Пример нумерованного списка (библиографические сведения условны):

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградова К.Л., Перестенко Л.П. Видовой состав водорослей // Озерные экосистемы: тез. докл. Междунар. науч. конф. Минск: Белорус. гос. ун-т, 2003. С. 26–28.
2. Виноградова К.Л. Водоросли западного побережья. М.: Изд-во МГУ, 1974. 232 с.

3. Виноградова К.Л., Ключкова Н.Г., Перестенко Л.П. Список водорослей литорали. СПб.: Наука, 2003. 180 с. (Определители по фауне, изд. Зоол. ин-том РАН; вып. 171).
4. Виноградова К.Л. **Phycodrys Rubens**: таксономия // Журн. общ. биологии. 2001. Т. 62, № 4. С. 362–366.
5. Исследования экосистем / Центр информ. технологий РГБ. М.: Рос. гос. б-ка, 1997. – <http://www.rsl.ru> (дата обращения: 21.07.2011).
6. Селин Н.И. Рост мидии Грея // Тр. Биол. НИИ СПбГУ. 2000. Вып. 46. С. 53–64.
7. Селин Н.И., Жирмунский А.В., Левин В.С. Состав и распределение макроэпибентоса // Зоол. журн. 1996. Т. 75, вып. 6. С. 81–89.
8. Nevo E. Adaptive significance // Int. Echinoderm Conf. Tampa Bay: abstrs. Rotterdam: Balkema, 1982. P. 4–5.
9. Nevo E. Complex pollution effects of two heavy metals // J. Natur. Hist. 1995. Vol. 29, N 2. P. 271–562.
10. Nevo E., Lavie B. Differential viability of allelic isozymes // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1987. Vol. 44. P. 60–64.
11. Nevo E. Molecular evolutionary genetics // Cell. Mol. Biol. 2000. Vol. 46, N 2. P. 311–330.
12. Nevo E., Ben-Shlomo R., Lavie B. Pollution and genetic evolution // Mar. Pollut. Bull. 1994. Vol. 28. P. 3–15.
13. Nevo E. Population genetic structure // Encyclopaedia of biodiversity. N.Y.: Acad. Press, 2001. Vol. 5. P. 3–11.

**Форма подачи рукописи.** Материалы статей представляются по электронной почте на адрес [vestnikdvo@hq.febras.ru](mailto:vestnikdvo@hq.febras.ru) (телефон редакции (8-423)222-25-88), а сопроводительные документы с оригинальными подписями прикрепляются к письму в формате PDF или JPG; кроме того, обычной почтой или нарочным в редакцию доставляется распечатка статьи (текст на одной стороне листа, кегль 12, через 1,5 интервала, страницы пронумерованы). Почтовый адрес: 690091, Владивосток, ул. Светланская, 50, каб. 51.

**Сопроводительные документы.** Сопроводительное письмо, подписанное всеми авторами статьи с указанием ФИО каждого автора и контактного телефона, которое должно содержать следующий текст:

Настоящим письмом гарантируем, что опубликование статьи [ФИО авторов. «НАЗВАНИЕ СТАТЬИ»] в журнале «Вестник ДВО РАН» не нарушает ничьих авторских прав. Автор (авторы) передает на неограниченный срок учредителю журнала неисключительные права на использование данной научной статьи путем ее воспроизведения в любой материальной форме и распространения на любой территории.

Автор (авторы) несет ответственность за неправомерное использование в научной статье объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права в полном объеме в соответствии с действующим законодательством РФ.

Автор (авторы) подтверждает, что направляемая статья нигде ранее не была опубликована и не направлялась для опубликования в другие научные издания.

Автор (авторы) согласен на обработку в соответствии со ст. 6 Федерального закона «О персональных данных» от 27.07.2006 г. № 152-ФЗ своих персональных данных, а именно: фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность, место(а) работы и/или обучения, контактная информация по месту работы и/или обучения, в целях опубликования представленной статьи в научном журнале.

Также удостоверяем, что автор (авторы) согласен с правилами подготовки рукописи к изданию, принятыми в редакции журнала, опубликованными и размещенными на официальном сайте журнала.

В необходимых случаях к письму прилагается Акт экспертизы о возможности опубликования материала в открытой печати.

Рукописи, не отвечающие установленным требованиям, не регистрируются.

Заказные и ценные письма и бандероли редакция не получает.

Рукописи по почте не возвращаются.

Авторский экземпляр журнала можно получить в Центральной научной библиотеке ДВО РАН или в редакции.

Публикация статей бесплатная.

*Подписка на журнал «Вестник Дальневосточного отделения РАН»  
принимается всеми отделениями «Роспечати» с любого номера.  
Индекс 70193.*

*Полнотекстовые варианты статей можно найти в Интернете:  
<http://elibrary.ru/issues.asp?id=2774>*

Ответственные за номер В.В. Богатов  
Номер подготовили к печати В.С. Жердев,  
С.А. Машкин, Л.А. Русова, В.Е. Старовойтова, Т.А. Третьякова  
Компьютерный набор Г.А. Веренцовой  
Компьютерная верстка И.В. Миромановой  
Корректор Л.И. Горбулина  
Переводчик Е.В. Фёдорова

Адрес редакции:  
690091 Владивосток,  
ул. Светланская, 50, к. 51,  
тел. (423)222-25-88  
E-mail: [vestnikdvo@hq.febras.ru](mailto:vestnikdvo@hq.febras.ru)  
<http://www.vestnikdvo.ru>

Издатели:

ФГБУ Дальневосточное отделение РАН  
690091 Владивосток, ул. Светланская, 50.  
Тел. +7(423)222-25-28  
ФГБУНО Центральная научная библиотека ДВО РАН  
690022 Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159.  
Тел. +7(423)231-78-38

Выход в свет 26.02.2020 г.  
Формат 70 × 108/16  
Печать офсетная  
Усл. печ. л. 14,00  
Уч.-изд. л. 13,1  
Тираж 300 экз. Заказ ИВ 200043  
Цена свободная

ИП Сердюк Оксана Александровна  
690065 Владивосток, ул. Стрельникова, 12-87.  
Тел. +79147102232. E-mail: [oksanaserdiuk62@gmail.com](mailto:oksanaserdiuk62@gmail.com)  
Отпечатано в ООО «ПОЛИГРАФ–СЕРВИС–ПЛЮС»  
г. Владивосток, ул. Русская, 65, корпус 10

Свидетельство Роскомнадзора о регистрации ПИ № ФС77-75560 от 12.04.2019 г.