

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,653

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,322

**Журнал издается с 2001 г.**

**Электронная версия: <http://www.natural-sciences.ru>**

**Правила для авторов: <http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index>**

**Подписной индекс по каталогу «Роспечать» – 70878**

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

*Ледванов Михаил Юрьевич, д.м.н., профессор*

**ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА**

*Курзанов Анатолий Николаевич, д.м.н., профессор*

*Чернева Ирина Николаевна, к.с.-х.н.*

*Ответственный секретарь редакции*

*Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.*

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

д.с.-х.н., доцент Абдулвалеев Р.Р. (Уфа); д.г.-м.н., проф., Абилхасимов Х.Б. (Астатна); д.т.н., проф. Айдосов А. (Алматы); д.с.-х.н., проф. Алабушев А.В. (Зерноград); д.г.-м.н., проф., Алексеев С.В. (Иркутск); д.х.н., проф., Алоев В.З. (Нальчик); д.г.н., проф. Андреев С.С. (Ростов-на-Дону); д.г.н., доцент, Андреева Е.С. (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н., доцент Анищенко Л.Н. (Брянск); д.с.-х.н., проф. Байрамбеков Ш.Б. (Камызяк); д.т.н., проф. Бейсембаев К.М. (Караганда); д.т.н., проф. Белозеров В.В. (Ростов-на-Дону); д.б.н., доцент Белоус О.Г. (Сочи); д.с.-х.н., проф. Берсон Г.З. (Великий Новгород); д.г.-м.н., проф. Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.г.-м.н., проф. Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.с.-х.н., Горбачева А.Г. (Пятигорск); д.с.-х.н., Горянин О.И. (Самара); д.г.-м.н., проф. Гусев А.И. (Бийск); д.с.-х.н., проф. Данилин И.М. (Красноярск); д.б.н., доцент Долгов А.В. (Мурманск); д.э.н., проф. Долятовский В.А. (Ростов-на-Дону); д.х.н., проф. Дресвянников А.Ф. (Казань); д.г.н., проф. Егорина А.В. (Усть-Каменогорск); д.т.н., проф. Ерофеев В.И. (Томск); д.с.-х.н., проф. Залесов С.В. (Екатеринбург); д.с.-х.н., доцент Захарченко А.В. (Томск); д.с.-х.н., проф. Зволинский В.П. (Волгоград); д.х.н., проф. Ивашкевич А.Н. (Москва); д.б.н., доцент Кавцевич Н.Н. (Мурманск); д.т.н., проф. Калякин С.А. (Донецк); д.с.-х.н., проф. Караев М.К. (Махачкала); д.г.-м.н., проф. Кашаев А.А. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Кобрунов А.И. (Ухта); д.г.-м.н., доцент Копылов И.С. (Пермь); д.г.-м.н., проф. Костицын В.И. (Пермь); д.с.-х.н., проф. Костылев П.И. (Зерноград); д.э.н., проф. Косякова И.В. (Самара); д.с.-х.н., Коцарева Н.В. (Белгород); д.т.н., доцент Кузьяков О.Н. (Тюмень); д.г.-м.н., проф. Кучеренко И.В. (Томск); д.б.н., проф. Ларионов М.В. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Лебедев В.И. (Кызыл); д.ф.-м.н., проф. Лерер А.М. (Ростов-на-Дону); д.г.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., проф. Мельников А.И. (Иркутск); д.т.н., проф. Мусаев В.К. (Москва); д.т.н., доцент Нехорошева А.В. (Ханты-Мансийск); д.с.-х.н., Никитин С.Н. (Ульяновск); д.с.-х.н., Оказова З.П. (Владикавказ); д.с.-х.н., проф. Партоев К. (Душанбе); д.с.-х.н., проф. Петелько А.И. (Мценск); д.т.н., проф. Петров М.Н. (Красноярск); д.т.н., проф. Пирумян Г.П. (Ереван); д.с.-х.н., проф. Проездов П.Н. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Сакиев К.С. (Бишкек); д.б.н. Сибикеев С.Н. (Саратов); д.с.-х.н., доцент Сокольская О.Б. (Саратов); д.т.н., проф. Степанов В.В. (Санкт-Петербург); д.т.н., проф. Тарасенко А.А. (Тюмень); д.т.н. Теплухин В.К. (Октябрьский); д.э.н., проф. Титов В.А. (Москва); д.с.-х.н., проф. Титов В.Н. (Саратов); д.с.-х.н., проф. Тихановский А.Н. (Салехард); д.г.-м.н., проф. Трофименко С.В. (Нерюнгри); д.т.н., проф. Ульрих Е.В. (Кемерово); д.г.н., проф. Чодураев Т.М. (Бишкек); д.с.-х.н., проф. Шамшиев Б.Н. (Ош); д.т.н., проф. Шантарин В.Д. (Тюмень); д.т.н., проф. Шатов А.А. (Уфа); д.ф.-м.н., проф. Ширапов Д.Ш. (Улан-Удэ); д.т.н., проф. Шишелова Т.И. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Шугунов Л.Ж. (Нальчик); д.г.-м.н., проф. Юргенсон Г.А. (Чита); д.г.н., проф. Яковенко Н.В. (Воронеж); д.т.н., проф. Ямалетдинова К.Ш. (Челябинск)

---

Журнал «УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ» зарегистрирован  
Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций.

Свидетельство – **ПИ № ФС 77-63398.**

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатен.

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,653**

**Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,322.**

**Журнал зарегистрирован в Centre International de l'ISSN. ISSN 1681-7494.**

**Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.**

Учредитель, издательство и редакция:

ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции: 440026, Пензенская область, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

Ответственный секретарь редакции –

Бизенкова Мария Николаевна –

+7 (499) 705-72-30

E-mail: [edition@rae.ru](mailto:edition@rae.ru)

Подписано в печать – 25.06.2019

Дата выхода номера – 25.07.2019

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО «Научно-издательский центр

Академия Естествознания»,

г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка

Байгузова Л.М.

Корректор

Галенкина Е.С.

Способ печати – оперативный.

Распространение по свободной цене.

Усл. п.л. 18,38

Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/6-2019

Подписной индекс 70878

© ИД «Академия Естествознания»

---

## СОДЕРЖАНИЕ

**Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)****СТАТЬИ**

ОСОБЕННОСТИ НАСАЖДЕНИЙ ГОРОДСКИХ ПАРКОВ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА <i>Аткина Л.И., Жукова М.В., Морозов А.М.</i> .....	7
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ EXPRESSSUN™ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ПОДСОЛНЕЧНИКА В СРЕДНЕМ ЗАВОЛЖЬЕ <i>Горянин О.И., Джангабаев Б.Ж.</i> .....	13
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Жеруков Т.Б., Кишев А.Ю., Тутукова Д.А.</i> .....	18
ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ МИКОРИЗЫ НА ПРИЖИВАЕМОСТЬ И БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В СУХОЙ СТЕПИ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ <i>Иозус А.П., Завьялов А.А., Бойко С.Ю.</i> .....	23
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ДЕРЕВЬЯМИ СОСНЫ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НИШИ И ЗАКОН ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ <i>Рогозин М.В.</i> .....	28

**Науки о Земле (25.00.00)****СТАТЬИ**

ОСОБЕННОСТИ ВНЕШНИХ МИГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В РОССИИ В ПЕРИОД С 2007 ПО 2017 Г. <i>Аракчеева О.В., Кривдина И.Ю.</i> .....	34
ОЦЕНКА ОТДЕЛЬНЫХ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОД ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ РАЗДОЛЬНАЯ РАЙОНА ГОРОДА УССУРИЙСКА <i>Горбатенко Л.В.</i> .....	40
АНАЛИЗ СИСТЕМНОГО ЕДИНСТВА СОВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ И ОСТРОВА САХАЛИН НА ОСНОВЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ <i>Гусева И.С., Архипова Е.В.</i> .....	46
ДИНАМИКА ФИТОМАССЫ РАЗНОТРАВНО-ОСОКОВО-ЛУГОВО-БОЛОТНОГО СООБЩЕСТВА НАЗАРОВСКОЙ КОТЛОВИНЫ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ И ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ЕЕ ЗАПАС <i>Дубынина С.С.</i> .....	51
ЛИМНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОЗЕРА КИЛЯНКИ ЧУРАПЧИНСКОГО УЛУСА РС(Я) <i>Жирков И.И., Трофимова Т.П., Тастыгина С.К., Жирков К.И.</i> .....	57
ТЕРМОКАРСТОВЫЕ ОЗЕРА РАЙОНОВ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ <i>Иванова Т.Н.</i> .....	62
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД АККУМУЛЯТОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА (НА ПРИМЕРЕ АО «ТЮМЕНСКИЙ АККУМУЛЯТОРНЫЙ ЗАВОД») <i>Качалова Г.С.</i> .....	67

---

ЭКСПЕРТИЗА ЭКОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПАМЯТНИКА  
ПРИРОДЫ – ОЗЕРА СВЕТЛОЯР НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

*Козлов А.В., Маркова Д.С., Соколюк С.А., Тогузов В.И.* ..... 74

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ  
БАССЕЙНА РЕКИ ОСА (ВЕРХНЕЕ ПРИАНГАРЬЕ)

*Лопатина Д.Н.* ..... 82

РЕЗУЛЬТАТЫ U–Pb ДАТИРОВАНИЯ ОБЛОМОЧНЫХ ЦИРКОНОВ ИЗ КАЙНОЗОЙСКИХ  
ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНО-САХАЛИНСКОГО ТЕРРЕЙНА И ИХ ВОЗМОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ

*Малиновский А.И.* ..... 88

ПРИНЦИП ПРЕДЕЛЬНОСТИ И АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОГРАФИИ

*Напрасников А.Т.* ..... 94

МЕТОДИКА ПРОГНОЗА КОНВЕКТИВНЫХ ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ  
ЯВЛЕНИЙ ПО КОМПЛЕКСУ СПУТНИКОВЫХ И АЭРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

*Неижмак А.Н., Расторгуев И.П.* ..... 100

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

*Скрипко Т.В., Мальгина И.Л.* ..... 105

ОЦЕНКА БИОТРОПНОСТИ ВНУТРИСУТОЧНЫХ ГРАДИЕНТОВ ВЕСОВОГО  
СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ,  
АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТЕРРИТОРИИ ХМАО-ЮГРЫ

*Соколов С.В.* ..... 111

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ И ГЕОДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ  
БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ПРИМОРЬЯ)

*Шевырёв С.Л.* ..... 118

**ОБЗОРЫ**

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КРЕМНЕВЫХ ПОРОД РАЗНОВОЗРАСТНЫХ  
ТЕКТОНО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ТАУХИНСКОГО ТЕРРЕЙНА  
(СИХОТЭ-АЛИНЬ): ИСТОРИЯ ДРЕЙФА И ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ  
ПАЛЕОТИХООКЕАНСКОЙ ПЛИТЫ

*Кемкин И.В.* ..... 125

РЕКОНСТРУКЦИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЖИЗНИ С ПОЗИЦИЙ СОВРЕМЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

*Корляков К.А.* ..... 138

---

**CONTENTS**
**Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)**
**ARTICLES**

## FEATURES OF PLANTINGS IN PARKS OF YEKATERINBURG CITY

*Atkina L.I., Zhukova M.V., Morozov A.M.* ..... 7

## PERFECTION OF PRODUCTION SYSTEM EXPRESSSUN™ FOR GROWING SUNFLOWER IN THE MIDDLE VOLGA REGION

*Goryanin O.I., Dzhangabaev B.Zh.* ..... 13

## FEATURES OF MICROELEMENTS' APPLICATION IN AGRICULTURAL PRODUCTION

*Zherukov T.B., Kishev A.Yu., Tutukova D.A.* ..... 18

## PECULIARITIES OF MYCORYSIS IMPACT ON THE SURVIVAL AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF SEEDLINGS OF SCOTS PINE IN DRY STEPPE OF THE LOWER VOLGA REGION

*Iozus A.P., Zavyalov A.A., Boiko S.Yu.* ..... 23

## SPATIAL INTERACTION OF TREES, ECOLOGICAL NICHES AND THE LAW OF THE GOLDEN SECTION

*Rogozin M.V.* ..... 28

**Earth sciences (25.00.00)**
**ARTICLES**

## FEATURES OF EXTERNAL MIGRATION PROCESSES IN RUSSIA IN THE PERIOD FROM 2007 TO 2017 YEARS

*Arakcheeva O.V., Krivdina I.Yu.* ..... 34

## ASSESSMENT OF SOME WATER QUALITY FORMING FACTORS IN THE TRANSBOUNDARY RAZDOLNAYA RIVER

*Gorbatenko L.V.* ..... 40

## THE ANALYSIS OF SYSTEMIC UNITY OF MODERN DEVELOPMENT OF THE KURIL-KAMCHATKA ISLAND ARC AND SAKHALIN ISLAND ON THE BASIS OF SEISMOLOGICAL DATA

*Guseva I.S., Arkhipova E.V.* ..... 46

## DYNAMICS OF THE BIOMASS OF FORB-SEDGE MEADOW-BOG COMMUNITIES NAZAROVSKAYA BASIN OF KRASNOYARSK KRAI, AND THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON ITS SUPPLY

*Dubynina S.S.* ..... 51

## LIMNOLOGICAL CHARACTERISTIC OF THE LAKE KILYANKI OF CHURAPCHINSKY SETTLEMENT OF YAKUTIA REGION

*Zhirkov I.I., Trofimova T.P., Tastygina S.K., Zhirkov K.I.* ..... 57

## THERMOKARST LAKES OF PERMAFROST AREAS

*Ivanova T.N.* ..... 62

## IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF TREATMENT OF WASTE WATER BATTERY PRODUCTION (ON THE EXAMPLE OF JSC «TYUMEN BATTERY FACTORY»)

*Kachalova G.S.* ..... 67

---

EXAMINATION OF ECOLOGY-HYDROCHEMICAL CONDITION OF NATURE  
SANCTUARY – THE LAKES SVETLOYAR OF THE NIZHNY NOVGOROD REGION

*Kozlov A.V., Markova D.S., Sokolyuk S.A., Toguzov V.I.* ..... 74

ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN SOILS AND PLANTS  
OF OSA RIVER BASIN (TOP ANGARA REGION)

*Lopatina D.N.* ..... 82

THE RESULTS OF U-PB DATING OF DETRITAL ZIRCONS FROM CENOZOIC DEPOSITS  
OF THE WEST SAKHALIN TERRANE AND THEIR POSSIBLE SOURCES

*Malinovskiy A.I.* ..... 88

THE LIMITATION PRINCIPLE AND CURRENT PROBLEMS IN MODERN GEOGRAPHY

*Naprasnikov A.T.* ..... 94

THE METHODOLOGY FOR FORECASTING CONVECTIVE WEATHER HAZARDS  
ON THE COMPLEX OF SATELLITE AND AEROLOGICAL DATA

*Neizhmak A.N., Rastorguev I.P.* ..... 100

ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF SOIL POLLUTION BY HEAVY METALS

*Skipko T.V., Malgina I.L.* ..... 105

ASSESSMENT OF THE BIOTROPIC INTRADAY GRADIENTS  
OF THE WEIGHT CONTENT OF OXYGEN IN ATMOSPHERIC AIR,  
ATMOSPHERIC PRESSURE AND TEMPERATURE IN THE TERRITORY  
OF KHANTY-MANSIYSK AUTONOMOUS DISTRICT – YUGRA

*Sokolov S.V.* ..... 111

REMOTE SENSING OF THE EARTH AND GEODYNAMICS OF PRECIOUS  
DEPOSITS FORMING (ON THE SAMPLE OF PRIMORYE)

*Shevyrev S.L.* ..... 118

**REVIEWS**

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF CHERTY ROCKS OF THE DIFFERENT-AGED  
TECTO-STRATIGRAPHIC COMPLEXES OF THE SIKHOTE-ALIN TAUKHA TERRANE:  
THE HISTORY OF DRIFT AND DYNAMICS OF MOVEMENT  
OF THE PALEO-PACIFIC PLATE

*Kemkin I.V.* ..... 125

RECONSTRUCTION OF THE EMERGENCE OF LIFE FROM THE STANDPOINT  
OF MODERN ECOLOGY

*Korlyakov K.A.* ..... 138

СТАТЬИ

УДК 712.25:630\*232(470.54)

**ОСОБЕННОСТИ НАСАЖДЕНИЙ ГОРОДСКИХ ПАРКОВ  
ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА**

**Аткина Л.И., Жукова М.В., Морозов А.М.**

*ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург,  
e-mail: 89501944944@mail.ru*

Городские парки являются неотъемлемой частью экологической системы города. Парковые зоны в городе решают ряд экологических проблем, способствуют улучшению качества воздуха и среды обитания и развития представителей флоры и фауны. Часть городских парков создается на основе естественных насаждений, включенных в городскую среду, для Екатеринбурга это в первую очередь сосновые и березовые насаждения. Вторым вариантом является формирование рекреационных объектов после полного уничтожения естественных ландшафтов. Были исследованы четыре парка, находящиеся в разных частях г. Екатеринбурга и различающиеся по периоду создания и интенсивности использования: парк Турбомоторного завода, 50-летия ВЛКСМ, 50-летия Советской Власти и парк по ул. Чкалова. Было выявлено, что во всех парках видовой состав имеет свои особенности – из естественной флоры чаще встречается береза повислая, из интродуцентов – тополь бальзамический. Кроме березы повислой встречается сосна обыкновенная и лиственница сибирская, но все их посадки искусственны, что отражается на их внешнем облике – аллеи, рядовые посадки, пейзажные группы. Характерными видами во многих парках являются липа мелколистная и ясень пенсильванский. Посадки, как правило, производились стихийно для оформления существующих пешеходных путей. В ходе трансформации парков происходит замена на виды, формирующие меньшую биомассу (яблоня ягодная, рябина обыкновенная, боярышник), тем самым снижается значимость парков в процессах депонирования углерода и в целом в экологической роли парка для города. Запас стволовой массы, отражающий продуктивность насаждений, варьирует от 60 до 200 куб. м на га. В среднем ненамного меньше, чем этот же показатель в парках, созданных с участием естественных насаждений.

**Ключевые слова:** запас насаждений, видовой состав, трансформация насаждений, городской парк

**FEATURES OF PLANTINGS IN PARKS OF YEKATERINBURG CITY**

**Atkina L.I., Zhukova M.V., Morozov A.M.**

*Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, e-mail: 89501944944@mail.ru*

City parks are an integral part of the ecological system of the city. Park areas in the city solve a number of environmental problems; contribute to the improvement of air quality and habitat and the development of flora and fauna. Part of the city parks is created on the basis of natural plantations included in the urban environment, for Yekaterinburg it is primarily pine and birch plantations. The second option is the formation of recreational facilities after the complete destruction of natural landscapes. Four parks located in the different parts of Yekaterinburg city which are differ in the period of creation and intensity of use were investigated: Turbomotor plant Park, 50th anniversary of the Komsomol Park, 50th anniversary of Soviet power Park and Park on Chkalov street. It was found that in all the parks species composition has its own characteristics: common birch is the representative of natural flora and poplars are one of the exotic species. Besides the birch, there are Scots pine and Siberian larch, but all their landings are artificial, which affects their appearance – alleys, ordinary landings, landscape groups. Typical species in many parks are Linden and ash. Landings, as a rule, were made spontaneously for registration of the existing pedestrian ways. During the parks' transformation there are registered the replacement by species forming a smaller biomass (Berry Apple, Rowan, Hawthorn), thereby reducing the importance of parks in the processes of carbon storage and in General the ecological role of the Park for the city. The stock of stem mass, reflecting the productivity of plantations varies from 60 to 200 cubic meters per hectare. On average, this indicator is not much less than the same one in parks created with the participation of natural plantations.

**Keywords:** the stock of plantings, species composition, transformation of plantings, city park

Городские парки являются неотъемлемой частью экологической системы г. Екатеринбурга. Кроме совместного общения, развлечения и отдыха людей парковые зоны в городе решают ряд экологических проблем, способствуют улучшению качества воздуха и среды обитания и развития представителей флоры и фауны [1]. Традиционно, в рамках пред проектного анализа городских парков растительность оценивается по следующим характеристикам: площади, густоте и составу насаждений, высоте и возрасту деревьев.

Они являются основой стандартов для формирования парка.

С другой стороны, для оценки экологической эффективности природных насаждений все чаще используются показатели продуктивности деревьев, являющиеся основой для расчета участия тех или иных видов растений в круговороте углерода. Ранее авторами были исследованы парки, сформированные на основе естественных сосновых насаждений [2].

Цель исследования: выявление особенностей парков, созданных в процессе за-

стройки микрорайонов города без использования естественных насаждений.

Для этого установлены следующие показатели, отражающие изменения в насаждениях, произошедшие за период использования их в качестве объектов рекреации:

- структура видового состава;
- санитарного состояния как отдельных видов древесных, так и насаждения в целом;
- доля участия преобладающих видов в насаждениях парков (по количеству деревьев и запасу стволовой массы).

#### **Материалы и методы исследования**

Для достижения цели были выбраны четыре парка, находящиеся в разных микрорайонах г. Екатеринбурга, имеющих различные сроки использования в качестве объектов рекреации: парк по ул. Чкалова (9,3 га), парк им. 50-летия ВЛКСМ (11,7 га), парк им. 50-летия Советской Власти (2,9 га) и парк Турбомоторного завода (4,4 га). Все эти парки были созданы после полного уничтожения естественных насаждений. Отдельные характеристики ландшафтных участков и таксационные показатели определялись по общепринятым методикам [3]. Средний балл санитарного состояния для насаждения в целом определялся как средневзвешенный показатель. При расчете показателей густоты и запаса насаждений учитывалась только площадь под зелеными насаждениями, площадь под дорожками, площадками и другими планировочными элементами, имеющими твердое искусственное покрытие, не рассматривалась.

*Парк Турбомоторного завода.* Парк находится на территории Орджоникидзевского района города, в непосредственной близости к северной промышленной зоне. Северо-восточная сторона парка граничит с жилой застройкой по ул. Стачек. Юго-восточная граница парка примыкает к административным зданиям и ТРЦ по ул. Фронтových бригад. Юго-западная граница проходит по ул. Бабушкина. С северо-восточной стороны к парку примыкает территория храма Успения Пресвятой Богородицы и частный спортивный комплекс.

Парк относится к категории парка жилого района и используется жителями р-на Эльмаш для кратковременного отдыха, прогулок с детьми, а также для транзита пешеходов в направлениях: север – юг, северо – запад – юго-восток и реже – запад – восток. Парк представля-

ет собой равнинную местность без перепадов рельефа. Композиционный центр парка расположен в северо-западной части и выполнен в виде лучевой партерной композиции с цветниками из однолетних растений. Пересечения аллеи с главными диагональными маршрутами выполнены в виде двух круглых площадок, в центре которых расположены круглые цветники диаметром 2 м с однолетними видами растений.

*Парк по ул. Чкалова.* Парк по ул. Чкалова, который находится в Ленинском районе Екатеринбурга в границах улиц Начдива Онуфриева – Громова – Академика Бардина – Чкалова, является особо охраняемой природной территорией (ООПТ) местного значения (решение Думы от 2009 г.).

По своей конфигурации парк напоминает большой прямоугольник. Со стороны ул. Чкалова к парку примыкает придорожный сквер, отделяющий автомобильную магистраль от жилых домов. Он органично дополняет общий ландшафт парка. Со стороны ул. Громова и Чкалова вдоль изгороди парка проходит однорядная аллея, состоящая из груши уссурийской и черемухи Маака. Планировка парка предусматривает наличие главной аллеи, идущей с севера на юг, и системы пересекающих ее более мелких поперечных дорожек, проходящих под углом к центральной аллее. По обеим сторонам главной аллеи высажены липы. От западной до восточной стороны парк пересекают крупные поперечные аллеи: две яблоневые, грушевая с односторонней посадкой, лиственничная, березовая, большая и малая тополевые. Флористический состав насаждений парка представлен 23 видами деревьев и кустарников, которые сформированы в аллее и куртины, занимающие площадь более 1800 кв. м [4].

*Парк 50-летия Советской Власти.* Парк имени 50-летия Советской Власти был заложен на самой высокой точке города. В начале XX в. в связи с расширением города район был подвергнут перепланировке, в 1960-е гг. восточную сторону горки расчистили и высадили на освободившейся площадке деревья и кустарники.

Парк стоит на одном из первых мест по популярности среди населения нашего города. Территориально объект имеет микрорайонное значение. Древесные насаждения парка и его планировочное решение представляют большую ценность для города. Наряду с такими распространенными в озе-

лении на Урале породами деревьев и кустарников, как клен американский, ясень пенсильванский, лиственница сибирская, береза повислая, рябина обыкновенная, яблоня сибирская, в парке имеются и более редкие виды: дуб черешчатый, боярышник Максимовича, клен Гиннала, смородина золотистая, орех маньчжурский. Ассортимент деревьев и кустарников парка насчитывает более 30 видов. Через парк параллельно ул. Мичурина проходит красивая лиственничная аллея. Непосредственно вдоль ул. Мичурина посажена аллея из ясеня, дуба и боярышника. От улицы Декабристов парк отделяет трехрядная березовая аллея. Пространство между аллеями занимают одиночные и групповые посадки деревьев [5].

*Парк 50-летия ВЛКСМ.* В годы массового жилищного строительства в честь юбилея комсомола был открыт Парк имени 50-летия ВЛКСМ.

Рельеф парка в основном выровненный, заметны понижения рельефа в связи с имеющейся в парке сетью небольших прудов, соединенных протоками. Одна из проток расположена параллельно ул. Ясной. Граница с ул. Ясной оформлена двурядной живой изгородью из березы и боярышника. Аллеи из березы, лиственницы, липы и тополя выводят к прудам. Парк выполнен в пейзажном стиле. Пруд в центре парка окружен посадками березы. Центральная часть парка более просторная, поляны чередуются с группами из березы, тополя, сосны. Каменистые россыпи и камышовые болотца усиливают эффект уральского ландшафта [6].

### Результаты исследования и их обсуждение

В ходе изучения видового состава насаждений изученных парков установлено, что основными паркообразующими древесными породами являются тополь бальзамический, береза повислая, ясень пенсильванский, липа мелколистная, яблоня ягодная. В двух парках представлены искусственные посадки сосны обыкновенной и лиственницы, придающие насаждению определенное своеобразие. Но присутствие хвойных скорее исключение, чем правило.

В двух парках основу насаждения составляет тополь бальзамический (рис. 1) – более 60% по количеству деревьев. Но более характерным видом является береза повислая, в значительной степени представленная в трех изученных парках – 33–35%.

Береза повислая, липа мелколистная и ясень пенсильванский в парках формируют преимущественно аллеи посадки. Тополь бальзамический используется и при создании аллей, и при посадке массивов между дорожками.

Остальные виды встречаются преимущественно в групповых посадках.

Особенность визуального восприятия возникает и из-за различной плотности насаждения – от 181 до 423 экз/га. При сравнении рис. 1 и табл. 1 видно, что повышенная плотность встречается в парках с преобладанием тополя бальзамического.

Очевидно, что представленность вида не всегда отражает густоту посадки. Но преобладание тополя бальзамического отражается и на структуре запаса стволовой массы в двух парках (рис. 2).

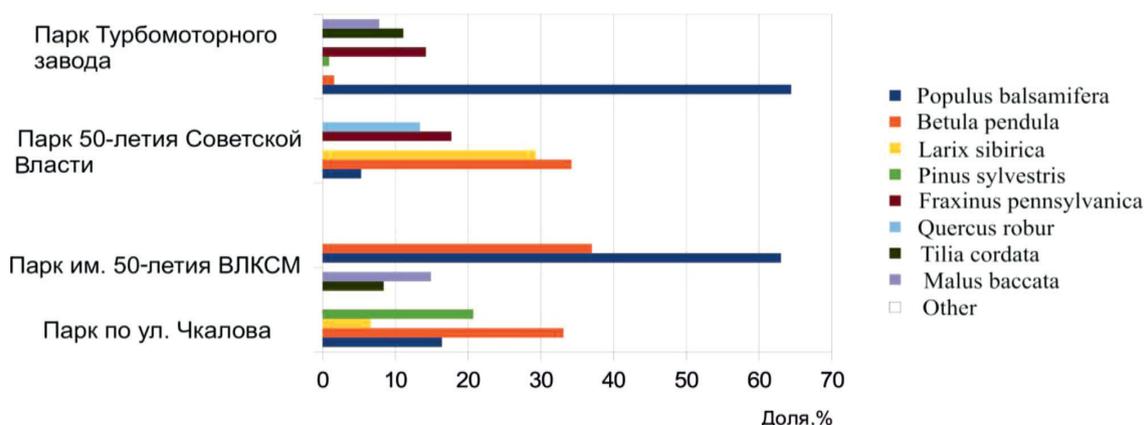
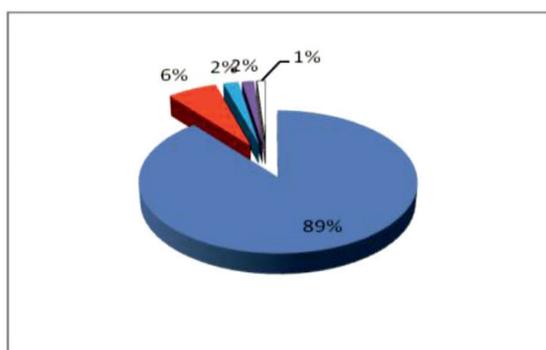


Рис. 1. Долевое участие древесных видов в формировании парковых насаждений

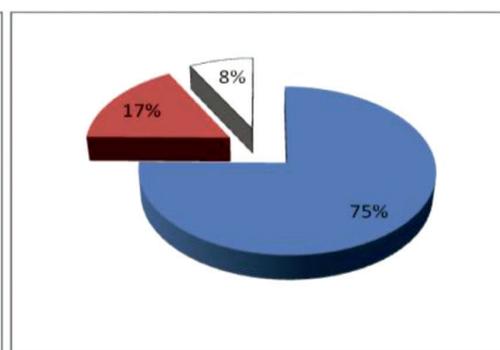
Таблица 1

Плотность посадки, экз/га различных видов в парковых насаждениях

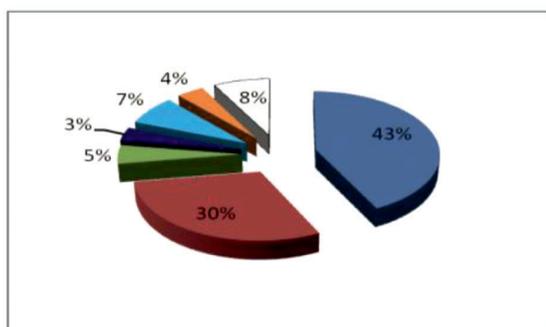
Парк	Виды								Всего
	Populus balsamifera	Betula pendula	Larix sibirica	Pinus sylvestris	Fraxinus pennsylvanica	Quercus robur	Tilia cordata	Malus baccata	
По ул. Чкалова	29,7	60,0	11,9	37,4	0	0	15,2	27,0	181,2
Им. 50 летия ВЛКСМ	109,1	64,2	0	0	0	0	0	0	173,3
Им. 50-летия Советской Власти	12,1	77,2	66,2	0	4,0	30,3	0	0	225,9
Турбомоторного завода	272,0	6,7	0	4,1	59,9	0	47,0	33,3	423,0



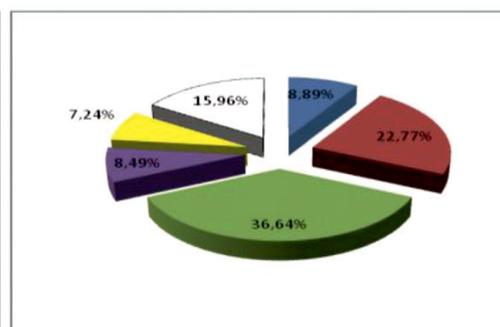
1



2



3



4

- Populus balsamifera
- Betula pendula
- Larix sibirica
- Pinus sylvestris
- Fraxinus pennsylvanica
- Quercus robur
- Tilia cordata
- Malus baccata
- Other

Парки:

1. Турбомоторного завода
2. Им. 50-летия ВЛКСМ
3. По ул. Чкалова
4. Им. 50-летия Советской Власти

Рис. 2. Структура запаса древесины основных видов в изученных парках, м<sup>3</sup>/га

Таблица 2

Запас стволовой массы насаждений в городских парках Екатеринбурга

Созданные в процессе застройки города		Преобразованные из сосновых естественных древостоев	
Парк	Запас, куб. м/га	Парк	Запас, куб. м/га
По ул. Чкалова	62,55	Семь ключей	348,20
Им. 50-летия Советской Власти	97,28	Зеленая роща	103,30
Им. 50-летия ВЛКСМ	196,34	Парк камвольного комбината	65,06
Турбомоторного завода	207,80	Парк им. Чкалова	54,90

По количеству стволов в парке по ул. Чкалова тополь бальзамический составляет около 17%, в то время как его запас составляет 43% от общего запаса насаждения. Это показывает его значительную роль в процессах депонирования углерода и в целом в экологической роли насаждения. Подобная картина наблюдается и по отношению к березе повислой. Доля запаса древесины несколько ниже, чем представленность по густоте насаждений. Для остальных видов также не совпадает с густотой посадок.

Соответственно, существующие рекомендации по формированию насаждений на такие показатели, как густота посадок, не отражают реальной роли древесных пород в формировании насаждений. И совершенно не отражают их роль как экологического компонента парка. В настоящее время предложены рекомендации по насыщению парка древесными растениями по двум категориям: деревья и кустарники. Деревьев – 150–200 экз. на га, кустарников – 1,5–2 тыс. экз. на га без учета их будущих габаритов.

В результате зачастую происходит уменьшение доли крупных растений в пользу небольших, быстро растущих и легко транспортируемых. Таковой является яблоня. Именно она в большей степени подсаживается при реконструкции парков в последние годы. В результате происходит уменьшение доли крупных деревьев, формирующих большую биомассу, снижая тем самым значимость парка для экологии города. Для промышленных городов Урала это недопустимо, учитывая, что природно-географические условия позволяют выращивать насаждения из деревьев первой категории.

Сравнив показатели запаса стволовой древесины парков, возникших на месте естественных насаждений [2] и созданных в процессе застройки (табл. 2), можно утверждать, что по данному показателю они различаются незначительно. В среднем запас стволовой массы составляет около

140 куб. м на га. Но парки, в основе которых сосновые насаждения, имеют более высокий потенциал, они могут формировать более 300 куб. м на га, что повышает их кислородопroduцирующие и углероддепонирующие функции, а следовательно, роль в улучшении экологии города.

### Заключение

В ходе анализа особенностей насаждений парков созданных в результате посадки различных видов древесных, были сделаны следующие выводы.

В видовом составе древостоя парков встречаются 20–30 видов, но преобладают от 3 до 8. Их доле участие в формировании парковых насаждений различно. От двух видов в парке им. 50-летия ВЛКСМ до шести в парке по ул. Чкалова.

Из видов естественной флоры чаще всего встречается береза повислая, составляющая 20–30% по запасу от общей стволовой массы. Кроме березы повислой встречается сосна обыкновенная и лиственница сибирская, но все их посадки искусственны, что отражается на их внешнем облике – аллеи, рядовые посадки, пейзажные группы.

Из интродуцентов в значительной степени представлен тополь бальзамический, до 90% от общего количества. Характерными видами во многих парках являются липа мелколиственная и ясень пенсильванский.

Плотность посадок в парках также варьирует от 181,2 в парке по ул. Чкалова до 423 деревьев на га в парке Турбомоторного завода. В последнем случае это связано с завышенной густотой в момент посадки с целью скорейшего формирования древостоя из быстрорастущего тополя бальзамического. Только в парке по ул. Чкалова в посадках прослеживаются проектные решения, отражающиеся в формировании пейзажных групп. В других парках, скорее всего, посадки были стихийными, происходило оформление существующих пешеходных путей.

Запас стволовой массы, отражающий продуктивность насаждений, варьирует от 60 до 200 куб. м на га. В среднем ненамного меньше, чем этот же показатель в парках, созданных с участием естественных насаждений.

#### Список литературы / References

1. Нагибина И.Ю., Журова Е.Ю. Значение парковых зон для жителей городской среды // Молодой ученый. 2014. № 20. [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/79/14035/> (дата обращения: 20.03.2019).
2. Nagibina I.Y., Zhurova E.J. The Value of green areas for the residents of the city. The Young scientist. 2014. № 20. [Electronic resource]. URL: <https://moluch.ru/archive/79/14035/> (date of access: 20.03.2019) (in Russian).
3. Аткина Л.И., Жукова М.В., Морозов А.М. Трансформация сосновых насаждений в парках Екатеринбурга // Вестник Бурятской сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2017. № 4 (49). С. 68–74.
4. Atkina L.I., Zhukova M.V., Morozov A.M. The transformation of the pine plantations, the parks of Yekaterinburg. Bulletin of the Buryat agricultural Academy. V.R. Filippova. 2017. № 4(49). P. 68–74 (in Russian).
5. ОСТ 56-89-83. Методика инвентаризации городских зеленых насаждений: утв. Минстроем России: введ. в действие с 01.01.97. М.: Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова, 1997. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.os39.ru/file/oksana/metodika\\_inventarizatsii\\_gorodskikh\\_zelenykh\\_nasazhdenii.pdf](http://www.os39.ru/file/oksana/metodika_inventarizatsii_gorodskikh_zelenykh_nasazhdenii.pdf) (дата обращения: 20.03.2019).
6. ООПТ России. [Электронный ресурс]. URL: <http://oopt.aari.ru/oopt/Парк-по-улице-Чкалова> (дата обращения: 25.05.2019).
7. Protected areas of Russia [Electronic resource]. URL: <http://oopt.aari.ru/oopt/Парк-по-улице-Чкалова> (date of access: 20.03.2019) (in Russian).
8. Вишнякова С.В., Игнатова М.В. Современное состояние насаждений парка имени 50-летия Советской Власти // Ландшафтная архитектура – традиции и перспективы: материалы I науч. конф., посвященной 10-летию кафедры ландшафтного строительства. Екатеринбург: ФГБОУ ВПО «Урал. гос. лесотехн. ун-т», 2012. С. 59–63.
9. Vishnyakova S.V., Ignatova M.V. The Current state of the Park named 50th anniversary of the Soviet power. Landscape architecture-traditions and prospects: materials I scientific. Conf. dedicated to the 10th anniversary of the Department of landscape construction. Ekaterinburg: US FEU, 2012. P. 59–63 (in Russian).
10. Аткина Л.И., Жукова М.В., Морозов А.М., Данилов Д.А. Загрязнение почв парка им. 50 ВЛКСМ г. Екатеринбурга тяжелыми металлами // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15153> (дата обращения: 12.04.2019).
11. Atkina L.I., Zhukova M.V., Morozov A.M., Danilov D.A. Soil Pollution Park. 50 of the Komsomol in Ekaterinburg with heavy metals. Modern problems of science and education. 2014. № 5. [Electronic resource]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15153> (date of access: 20.03.2019) (in Russian).

УДК 633.854.78:631.58(470.40/43)

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ EXPRESSSUN™ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ПОДСОЛНЕЧНИКА В СРЕДНЕМ ЗАВОЛЖЬЕ

Горянин О.И., Джангабаев Б.Ж.

ФГБНУ «Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н.М. Тулайкова», Безенчук, e-mail: samniish@mail.ru

Представлены результаты исследований по изучению трёх вариантов подсолнечника, возделываемых по производственной системе ExpressSun™ (предшественник ячмень), на чернозёме обыкновенном за 2013–2018 гг. При переходе на системный принцип формирования технологии возделывания, основанные на дифференцированных обработках почвы в севообороте, обеспечили увеличение запасов продуктивной влаги в почве к появлению всходов подсолнечника, по сравнению с традиционной технологией на 8,1–13,4 мм (5,3–8,8%), содержания  $P_2O_5$  – на 18,6–26,4 мг/кг (10,2–14,4%),  $K_2O$  – 7,9–13,6 мг/кг (4,5–7,7%). При возделывании подсолнечника П63ЛЕ10 по производственной системе «EXPRESSSUN» установлена прибавка урожая от применения препарата Борогум 0,15 т/га (7,4%). Снижение производственных затрат при одинаковой урожайности на варианте с применением биопрепарата на 6,1%, по сравнению с контролем, обеспечило получение наибольшего условного чистого дохода и уровня рентабельности – 24394,7 руб/га и 268,7% соответственно, что на 1253,2–2068,4 руб/га (5,4–9,3%) и 12,6–28,4% больше других изучаемых вариантов. На основе полученных данных разработана низкозатратная технология возделывания подсолнечника, которая включает следующие технологические операции: глубокое рыхление почвы на 25–27 см (ПЧ-4,5), весеннее боронование (БЗСС-1,0), предпосевную культивацию (ОПО-4,25), прикатывание почвы (Зкш-6), посев (ССТФ-6), боронование по всходам в один след (БЗСС-1,0), обработка гербицидом (Экспресс, 50г/га) + внесение биопрепарата (Борогум, 1л/га) в фазу 8–10 настоящих листьев. Ожидаемый годовой экономический эффект от освоения в Самарской области новых технологий возделывания подсолнечника составит более 0,9 млрд руб.

**Ключевые слова:** подсолнечник, производственная система ExpressSun™, Борогум

## PERFECTION OF PRODUCTION SYSTEM EXPRESSSUN™ FOR GROWING SUNFLOWER IN THE MIDDLE VOLGA REGION

Goryanin O.I., Dzhangabaev B.Zh.

Federal State Budgetary Scientific Institution «Samara Scientific Research Institute of Agriculture named after N.M. Tulyaykov», Bezenchuk, e-mail: samniish@mail.ru

The results of studies on the three variants of sunflower agrotechnology cultivated using the ExpressSun™ production system (predecessor barley) on chernozem ordinary for 2013-2018 are presented. When switching to a systemic principle of formation, cultivation technologies based on differentiated tillage in the crop rotation, provided an increase in the reserves of productive moisture in the soil to the emergence of sunflower shoots, compared with the traditional technology by 8.1-13.4 mm (5.3-8, 8%), the content of  $P_2O_5$  – by 18.6-26.4 mg / kg (10.2-14.4%),  $K_2O$  – 7.9-13.6 mg / kg (4.5-7.7%). In the cultivation of sunflower П62ЛЕ122 in the EXPRESS SUN production system, a yield increase from the use of the drug Borogum 0.15 t / ha (7.4%) was established. Reducing production costs with the same yield on the variant with the use of a biological product by 6.1%, compared with the control, provided the highest conditional net income and profitability level – 24394.7 rubles / ha and 268.7%, respectively, which is 1253.2 -2068.4 rub / ha (5.4-9.3%) and 12.6-28.4% more than other studied options. On the basis of the data obtained, a low-cost technology for the cultivation of sunflower has been developed, which includes the following technological operations: deep loosening of the soil by 25-27 cm (PCH-4,5), spring harrowing (BZSS-1,0), pre-sowing cultivation (OPO-4.25), rolling in of soil (3kksh-6), sowing (SSTF-6), harrowing on shoots in one trace (BZSS-1,0), treatment with herbicide (Express, 50g / ha) + application of a biological product (Borogum, 1l / ha) in phase 8-10 true leaves. The expected annual economic effect from the development in the Samara region of new technologies for the cultivation of sunflower will be more than 0.9 billion rubles.

**Keywords:** sunflower, production system ExpressSun™, Borogum

В последнее десятилетие самой эффективной и востребованной полевой культурой в европейской части России является подсолнечник [1, 2]. В стране появилось большое количество высокоурожайных и высококачественных отечественных и зарубежных гибридов, отработаны традиционные технологии возделывания этой культуры. Однако эти технологии в настоящее время не совсем отвечают требованиям

рынка. Повысились требования к сдаваемой продукции, кроме того, положение осложняется нехваткой трудовых ресурсов. В этих условиях необходим поиск новых подходов и направлений, позволяющий при сокращении трудовых затрат и применении адаптивной интенсификации получать высокоэффективные и качественные урожаи маслосемян подсолнечника [3–5]. Применение новых производственных систем помо-

жет решить эти проблемы, однако данные технологии требуют адаптации к почвенно-климатическим условиям нашего региона.

Одним из факторов в реализации этой проблемы является использование биопрепаратов и микробиологических удобрений, позволяющих активизировать почвенные процессы, повысить интенсивность фотосинтеза и урожайность культуры [6, 7].

Вследствие этого целью исследований являлось выявление приёмов адаптивной интенсификации при возделывании подсолнечника по производственной системе ExpressSun™.

### Материалы и методы исследования

Исследование производственной системы проводилось в зернопаропропашном севообороте (чистый пар – озимая мягкая пшеница – соя – яровая твёрдая пшеница – ячмень – подсолнечник) отдела земледелия и новых технологий. С 2013 по 2018 г. изучались три агротехнологии (варианта опыта):

1. С ежегодной вспашкой в севообороте на 22–24 см (контроль).

2. С дифференцированной обработкой почвы в севообороте, в том числе под подсолнечник рыхление ПЧ-4,5 на 25–27 см (Фон);

3. Фон + Борогум 1 л/га (6–8 листьев).

Борогум В 11 + МЭ – жидкое борное удобрение с антистрессовыми, иммуностимулирующими свойствами, с набором микроэлементов в хелатной форме. Препаративная форма жидкости. Содержание элементов в препарате:

– микроэлементный комплекс (В – 11,0%, Мо – 0,005%, Со – 0,01%, Сu – 0,01%, Zn – 0,01%, Mn – 0,05%, Ni – 0,01%, Li – 0,0005%, S – 0,01%, Se – 0,0001%, Cr – 0,001%;

– БМВ-гуматы – 3%, Фитоспорин-М – 1%.

В весенне-летний период на всех вариантах опыта применялись следующие технологические операции: ранневесеннее боронование (БЗСС-1,0) предпосевная культивация на 8–10 см (ОПО-4,25), прикатывание (ЗККШ-6), посев гибрида П6ЗЛЕ10 (ССТВ-6), боронование по всходам (БЗСС-1,0), обработка гербицидом Экспресс 50 г/га (ОН-400).

Почва изучаемого участка – чернозем обыкновенный. Повторность опыта трехкратная, размер делянок 1100 м<sup>2</sup>.

За исключением 2013 г. (ГТК за вегетацию подсолнечника = 0,95) исследования проводились в засушливых условиях. В 2014 г. была выявлена весенняя (ГТК = 0,58), в 2015, 2016 и 2018 гг. весенне-

летняя засухи (ГТК = 0,44–0,54). В 2017 г. при обильных осадках в мае и июне и засушливых условиях в августе получена урожайность маслосемян на уровне нормы.

В опытах проводили следующие учёты и наблюдения: влажность почвы – термостатно-весовым методом. Нитраты и подвижные формы фосфора и калия определяли согласно ГОСТ 26951-86; 26204-91. Подвижные формы фосфора и калия определяли по Чирикову.

Результаты учётов и наблюдений обрабатывали методом дисперсионного анализа на ЭВМ (Программа AGROS ver. 2.09).

### Результаты исследования и их обсуждение

В среднем за годы исследований, применение глубокого рыхления почвы, по сравнению с вариантом, где проводилась ежегодная вспашка, обеспечивало увеличение запасов продуктивной влаги в почве к появлению всходов подсолнечника на 8,1–13,4 мм (5,3–8,8%) (табл. 1). Однако при этом достоверное преимущество безотвальной обработки почвы установлено только в 2014, 2015 и 2017 гг.

При анализе зависимости запасов продуктивной влаги в слое 0–100 см в период всходов подсолнечника на варианте со вспашкой была установлена существенная на 1% уровне связь ( $r = 0,98^{**}$ ) с количеством осадков за вневегетационный период (сентябрь – апрель), предшествующий посеву подсолнечника. Вследствие лучшего влагосбережения, применение глубокого рыхления почвы снижало зависимость накопления влаги от условий увлажнения в осенне-зимний период до 5% уровня значимости ( $r = 0,84^{*}-0,85^{*}$ ). Запасы продуктивной влаги 0–30 см слоя в период всходов культуры находились в средней зависимости от количества осадков мая ( $r = 0,74-0,76$ ) и существенной от ГТК мая ( $r = 0,83^{*}-0,84^{*}$ ).

При мониторинге запасов продуктивной влаги в исследованиях не установлено значительного изменения расхода влаги на единицу площади за вегетацию подсолнечника в зависимости от изучаемых вариантов – 2389,8–2545,8 м<sup>3</sup>/га. Однако в засушливых условиях региона применение вспашки и глубокого рыхления с обработкой посевов препаратом Борогум способствовало более рациональному расходу влаги, по сравнению с безотвальной обработкой почвы без применения биопрепарата на 10,9–13,4%.

**Таблица 1**

Весенние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы, мм

Годы	Варианты опыта			НСР <sub>05</sub>
	1	2	3	
2013	134,3	131,8	145,0	21,0
2014	138,4	162,1	143,5	17,2
2015	128,0	160,7	155,4	27,7
2016	172,1	185,5	177,9	17,0
2017	192,7	207,6	194,5	12,8
2018	150,6	149,1	148,4	20,6
Среднее	152,7	166,1	160,8	19,4

**Таблица 2**

Содержание подвижных питательных веществ под посевами подсолнечника весной в слое почвы 0–40 см, мг/кг почвы (среднее 2013–2018 гг.)

Питательные вещества	Варианты опыта			НСР <sub>05</sub>
	1	2	3	
NO <sub>3</sub>	31,87	28,48	27,45	8,6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	183,1	201,7	209,5	23,6
K <sub>2</sub> O	175,5	189,1	183,4	22,3

При высоком и очень высоком содержании подвижных фосфатов и обменного калия на большинстве чернозёмов обыкновенных, одним из основных макроэлементов, влияющих на урожайность подсолнечника в Среднем Поволжье, является азот.

В наших исследованиях в период всходов подсолнечника, применение вспашки обеспечивало существенное улучшение азотного режима почвы на 7,92–13,8 мг/кг (36,5–65,6%), по сравнению с вариантами, где проводилась безотвальная обработка только в 2013 и 2018 гг. В остальные годы и в среднем за исследуемый период разница между вариантами по содержанию NO<sub>3</sub> была незначительной (табл. 2).

На накопление нитратов к всходам подсолнечника, на варианте со вспашкой, положительное влияние оказывала средняя температура воздуха мая ( $r = 0,81^*$ ). При глубоком рыхлении почвы, вследствие меньшего её прогревания связь со среднесуточной температурой мая была менее значимой ( $r = 0,68-0,78$ ).

В проведённых исследованиях установлено улучшение фосфорного и калийного режимов почвы при применении глубокого рыхления почвы под подсолнечник, по сравнению со вспашкой. Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> увеличивалось на 18,6–26,4 мг/кг (10,2–14,4%), K<sub>2</sub>O – 7,9–13,6 мг/кг (4,5–7,7%).

На накопление подвижных фосфатов и обменного калия из абиотических факторов на варианте со вспашкой положитель-

ное влияние оказывала температура воздуха за вневегетационный период, предшествующий посеву подсолнечника ( $r = 0,70-0,73$ ). При глубоком рыхлении почвы содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в зависимости от температуры воздуха за аналогичный период было на уровне с контролем ( $r = 0,61-0,75$ ), содержание K<sub>2</sub>O в большей степени зависело от количества осадков (сентябрь – апрель), при коэффициенте корреляции равном 0,64–0,65.

При возделывании подсолнечника важно обеспечить низкую засорённость посевов в начальные фазы его развития. Боронование посевов по всходам в годы исследований способствовало снижению засорённости до слабого и среднего уровня. Применяемый на подсолнечнике послевсходовый гербицид Экспресс проявил высокую биологическую эффективность. После обработки гербицидом засорённость посевов в течение всей вегетации находилась на слабом уровне, сохранившиеся сорняки были угнетены и не оказывали существенного влияния на урожайность маслосемян изучаемой культуры.

При наблюдениях после химической обработки не установлено фитотоксичности гибрида ПбЗЛЕ10 на применяемый гербицид Экспресс.

Применение препарата Борогум, в среднем за годы исследований, обеспечило получение урожайности подсолнечника на уровне с контролем и на 0,15 т/га (7,4%) больше, чем на варианте без применения биопрепарата (табл. 3).

Таблица 3

Урожайность подсолнечника, приведённая к 8 % влажности зерна, т/га

Годы	Варианты опыта			НСР <sub>05</sub>
	1	2	3	
2013	2,41	2,28	2,57	0,33
2014	1,82	1,60	1,79	0,22
2015	1,09	1,29	1,43	0,18
2016	2,94	2,83	2,96	0,14
2017	2,30	2,15	2,18	0,14
2018	2,40	2,08	2,21	0,22
Среднее	2,16	2,04	2,19	0,21

Таблица 4

Экономическая эффективность возделывания подсолнечника (среднее за 2013–2018 гг.)

Варианты опыта	Стоимость продукции, руб/га	Производственные затраты, руб/га	Условный чистый доход, руб/га	Уровень рентабельности, %
1. С ежегодной вспашкой в севообороте на 22–24 см (контроль)	32773,0	9631,5	23141,5	240,3
2. С дифференцированной обработкой (Фон)	31043,0	8716,7	22326,3	256,1
3. Фон + Борогум	33472,0	9077,3	24394,7	268,7

По результатам корреляционного анализа было установлено, что на варианте со вспашкой урожайность находилась в средней зависимости от содержания  $\text{NO}_3$  ( $r = 0,53$ ) и  $\text{P}_2\text{O}_5$  ( $r = 0,66$ ). При глубоком рыхлении почвы из макроэлементов на урожайность подсолнечника в большей степени оказывало влияние содержание обменного калия ( $r = 0,53-0,68$ ).

При анализе климатических условий выявлено, что урожайность подсолнечника при ежегодной вспашке находилась в наибольшей зависимости от количества осадков и ГТК июля ( $r = 0,76-0,77$ ). В первом случае связь была положительной, во втором отрицательной. При глубоком рыхлении почвы установлена существенная связь с осадками, ГТК и относительной влажностью воздуха за сентябрь ( $r = 0,80^*-0,93^{**}$ ), которые оказывали положительное влияние на налив маслосемян.

Снижение производственных затрат при одинаковой урожайности на варианте с применением биопрепарата на 6,1%, по сравнению с контролем, обеспечило получение наибольшего условного чистого дохода и уровня рентабельности – 24394,7 руб/га и 268,7% соответственно, что на 1253,2–2068,4 руб/га (5,4–9,3%) и 12,6–28,4% больше других изучаемых вариантов (табл. 4).

#### Заключение

Изучение препарата Борогум при возделывании подсолнечника в производственной

системе ExpressSun™, выполненное за период 2013–2018 гг., свидетельствуют о большой перспективности этого направления.

При переходе на системный принцип формирования технологий выявлена возможность эффективного использования технологий возделывания, основанных на дифференцированных обработках почвы в севообороте, обеспечивающих увеличение запасов продуктивной влаги в почве к появлению всходов подсолнечника, по сравнению с традиционной технологией на 8,1–13,4 мм (5,3–8,8%), содержания  $\text{P}_2\text{O}_5$  – на 18,6–26,4 мг/кг (10,2–14,4%),  $\text{K}_2\text{O}$  – 7,9–13,6 мг/кг (4,5–7,7%).

При возделывании подсолнечника П63ЛЕ10 по производственной системе «EXPRESS SUN» установлена прибавка урожая от применения препарата Борогум 0,15 т/га (7,4%). Снижение производственных затрат при одинаковой урожайности на варианте с применением биопрепарата на 6,1%, по сравнению с контролем, обеспечило получение наибольшего условного чистого дохода и уровня рентабельности – 24394,7 руб/га и 268,7% соответственно, что на 1253,2–2068,4 руб/га (5,4–9,3%) и 12,6–28,4% больше других изучаемых вариантов. На основе полученных данных разработана низкозатратная технология возделывания подсолнечника, которая включает следующие технологические операции: глубокое рыхление почвы на 25–27 см (ПЧ-4,5), весеннее боронование (БЗСС-1,0), предпосевная культивация (ОПО-4,25), при-

катывание почвы (Зккш-6), посев (ССТВ-6), боронование по всходам в один след (БЗСС-1,0), обработка гербицидом (Экспресс, 50 г/га) + внесение (Борогум, 1 л/га) в фазу 8–10 настоящих листьев. Ожидаемый годовой экономический эффект от освоения в Самарской области новых технологий возделывания подсолнечника составит более 0,9 млрд руб.

#### Список литературы / References

1. Горянин О.И., Горянина Т.А. Перспективы возделывания полевых культур в Среднем Заволжье // Успехи современного естествознания. 2018. № 4. С. 49–53. DOI: 10.17513/use.36724.
2. Goryanin O.I., Goryanina T.A. Aspects of Agricultural Crops Cultivating in the Middle Volga Region // Advances in current natural sciences. 2018. № 4. P. 49–53 (in Russian).
3. Дридигер В.К., Кашаев Е.А., Стукалов Р.С., Паньков Ю.И., Войцеховская С.С. Влияние технологий возделывания сельскохозяйственных культур на урожайность и экономическую эффективность в севообороте // Земледелие. 2015. № 7. С. 20–23.
4. Dridiger V.K., Kashchaev E.A., Stukalov R.S., Pankov Yu.I., Voytsekhovskaya S.S. Influence of technology of cultivation of agricultural crops on yield and economic efficiency in crop rotation // Zemledelie. 2015. № 7. P. 20–23 (in Russian).
5. Артёмова Е.М., Плачида К.Н. Экономическая эффективность инновационной (ресурсосберегающей) технологии при производстве гибридов подсолнечника в промышленном семеноводстве // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2013. № 2 (155–156). С. 144–155.
6. Artemova E.M., Plachida K.N. Economic efficiency of innovative (resource-saving) technology in the production of sunflower hybrids in industrial seed // Oilseeds. Scientific and technical Bulletin of the all-Russian research Institute of oilseeds. 2013. № 2 (155–156). P. 144–155 (in Russian).
7. Зеленский Н.А., Зеленская Г.М., Шуркин А.Ю. Урожайность подсолнечника при различных технологиях обработки почвы // Защита и карантин растений. 2014. № 9. С. 44–47.
8. Zelensky N.A., Zelensky G.M., Shurkin A.Yu. Sunflower yield capacity in different technologies of soil handling // Zashita i karantin rastenij. 2014. № 9. P. 44–47 (in Russian).
9. Плесакачев Ю.Н., Семина Н.И., Долгов Е.Ю., Скороходов Е.А., Солодовников А.П. Способы повышения плодородия и урожайность подсолнечника в Нижнем Поволжье // Аграрный научный журнал. 2018. № 2. С. 28–31. DOI: 10.28983/asj.v0i2.306.
10. Pleskachev Yu.N., Semina N.I., Dolgov E.Yu., Skorokhodov E.A., Solodovnikov A.P. Methods of increasing the fertility and yield of sunflower in the Lower Volga region // Agrarian scientific journal. 2018. № 2. P. 28–31 (in Russian).
11. Бельтюков Л.П., Ситало Г.М., Мажара В.М., Кувшинова Е.А., Донцов В.Г. Влияние биоудобрений и регуляторов роста на урожайность подсолнечника // Вестник аграрной науки Дона. 2017. Т. 1. № 37–1. С. 46–52.
12. Beltyukov L.P., Sitalo G.M., Mazhara V.M., Kuvshinova E.A., Dontsov V.G. Influence of biofertilizers and growth regulators on sunflower yield // Vestnik agrarnoj nauki Dona. 2017. Vol. 1. № 37–1. P. 46–52 (in Russian).
13. Деревягин С.С., Ярошенко Т.М., Стрижков Н.И. и др. Эффективность применения минеральных, микробиологических удобрений и удобрений на основе гуминовых кислот в качестве некорневой подкормки с целью повышения урожайности и качества продукции зерновых и масличных культур: практические рекомендации. Саратов, 2018. 14 с.
14. Derevyagin S.S., Yaroshenko T.M., Strizhkov N.I., etc. Efficiency of application of mineral and microbiological fertilizers and fertilizers based on humic acids as foliar nutrition with the aim of increasing the yield and quality of grains and oilseeds: practical guidelines. Saratov, 2018. 14 p. (in Russian).

УДК 631.81.095.337

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

<sup>1</sup>Жеруков Т.Б., <sup>1</sup>Кишев А.Ю., <sup>2</sup>Тутукова Д.А.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова»,  
Нальчик, e-mail: zherukovtimur@mail.ru;

<sup>2</sup>Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН,  
Нальчик, e-mail: djudi\_12@mail.ru

Плодородие является тем основным свойством почвы, которое определяет ее значимость в качестве основного средства аграрного производства. Применение микроудобрений и повышение плодородия, как потенциальная возможность почвы в части удовлетворения требований вегетирующих растений по необходимым им параметрам (питательным элементам, водным ресурсам, воздуху, ресурсам тепла и солнечной энергии и др.), представляется важнейшим направлением для нормального роста и развития агропроизводства. В настоящее время химические предприятия Российской Федерации поставляют на рынок весьма скудный перечень удобрений, в состав которых производитель включает в лучшем случае соединения таких элементов, как бор, медь, цинк, марганец. Однако и эти количества выпускаемых микроудобрений не способны обеспечить все возрастающие потребности. Использование микроудобрений с целью проведения предпосевных обработок семенного материала, различных некорневых подкормок, а также при выращивании растений в защищенном грунте, требует налаживания производства микроэлементов в форме растворимых солей, борной кислоты и комплексных водорастворимых микроудобрений. Исследованиями установлено, что внесение минеральных удобрений с микроэлементами в почву дает серьезные преимущества перед остальными способами применения микроудобрений. Определена оптимальная концентрация микроэлементов, добавляемых к минеральным удобрениям. При оптимальных дозах микроэлементов в сочетании с макроэлементами обеспечивался высокий агроэкологический эффект микроудобрений. Результаты проведенных опытов красноречиво говорят о следующем факте – на фоне применения органических и минеральных удобрений эффективность использования микроудобрений составляет 10–15 % и выше. Показано, что применение микроэлементов совместно с полным минеральным удобрением при внесении в почву имеет преимущество перед другими способами их использования. Применение микроудобрений однозначно положительным образом отражалось на урожайности возделываемых культур. Подтверждением этому служат цифровые данные, полученные в результате проведения полевых опытов с микроудобрениями.

**Ключевые слова:** почва, питание, свойства почвы, структура, режим почвы, микроэлементы, предпосевная обработка семян, некорневые подкормки

## FEATURES OF MICROELEMENTS' APPLICATION IN AGRICULTURAL PRODUCTION

<sup>1</sup>Zherukov T.B., <sup>1</sup>Kishev A.Yu., <sup>2</sup>Tutukova D.A.

<sup>1</sup>Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Nalchik,  
e-mail: zherukovtimur@mail.ru;

<sup>2</sup>Institute of Agriculture – the branch of Kabardino-Balkarian scientific center  
of Russian Academy of Science, Nalchik, e-mail: djudi\_12@mail.ru

Fertility is the main property of the soil, which is determined by its importance as the main means of agricultural production. Application of micronutrients and increase the fertility, as the potential of soil in terms of meeting the requirements of vegetating plants at the required parameters (nutrients, water, air, and heat resources of solar energy, etc.), seem to be the most important area for the normal growth and development of agricultural production. At present, the chemical enterprises of the Russian Federation supply the fertilizer market with a very scanty list of fertilizers, into which the manufacturer includes, at best, compounds of such elements as boron, copper, zinc, manganese. However, these quantities of produced micronutrients are not able to meet the increasing needs. The use of micronutrients for pre-sowing seed treatments, various foliar dressings, as well as for growing plants in protected soil, requires the establishment of the production of trace elements in the form of soluble salts, boric acid and complex water-soluble micronutrients. Studies have found that the application of mineral fertilizers with trace elements in the soil gives serious advantages over other methods of application of micronutrients. The optimal concentration of trace elements added to mineral fertilizers was determined. With optimal doses of micronutrients in combination with macronutrients were provided with high agro-ecological effect of micronutrients. The results of the experiments speak eloquently about the following fact against the background of the use of organic and mineral fertilizers, the efficiency of the use of microfertilizers is 10-15% and higher. It is shown that the use of trace elements together with complete mineral fertilizer when applied to the soil has an advantage over other methods of their use. Application of micronutrients is uniquely positively affected the yield of crops. This is confirmed by the digital data obtained as a result of field experiments with microfertilizers.

**Keywords:** soil, nutrition, soil properties, structure, soil regime, trace elements, pre-sowing seed treatment, foliar feeding

Нормальное развитие в процессе вегетации растений сельхозкультур невозможно без микроэлементов. Микроэлементы включены в обмен веществ, участвуют в слож-

нейших процессах синтеза и распада белков, жиров, углеводов, ферментов, витаминов и проч. Микроэлементы вовлечены во все процессы, происходящие в организме рас-

тений, среди которых и процесс фотосинтеза, транспорт ассимилированных веществ, фиксация азота атмосферы, восстановление нитратов. Таким образом, опосредованно через эти процессы оптимальное содержание микроэлементов в почве положительно влияет на урожайность, качественные показатели урожая, на развитие семян и их посевные качества и т.д. [1–3]. Сами растения при этом проявляют большую устойчивость к неблагоприятным условиям произрастания, атмосферной и почвенной засухе, пониженной и повышенной температуре, поражению различными вредителями и болезнями [3, 4].

Резко обострившемуся в последнее время вопросу, связанному с применением микроудобрений в сельскохозяйственном производстве, способствует целый ряд причин, среди них, по нашему мнению, наиболее важными являются следующие: в ряде регионов Российской Федерации почвы имеют небольшие запасы микроэлементов в доступной для растений форме; невосполнение запасов микроудобрений вместе с внесением удобрений, содержащих макроэлементы (N, P, K); высокий вынос вместе с накапливаемым растениями сухим веществом микроэлементов, особенно в тех случаях, когда в аграрном производстве применяются так называемые высокоинтенсивные сорта культур; применение концентрированных минеральных удобрений (безбалластных) и многие другие [5]. Общеизвестно, что как недостаток, так и избыточное количество микроэлементов в почвенном покрове вызывает ряд заболеваний у возделываемых культур. Научно определено свыше 30 микроэлементов, недостаток или отсутствие которых вызывает заболевания у растений.

Проводимый в последние годы мониторинг обеспеченности почв Российской Федерации микроэлементами ясно показывает потребность в них у большей части земельных угодий [5]. Единственным исключением в этом вопросе является обеспеченность бором – потребность в данном микроэлементе выявляется приблизительно у трети земельных угодий страны. Низкая обеспеченность же, к примеру, цинком, кобальтом и молибденом отмечается практически у 80% угодий страны. Повсеместно фиксируются нарушения и несоблюдения основных элементов ведения системы земледелия, правил ведения севооборотов, строящихся на их основе программ обработок почвы, применения удобрений, средств химической защиты растений,

орошения, семеноводства и резкое падение продуктивности и эффективности в целом земледелия [6].

Цель исследования: выявить особенности эффективного применения микроудобрений под основные сельскохозяйственные культуры. В соответствии с поставленной целью обозначались задачи исследований: выявить среднюю прибавку урожая основных сельскохозяйственных культур от применения микроудобрений; определить степень влияния способов внесения микроудобрений на урожайность культур; установить оптимальные концентрации микроэлементов, применяемых совместно с макроэлементами, обеспечивающие высокий положительный эффект от применения микроудобрений.

#### Материалы и методы исследования

Исследования проводились в 2016–2018 гг. в условиях учебно-производственного комплекса ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский ГАУ». Содержание гумуса в пахотном горизонте почвы составляло 3,4%; содержание легкогидролизуемого азота составляло 8,6 мг/100 г почвы. Значение емкости поглощения было на уровне 34,4 мг экв. на 100 г почвы, значение показателя реакции почвенного раствора – нейтральное ( $pH = 7,0$ ). Подвижный фосфор составлял 10,4 мг/100 г почвы (обеспеченность повышенная, по Чирикову), содержание обменного калия высокое, по Чирикову – до 13,5–13,7 мг/100 г почвы. Содержание азота определяли по Конфильду. Анализ механического состава почвы говорит о том, что она тяжелосуглинистая. Гумус определяли по методике И.В. Тюрина, показатели степени насыщенности основаниями, сумм поглощенных оснований, значение  $pH$  солевой вытяжки определялись согласно общепринятой методике по Петербургскому и Арикушкиной. Подвижные соединения кобальта определяли по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО, содержание меди и цинка определяли по методу Ринькиса, содержание в почве бора – по методу Бергера и Труога в модификации ЦИНАО, содержание в почве молибдена – по методу Григга в модификации ЦИНАО, содержание марганца – по методу ЦИНАО. Статистическую обработку полученных в результате опытов данных проводили по методу дисперсионного анализа Доспехова. Достоверность различий между средними арифметическими показателями определяли по НСР<sub>05</sub>.

В процессе проведения исследований были заложены два опыта.

Опыт № 1: Изучение отзывчивости сельскохозяйственных культур на применение различных микроэлементов. Фактор А – с/х культуры: пшеница, ячмень (на зерно); кукуруза (на зерно); кукуруза (на зеленую массу); картофель; сахарная свекла; лен (на солому); горох (на зерно); многолетние травы (на зеленую массу); клевер (на семена). Фактор Б – микроэлементы, содержащиеся в применяемых удобрениях: бор, молибден, цинк, медь, кобальт, марганец.

Опыт № 2: Изучение влияния способов внесения микроудобрений на урожайность культур. Фактор А – с/х культуры: ячмень (на зерно); кукуруза (на зеленую массу); кормовая свекла (на корнеплоды); тимopheвка луговая (на сено). Фактор Б – микроэлементы, содержащиеся в применяемых удобрениях: бор, молибден, цинк, медь, кобальт, марганец. Фактор В – способы внесения микроудобрений: в почву, при предпосевной обработке семян, при внекорневой подкормке.

Количество применяемых удобрений определяли в основном по результатам полевых исследований почвы, с применением балансового метода расчета.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

К сожалению, приходится констатировать тот факт, что к нынешнему моменту времени в условиях Кабардино-Балкарской Республики исходя из вышеперечисленных фактов ведение севооборотов, за исключением нескольких, которые сохранились в крупных хозяйствах, отсутствует. Отсутствие ведения севооборотов приводит к печальным последствиям и среди прочего приводит не только к невозможности применения интенсивных технологий, но и к упрощению системы земледелия до недопустимого уровня. Повсеместно агротехника упрощается до вспашки плугами без предплужников (вызывая переуплотнение почвы), боронования в один след, игнорирования боронования и лущения стерни, осенней вспашки, внесения органических удобрений и проч.

Негативные изменения за последние десятилетия произошли и в вопросе применения минеральных и органических удобрений. Отметим, что за указанный период времени эти изменения носили негативный характер не только в количественном смысле, но и в качественном. Вы-

ражаясь языком цифр, в целом минеральных удобрений (пересчитывая на 100% питательных веществ) в 2017 г. внесли порядка 25000 т. Это меньше более чем на 90% удобрений, вносимых в 2010 г. Очевидно, что такое количество применяемых минеральных удобрений явно недостаточно для нормального развития и роста растений, формирования высоких урожаев качественной сельхозпродукции.

Отметим, что применение на подобных почвах микроудобрений однозначно положительным образом отразится на урожайности возделываемых культур [6]. Подтверждением этому служат цифровые данные, полученные нами в результате проведения полевых опытов с микроудобрениями, и данные, предоставленные агрохимической службой, приведенные в табл. 1.

Результаты опытов ясно говорят нам о том, что на фоне применения органических и минеральных удобрений эффективность использования микроудобрений составляет 5–12% и выше. Значения прибавок урожайности к контролю колебались в широкой амплитуде в зависимости от рассматриваемой культуры (0,05–5,07 т/га). Полученные данные свидетельствуют и о том, что прибавка к урожайности определялась также видом применяемого микроэлемента в удобрении.

В мировой земледельческой практике за последнюю четверть века использование микроудобрений получило повсеместное распространение. Однако в нашей стране сельхозпроизводителю рынок химической промышленности может предложить крайне скудный набор микроудобрений, ограничивающийся включенными в состав бором, медью, цинком и марганцем. При этом объемы выпуска и этой группы удобрений не могут удовлетворить все возрастающий спрос на них.

Имеющиеся в распоряжении элементарные расчеты говорят о потребности на внутреннем рынке РФ на данный момент времени не менее чем в 100 тыс. т микроудобрений (в пересчете на элементы). При этом необходимо учитывать специфику использования данной группы удобрений, заключающуюся в том, что применение микроудобрений может быть проведено и во время основной обработки почвы, и при посеве культуры, и вместе с предпосевной обработкой посевного и посадочного материала, и уже как подкормка по вегетирующим растениям [2].

**Таблица 1**

Результат использования микроудобрений под основные сельскохозяйственные культуры

Посевы:	Средняя урожайность (контроль, без удобрений), т/га	Среднее значение прибавок урожая от применения микроудобрений, т/га						НСР <sub>0,5</sub>		
		B	Mo	Zn	Cu	Co	Mn	Фактор А	Фактор В	Взаим. факторов АВ
Ячменя (на зерно)	3,3	0,14	0,21	0,25	0,37	0,27	0,19	1,73	1,74	3,01
Кукурузы (на зерно)	7,3	–	0,13	0,52	–	–	0,28	1,73	1,74	3,01
Кукурузы (на зеленую массу)	37,5	5,07	4,92	4,38	5,01	4,00	3,85	20,0	20,0	34,6
Картофеля	23,0	2,01	2,02	2,38	1,27	1,79	2,77	20,0	20,0	34,6
Сахарной свеклы	32,5	3,21	2,27	3,28	1,39	2,96	2,76	20,0	20,0	34,6
Гороха (на зерно)	4,2	0,28	0,27	0,30	0,30	0,27	–	1,73	1,74	3,01
Многолетних трав (на зеленую массу)	28,5	2,54	4,60	1,79	3,20	3,39	2,20	14,3	14,4	24,9
Клевера (на семена)	0,45	0,05	0,05	–	0,04	–	–	0,17	0,25	0,35

**Таблица 2**

Влияние способов внесения микроудобрений на продуктивность культур

Посевы:	Средняя урожайность (контроль, без удобрений), т/га	Используемые микроэлементы	Значение прибавок урожайности, т/га			НСР <sub>0,5</sub>		
			Внесено в почву	При предпосевной обработке семян	При внекорневой подкормке	Фактор А	Фактор В	Взаим. факторов АВ
Ячменя (на зерно)	3,3	Cu	0,30	0,22	0,16	1,42	2,17	3,76
		Zn	0,41	0,28	0,18	1,42	2,17	3,76
		Co	0,12	0,09	0,02	1,42	2,17	3,76
Кукурузы (на зеленую массу)	37,5	Mn	3,49	2,30	1,37	6,65	8,8	17,6
		Mo	3,50	2,28	1,61	6,65	8,8	17,6
		Zn	4,50	2,66	1,70	6,65	8,8	17,6
Сахарной свеклы	32,5	Mn	4,69	4,05	3,35	6,65	8,8	17,6
		B	5,86	3,48	2,74	6,65	8,8	17,6
		Zn	5,64	4,95	3,40	6,65	8,8	17,6
Многолетних трав (на зеленую массу)	28,5	Co	0,40	0,33	0,23	8,17	1,25	1,35
		Mo	0,39	0,32	0,22	8,17	1,25	1,35
		Cu	0,64	0,46	0,33	8,17	1,25	1,35

При этом внесение азотно-фосфорно-калийных, а также сложных минеральных удобрений с добавлением микроэлементов нужно использовать в качестве основного способа применения микроудобрений [5]. Отметим, что подобные удобрения не вызовут сильного удорожания производства удобрений, так как для производства добавок, содержащих микроэлементы, можно использовать различные отходы промышленности. Такие удобрения технологичны

в применении, создают условия для полноценного и равномерного питания растений.

Табл. 2 раскрывает влияние различных способов внесения микроудобрений на прибавку урожайности некоторых культур в опыте.

Табличные данные явно говорят о том, что способ внесения микроудобрений оказывает влияние на формирующуюся прибавку урожая. По всем культурам в наших опытах максимальная прибавка урожайности

сти регистрировалась по варианту с внесением микроудобрений в почву. При этом вариант с внекорневыми подкормками микроудобрениями однозначно показал меньший эффект, выразившийся самыми низкими прибавками урожайности.

Использование микроудобрений с целью проведения предпосевных обработок семенного материала, различных внекорневых подкормок, а также при выращивании растений в защищенном грунте, требует налаживания производства микроэлементов в форме растворимых солей, борной кислоты и комплексных водорастворимых микроудобрений.

Кроме того, на данном этапе развития современного сельского хозяйства с целью решения проблемы, связанной с дефицитом микроудобрений, важнейшее значение приобретает налаживание выпуска микроудобрений, основывающегося на переработке отходов промышленности. Одним из примеров подобного решения вопроса может служить использование новой формы микроудобрений МиБАС [1]. Это микроудобрение находит широкое применение в сельхозпроизводстве, обеспечивая прибавку к урожаю зерновых до 0,25–0,35 т/га и выше.

### Выводы

Таким образом, на основании проводящихся в условиях Кабардино-Балкарского ГАУ исследований по оценке эффективности применения ряда микроудобрений, среди которых так называемые удобрения длительного действия (УДД), содержащие микроэлементы, можно сделать следующие выводы. Все исследования по эффективности применения препаратов, содержащих микроэлементы, в сельскохозийственном производстве являются перспективными. Применение микроудобрений в условиях наблюдающегося оскуднения почв обеспечивает рост урожайности всех испытываемых культур. Значения прибавок к урожайности колебались в широкой амплитуде в зависимости от рассматриваемой культуры и вида применяемого микроэлемента в удобрении (0,05–5,07 т/га). Лучше всего на применение микроэлементов отреагировали такие культуры, как ячмень, кукуруза, картофель и многолетние травы. Внесение микроудобрений в почву (при рассмотре-

нии различных способов их применения) в наших опытах отражалось максимальной прибавкой урожайности.

Также проводятся исследования по возможности расширения ассортимента используемых микроудобрений путем включения в состав таких нетрадиционных микроэлементов, как йод, селен, хром и другие. Подобное решение вопроса состава микроудобрений дает возможность решения важной агроэкологической проблемы наших дней – производства сельскохозяйственных продуктов и кормов, являющихся сбалансированными по своему элементному составу.

### Список литературы / References

1. Ханиева И.М., Шибзухов З.С., Кишев А.Ю., Гажева Р.А., Жеруков Т.Б. Изменения показателей качества зерна яровой пшеницы в зависимости от применения макроудобрений // Международные научные исследования. 2017. № 3 (32). С. 316–319.
2. Ханиева И.М., Шибзухов З.С., Кишев А.Ю., Гажева Р.А., Жеруков Т.Б. Changes in the quality indicators of spring wheat grain depending on the use of macro-fertilizers // International Scientific Research. 2017. № 3 (32). P. 316–319 (in Russian).
3. Ханиева И.М., Кишев А.Ю., Жеруков Т.Б., Мамаев К.Б. Способы и приемы повышения почвенного плодородия // Уральский научный вестник. 2017. Т. 10. № 3. С. 042–044.
4. Ханиева И.М., Кишев А.Ю., Жеруков Т.Б., Мамаев К.Б. Methods and techniques for increasing soil fertility // Ural scientific bulletin. 2017. Vol. 10. № 3. P. 042–044 (in Russian).
5. Ханиева И.М., Бозиев А.Л. Влияние микроэлементов и инокуляции семян на продуктивность посевов гороха // Зерновое хозяйство. 2005. № 8. С. 21–22.
6. Ханиева И.М., Босиев А.Л. Influence of microelements and inoculation of seeds on the productivity of pea crops // Zernovoe khozyajstvo. 2005. № 8. P. 21–22 (in Russian).
7. Ханиева И.М., Карданова М.М., Назаров А.М., Адамоков Р.М. Выращивание льна масличного в Кабардино-Балкарской Республике // В сборнике: Trends of modern science – 2014 Materials of XI International scientific and practical conference. Editor Michael Wilson. 2014. С. 82–85.
8. Ханиева И.М., Карданова М.М., Назаров А.М., Адамоков Р.М. Cultivation of oil flax in Kabardino-Balkar Republic // In compilation: Trends of modern science – 2014 Materials of XI International scientific and practical conference. Editor Michael Wilson. 2014. P. 82–85 (in Russian).
9. Ханиева И.М., Бозиев А.Л. Эффективность микро- и макроудобрений при выращивании гороха // Агрохимический вестник. 2005. № 5. С. 022–023.
10. Ханиева И.М., Босиев А.Л. Efficiency of micro- and macrofertilizers at cultivation of peas // Agroximicheskij vestnik. 2005. № 5. С. 022–023 (in Russian).
11. Гайсин И.А., Сагитова Р.Н., Хабибуллин Р.Р. Микроудобрения в современном земледелии // Агрохимический вестник. 2010. № 4. С. 13–15.
12. Gaisin I.A., Sagitova R.N., Habibullin R.R. Microfertilizers at modern agriculture // Agroximicheskij vestnik. 2010. № 4. P. 13–15 (in Russian).

УДК 630\*232:630\*161:633.877.3(470.4)

## ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ МИКОРИЗЫ НА ПРИЖИВАЕМОСТЬ И БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В СУХОЙ СТЕПИ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Иозус А.П., Завьялов А.А., Бойко С.Ю.

Камышинский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: ttp@kti.ru

Для успешного роста и развития сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.), как на стадии выращивания сеянцев, так и в состоянии взрослого насаждения, необходимо успешное симбиотическое взаимодействие с микоризными грибами. Изучалась микотрофность растений и их воздействие на основные физиологические характеристики. При выращивании сеянцев сосны в степных лесопитомниках на щелочных почвах к концу первого года вегетации значительное число сеянцев не имеет на корнях микориз. Эти сеянцы отличаются слабым ростом и специфической (бледной) окраской хвои. На второй год часть из них формирует микоризу, но большинство так и остаются немикоризованными: они слабо растут и часто погибают. По нашим наблюдениям, это вызвано трудностью процесса естественного микоризообразования из-за неблагоприятной реакции среды и отсутствия или недостаточного развития грибницы в почве. В то же время при создании сосновых культур в степных районах Волгоградской области очень часто наблюдаются их низкая приживаемость и порою гибель уже заложённых культур в первый год после посадки. Исследованиями установлено, что приживаемость микоризных сеянцев сосны на лесокультурной площади в условиях Волгоградской области в год посадки в 8–10 раз выше, чем у немикоризных; вдвое выше у микоризных сеянцев и прирост в высоту. Биохимический состав микоризных сеянцев отличается повышенным содержанием азота и фосфора. Это наблюдается как у однолетних, так и у двухлетних сеянцев. Содержание хлорофилла в хвое микоризных сеянцев значительно выше, чем в хвое немикоризных. В степной зоне очень важно качество сеянцев высокомикотрофных пород оценивать степень микоризации их корневых систем, что в дальнейшем окажет положительное влияние на приживаемость, рост и развитие деревьев в насаждениях.

**Ключевые слова:** микориза, сосна обыкновенная, сеянцы, хвоя, корневые системы, симбиоз

## PECULIARITIES OF MYCORRYSIS IMPACT ON THE SURVIVAL AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF SEEDLINGS OF SCOTS PINE IN DRY STEPPE OF THE LOWER VOLGA REGION

Iozus A.P., Zavyalov A.A., Boyko S.Yu.

Kamyshin Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Kamyshin, e-mail: ttp@kti.ru

Successful growth and development of Scots pine (*Pinus silvestris* L.), both at the stage of growing seedlings and in the state of adult planting, requires successful symbiotic interaction with mycorrhizal fungi. We studied the mycotrophy of plants and their effects on basic physiological characteristics. In the cultivation of pine seedlings in the forest nurseries of the steppe in alkaline soil by the end of the first year of vegetation, a considerable number of seedlings do not have mycorrhiza on the roots. These seedlings are characterized by weak growth and specific (pale) color of needles. In the second year, some of them form mycorrhiza, but the majority still remain un-mycorized: they grow poorly and often die. According to our observations, this is caused by the difficulty of the process of natural mycorrhizal formation due to the adverse reaction of the environment and the absence or insufficient development of mycelium in the soil. At the same time, when creating pine crops in the steppe regions of the Volgograd region, their low survival and sometimes the death of already planted crops in the first year after planting are very often observed. Studies have found that the survival rate of mycorrhizal pine seedlings on the forest area in the Volgograd region in the year of planting is 8-10 times higher than that of non-mycorrhizal; twice higher in mycorrhizal seedlings and increase in height. The biochemical composition of mycorrhizal seedlings is characterized by a high content of nitrogen and phosphorus. This is observed in both annuals and biennial seedlings. The chlorophyll content in the needles of mycorrhiza seedlings is significantly higher than in the needles of non-mycorrhiza. In the steppe zone, it is very important to assess the quality of seedlings of high-mycotrophic rocks the degree of mycorization of their root systems, which in the future will have a positive impact on the survival, growth and development of trees in plantations.

**Keywords:** mycorrhiza, Scotch pine, seedlings, needles, root systems, symbiosis

В проекте доклада Минприроды России о состоянии и охране окружающей среды в 2017 г. предлагается бороться с учащением климатических аномалий и прочими катаклизмами, созданием барьера в виде зеленых насаждений, которые не только депонируют углекислый газ из атмосферы, но и значительно смягчают климатические катаклизмы.

Одной из основных пород защитного лесоразведения на юго-востоке европейской территории России является сосна обыкновенная (*Pinus silvestris* L.). В 2019 г. в Волгоградской области сосна составит до 40% вновь создаваемых защитных насаждений разного типа. Поэтому актуальным является повышение устойчивости, долговечности и произво-

длительности вида, особенно на первом этапе создания насаждений до пяти-шести лет, возраста смыкания в ряду. В настоящее время у лесохозяйственных организаций нет возможности обеспечить не только ручной, но и механизированный уход в первые годы после посадки. Значительно повысить устойчивость и приживаемость позволит применение при посадке микоризных сеянцев.

Сосна обыкновенная относится к высокомикотрофным видам, для успешного роста и жизнедеятельности которых необходимо симбиотическое взаимодействие с грибом [1, 2], также отмечается зависимость между ростом, развитием высокомикотрофных растений и их микоризностью [2]. Следовательно, становится актуальным исследование микотрофности древесных растений как средства усиления их устойчивости к неблагоприятным факторам.

Как правило, на лесных почвах формирование симбиоза происходит уже при выращивании сеянцев сосны в лесных питомниках за счет имеющихся в почве грибов-микоризообразователей [3, 4].

При выращивании сеянцев сосны в степных лесопитомниках на щелочных почвах к концу первого года вегетации значительное число сеянцев не имеет на корнях микориз. Эти сеянцы отличаются слабым ростом и специфической (бледной) окраской хвои. На второй год часть из них формирует микоризу, но большинство так и остаются немикоризованными: они слабо растут и часто погибают. По нашим наблюдениям, это вызвано трудностью процесса естественного микоризообразования из-за неблагоприятной реакции среды и отсутствия или недостаточного развития грибов в почве. В то же время при создании сосновых культур в степных районах Волгоградской области очень часто наблюдаются их низкая приживаемость и порою гибель заложенных культур уже в первый год после посадки.

Цель исследования: изучить влияние микоризы на корнях сосновых сеянцев на их приживаемость и рост после высадки на лесокультурную площадь; определить содержание азота, фосфора, калия, хлорофилла в микоризных и немикоризных сеянцах. Выяснить влияние микоризы на приживаемость, так как лесокультурные площади в сухостепной зоне обычно представляют собой песчаные степные эродированные участки, в почве которых грибница мико-

ризообразующих грибов если и имеется, то развита очень слабо.

#### **Материалы и методы исследования**

Опыт был поставлен в СГБУ ВО «Камышинское лесничество» Волгоградской области в 2015–2017 гг.

Для определения приживаемости на одном и том же участке высаживались под лесопосадочную машину МЛУ-1 двухлетние сеянцы сосны с хорошо развитой микоризой и немикоризные. При отборе сеянцев их микоризность учитывалась по методике И.А. Селиванова [2]. Посадка проводилась 12 апреля 2016 г. Сохранность учитывалась сплошным подсчетом прижившихся сеянцев дважды (12/VI и 12/IX). Во второй срок, кроме того, замеряли прирост по высоте у сохранившихся сеянцев.

Для определения биохимического состава использовались однолетние и двухлетние сеянцы, выращенные на опытном участке питомника СГБУ ВО «Камышинское лесничество».

Для анализа однолетних сеянцев использовалась целиком корневая система и хвоя каждого растения. Содержание элементов определялось отдельно в корнях и хвое. При анализе двухлетних сеянцев брались навески хвои и корней. Повторность всех анализов пятикратная. Азот общий определялся по Кьельдалю, фосфор общий – колориметрическим методом с применением растворов молибденовокислого аммония и эйконогена, калий – кобальт-нитритным методом, сахара – по методу Бертрана (микрометод), хлорофилл – микроколориметрированием по Годневу [5]. Типы и подтипы микориз определялись по классификации Селиванова [2].

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Все изученные нами микоризы сосны относятся к эумицетным хальмогазовым эктомикоризам. У исследуемых видов зафиксированы микоризы с плектенхиматическими, псевдопаренхиматическими, двойными и бесструктурными чехлами.

Искусственная микоризация осуществлялась спорами и мицелием. Мицелий заготавливался в старовозрастных сосновых насаждениях. Преимущество первого способа заключается в возможности внесения препарата в поливную систему, второго способа – в длительном сроке хранения приготовленного субстрата [4].

Данные по приживаемости микоризных и немикоризных сеянцев представлены в табл. 1.

Таблица 1

Приживаемость и прирост микоризных и немикоризных сеянцев сосны

	Высажено, шт	Сохранилось на 12/VI-16 г.		Сохранность к концу года		Прирост по высоте, см		
		шт.	%	шт.	%	x	S	V
Микоризные	1000	918	91,8	526	52,6	7,1	0,48	6,76
Немикоризные	350	147	42	18	5,1	3,5	0,34	9,71

Примечание. Где x – масса, г; S – среднеквадратическое отклонение, г; V – коэффициент вариации, %.

Как видно из таблицы, приживаемость сеянцев, имевших на корнях хорошо развитую микоризу, несравненно выше приживаемости немикоризных сеянцев. Прирост по высоте уцелевших сеянцев без микоризы уступает микоризным в два раза.

Результаты этого опыта достаточно убедительно свидетельствуют о том, что сеянцы, не сформировавшие микориз в период произрастания на лесопитомнике, не могут выжить на лесокультурной площади: они в первый же год практически полностью погибают. Поэтому если посадочный материал имеет значительный процент немикоризных сеянцев, то наблюдается очень низкая приживаемость лесных культур. Конечно, наличие микоризы еще не гарантирует полной сохранности: как видно из таблицы, даже отобранные микоризные сеянцы прижились лишь на 52,6%. В связи с переходом к рынку под лесовыращивание в Волгоградской области отводят малопродуктивные, щебенистые, эродированные земли, сюда же добавляются обычные здесь засухи и суховеи. Но микоризные сеянцы все же противостоят неблагоприятным условиям значительно лучше немикоризных: в нашем опыте их сохранность была в несколько раз выше. Кроме того, наблюдается, что отпад немикоризных сеянцев начинается уже в первые месяцы после посадки даже до наступления засушливого периода – через два месяца после их высадки на участок сохранность оказалась лишь 42%.

Все вышесказанное, естественно, влечет за собой вопрос: имеют ли микоризные и немикоризные сеянцы сосны глубокие различия по своему биохимическому составу [6, 7].

Результаты биохимических исследований представлены нами в табл. 2–5.

В табл. 2 даются результаты анализов на содержание в корнях однолетних сеянцев азота, фосфора и калия.

В табл. 3 даются результаты анализов на содержание в хвое однолетних сеянцев азота, фосфора и калия.

Из таблицы видно, что у микоризных однолетних сеянцев содержание всех трех

элементов выше, чем у немикоризных. Особенно большая разница отмечена в содержании фосфора в корнях: у микоризных сеянцев его процентное содержание почти вдвое выше, чем у немикоризных.

Также больше у микоризных сеянцев содержание азота, особенно в корнях (содержание его в хвое увеличивается незначительно). Увеличение содержания калия также незначительно.

Результаты анализов были получены и для двухлетних сеянцев сосны (табл. 4 и 5).

Результаты анализов двухлетних сеянцев такие же, но есть и некоторые различия. Так, менее резко выражена разница в содержании фосфора в микоризных и немикоризных сеянцах, а разница в содержании калия вообще находится в пределах возможной ошибки опыта.

Интересным с точки зрения биохимической характеристики сеянцев является вопрос о содержании хлорофилла в хвое, так как это самым непосредственным образом влияет на накопление сеянцами органического вещества и на их состояние. Как показали результаты исследований, содержание хлорофилла в хвое микоризных сеянцев много выше, чем у немикоризных, причем на второй год эта разница не только не сглаживается, но даже увеличивается (табл. 6).

Тот факт, что степень микоризности сеянцев оказывает влияние на их приживаемость, рост и биохимический состав, всегда необходимо учитывать при выращивании посадочного материала высокомикотрофных пород. В тех случаях, когда на лесном питомнике естественное микоризообразование по каким-либо причинам затруднено, следует применить все возможные способы по стимулированию микоризообразования или внести дополнительную «порцию» микоризообразующих грибов с лесной почвой. Особенно важна посадка сеянцев с хорошо развитой микоризой в степных условиях, где в почвах почти полностью отсутствуют грибы-микоризообразователи.

Таблица 2

Результаты анализов на содержание в корнях однолетних сеянцев азота, фосфора и калия

Определяемый элемент	Однолетние сеянцы	Масса во влажном состоянии, г			Масса абсолютно сухая, г			Количество элемента, мг			Элемент в% к сухой массе
		x	S	V	x	S	V	x	S	V	
Азот	Микоризные	0,43	0,031	7,21	0,23	0,016	6,96	3,62	0,28	7,73	1,56
	Немикоризные	0,14	0,018	12,8	0,06	0,006	10,00	0,66	0,069	10,45	1,09
Фосфор	Микоризные	0,42	0,027	6,42	0,23	0,017	7,39	0,46	0,031	6,74	0,20
	Немикоризные	0,14	0,015	10,71	0,07	0,006	8,57	0,07	0,008	11,43	0,11
Калий	Микоризные	0,42	0,022	5,23	0,24	0,018	7,50	1,61	0,087	5,40	0,70
	Немикоризные	0,14	0,013	9,29	0,06	0,006	10,00	0,38	0,036	9,47	0,60

Таблица 3

Результаты анализов на содержание в хвое однолетних сеянцев азота, фосфора и калия

Определяемый элемент	Однолетние сеянцы	Масса во влажном состоянии, г			Масса абсолютно сухая, г			Количество элемента, мг			Элемент в% к сухой массе
		x	S	V	x	S	V	x	S	V	
Азот	Микоризные	1,28	0,108	8,44	0,51	0,037	7,25	5,97	0,313	5,24	1,03
	Немикоризные	0,30	0,027	9,0	0,12	0,010	8,32	1,08	0,083	7,69	0,90
Фосфор	Микоризные	1,26	0,099	7,86	0,50	0,032	6,40	0,93	0,076	8,17	0,13
	Немикоризные	0,29	0,025	8,62	0,14	0,013	9,29	0,13	0,012	9,23	0,11
Калий	Микоризные	1,27	0,096	7,56	0,52	0,035	6,73	3,77	0,206	5,46	0,71
	Немикоризные	0,31	0,030	9,67	0,13	0,010	7,69	0,83	0,072	8,67	0,6

Таблица 4

Результаты анализов на содержание в корнях двухлетних сеянцев сосны азота, фосфора и калия

Определяемый элемент	Однолетние сеянцы	Масса во влажном состоянии, г			Масса абсолютно сухая, г			Количество элемента, мг			Элемент в% к сухой массе
		x	S	V	x	S	V	x	S	V	
Азот	Микоризные	5,00	0,312	6,24	2,55	0,189	7,41	56,64	4,79	8,46	2,22
	Немикоризные	5,00	0,291	5,82	2,30	0,196	8,52	39,10	2,87	7,34	1,70
Фосфор	Микоризные	5,00	0,361	7,22	2,63	0,217	8,25	7,74	0,48	6,20	0,29
	Немикоризные	5,00	0,327	6,54	2,33	0,219	9,40	4,96	0,372	7,50	0,21
Калий	Микоризные	5,00	0,294	5,88	2,62	0,220	8,40	26,82	1,42	5,29	1,02
	Немикоризные	5,00	0,321	6,42	2,36	0,215	9,11	22,76	1,57	6,89	0,96

Таблица 5

Результаты анализов на содержание в хвое двухлетних сеянцев сосны азота, фосфора и калия

Определяемый элемент	Однолетние сеянцы	Масса во влажном состоянии, г			Масса абсолютно сухая, г			Количество элемента, мг			Элемент в% к сухой массе
		x	S	V	x	S	V	x	S	V	
Азот	Микоризные	9,71	0,662	6,82	4,00	0,261	6,52	68,94	5,825	8,45	1,72
	Немикоризные	3,20	0,264	8,26	1,36	0,098	7,22	18,66	1,099	5,89	1,37
Фосфор	Микоризные	9,86	0,650	6,59	4,07	0,277	6,81	11,44	0,734	6,42	0,28
	Немикоризные	3,23	0,235	7,27	1,35	0,100	7,45	3,04	0,250	8,22	0,23
Калий	Микоризные	9,87	0,616	6,24	4,04	0,273	6,77	43,33	3,406	7,86	1,07
	Немикоризные	3,31	0,249	7,52	1,36	0,104	7,65	13,76	0,947	6,88	1,02

Таблица 6

Содержание хлорофилла в хвое микоризных и немикоризных семян сосны

Показатель	Однолетние семена			Двухлетние семена		
	x	S	V	x	S	V
Сухая масса хвои, г						
микоризные	0,84	0,071	8,45	0,91	0,070	7,68
немикоризные	0,75	0,076	10,1	0,82	0,076	9,27
Содержание хлорофилла, мг						
микоризные	4,23	0,332	7,85	6,98	0,584	8,36
немикоризные	2,72	0,309	11,2	2,70	0,286	10,59
Хлорофил в мг/г сух. в-ва						
микоризные	5,10	0,421	8,25	7,67	0,555	7,24
немикоризные	3,64	0,396	10,88	3,29	0,324	9,85

Большое значение имеет экономическая составляющая микоризации семян. По данным Е.А. Герониной [4], при проведении искусственной микоризации первоначальные затраты превышают базовые всего на 6–9%. При применении препаратов «Супер Корень» (Россия) и «Great White» (Plant Succes, США), а также препарата на основе мицелия «Микоризный» (ООО «Микобакс», Россия) затраты повышаются на 12–14%.

### Выводы

1. Микориза семян сосны обыкновенной оказывает большое влияние на их приживаемость, рост и биохимический состав. Все изученные нами микоризы сосны относятся к эумицетным хальмофаговым эктомикоризам. У исследуемых видов зафиксированы микоризы с плектенхиматическими, псевдопаренхиматическими, двойными и бесструктурными чехлами.

2. Приживаемость микоризных семян на лесокультурной площади в условиях Волгоградской области в год посадки в 8–10 раз выше, чем у немикоризных; вдвое выше у микоризных семян и прирост в высоту.

3. Биохимический состав микоризных семян отличается повышенным содержанием азота и фосфора. Это наблюдается как у однолетних, так и у двухлетних семян. Содержание хлорофилла в хвое микоризных семян значительно выше, чем в хвое немикоризных.

4. Полученные результаты позволяют рекомендовать микоризацию семян сосны в большинстве лесных питомников Волгоградской области с песчаными, бедными и эродированными почвами. Невысокие базовые затраты позволяют значительно повысить приживаемость, сохранность и рост созданных из этих семян насаждений. Пока эта работа системно не проводится.

### Список литературы / References

1. Адамович И.Ю. Соотношение основных подтипов микориз семян и родительских особей ели европейской, сосны обыкновенной и дуба черешчатого в условиях различного уровня радиоактивного загрязнения // Новые технологии. 2017. № 1. С. 98–104.

Adamovich I.Yu. Correlation of the Main Subtypes of Plantlets Mycorrhiza and Parental Species of European Fir-Tree, Scotch Pine and English Oak in the Conditions of Various Level of Radioactive Pollution // New technologies. 2017. № 1. P. 98–104 (in Russian).

2. Селиванов И.А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. М.: Наука, 1981. 232 с.

Selivanov I.A. Mycosymbiotrophism as a form of consortium connections in the vegetative cover of the Soviet Union. M.: Nauka, 1981. 232 p. (in Russian).

3. Бурцев Д.С. Зарубежный опыт искусственной микоризации семян лесных древесных пород с закрытой корневой системой // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. 2014. Вып. 1. С. 47–61.

Burtsev D.S. Foreign experience of artificial minoritaii seedlings of forest tree species with the closed root system // Proceedings of Saint-Petersburg forestry research Institute. 2014. Issue. 1. P. 47–61 (in Russian).

4. Геронина Е.А. Перспективы использования искусственной микоризации при выращивании семян с закрытой корневой системой // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2014. Выпуск 4. С. 49–58.

Geronina E.A. Prospects of use of synthetic minoritaii when growing seedlings in closed root system // Proceedings of Saint-Petersburg scientific research Institute of forestry households Islands. 2014. Issue 4. P. 49–58 (in Russian).

5. Крамер П.Д., Козловский Т.Т. Физиология древесных растений. М.: Лесная промышленность, 1983. 464 с.

Kramer P.J., Kozlowski T.T. Physiology of woody plants. M.: Lesnaya promyshlennost', 1983. 464 p. (in Russian).

6. Барышников Г.Я., Копытков В.В. Выращивание семян хвойных пород с высокой степенью микоризности корней // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 5 (127). С. 76–80.

Baryshnikov G.Ya., Kopytkov V.V. Cultivation of coniferous seedlings with a high degree of mycorrhizal roots // Bulletin of the Altai state agrarian University. 2015. № 5 (127). P. 76–80 (in Russian).

7. Зайцев Г.А., Мухаметова Г.М., Веселкин Д.В. Особенности формирования микоризы сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 6. С. 137–139.

Zaitsev G.A., Mukhametova G.M., Veselkin D.V. Features of formation of ordinary pine mycorrhiza in conditions of industrial pollution // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2009. № 6. P. 137–139 (in Russian).

УДК 630\*182:633.877.3

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ДЕРЕВЬЯМИ СОСНЫ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НИШИ И ЗАКОН ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ

Рогозин М.В.

Пермский государственный аграрно-технологический университет  
имени академика Д.Н. Прянишникова, Пермь, e-mail: rog-mikhail@yandex.ru

В 184-летнем насаждении сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на площади 2,2 га изучена структура яруса сосны с измерением диаметров 735 деревьев, которые нанесли на план с точностью  $\pm 10\text{--}35$  см и оцифровывали в программе ArcMap. У дерева измеряли окружность ствола и рассчитывали диаметр с округлением  $\pm 0,1$  см. Высота определена по 149, а возраст по кернам от 21 дерева. Таксационные показатели: высота 32,8 м, полнота 0,93, запас древесины 635 м<sup>3</sup>/га. Пространственный анализ включал градуировку взаимодействия деревьев по расстояниям между ними. Использовали  $\frac{1}{2}$  от «среднего» расстояния 5,47 м (2,7 м) и деревья-соседи с таким и меньшим расстоянием относили к биогруппам; «среднее» расстояние рассчитывали по площади питания одного дерева, равной 29,9 м<sup>2</sup>. Далее в парах деревьев-соседей относили диаметр большего дерева к меньшему ( $D_{\max}/D_{\min}$ ). Оказалось, что если рассматривать деревья в концепции экологической ниши и считать их организмами, то полученные средние отношения  $D_{\max}/D_{\min}$  совпадают с «постоянной Хатчинсона», равной 1,3. Если же взять отношение квадратов диаметров ( $D_{\max}^2/D_{\min}^2$ ), то оно статистически совпадает с золотым сечением, равным 1,618; в случайных парах оно было достоверно больше. Кроме того известно, что правые и левые формы по филлотаксису хвои также стремятся к золотому сечению, выраженному в долях целого (0,618:0,382). Это обеспечивает популяции устойчивость при изменении условий среды в пользу правых или левых форм, имеющих противоположные адаптивные предпочтения. Обнаружение таких биологических констант указывает на гомеостаз и гармонию внутри лесного насаждения. Они могут служить объективным критерием для оценки правильности выращивания искусственных и естественных лесов.

**Ключевые слова:** лесные насаждения, структура, экологические ниши, биологические константы

## SPATIAL INTERACTION OF TREES, ECOLOGICAL NICHES AND THE LAW OF THE GOLDEN SECTION

Rogozin M.V.

Perm State Agrarian and Technological University named after academician D.N. Pryanishnikov, Perm,  
e-mail: rog-mikhail@yandex.ru

In the 184-year-old plantation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on the area of 2.2 ha, the structure of the pine tier was studied with the measurement of the diameters of 735 trees, which were plotted with an accuracy of  $\pm 10\text{--}35$  cm and digitized in the ArcMap program. The tree measured the circumference of the barrel and the diameter was calculated with rounding to  $\pm 0.1$  cm determined for 149, and the age for cores from 21 trees. Taxation indicators: height 32.8 m, completeness 0.93, wood stock 635 m<sup>3</sup>/ha. Spatial analysis included grading the interaction of trees by the distances between them.  $\frac{1}{2}$  Of the «average» distance of 5.47 m (2.7 m) was used, and neighboring trees with such and smaller distance were assigned to biogroups; the «average» distance was calculated from the area of 1 tree feeding equal to 29.9 m<sup>2</sup>. Further, in pairs of neighboring trees, the diameter of a large tree was attributed to a smaller one ( $L_{\max}/L_{\min}$ ). It turned out that if we consider the trees in the concept of ecological niche and consider them as organisms, the obtained average ratios of  $D_{\max}/D_{\min}$  coincide with the «Hutchinson constant», equal to 1.3. If you take the ratio of the squares of the diameters ( $D_{\max}^2/D_{\min}^2$ ), it is statistically identical to the Golden ratio, equal to 1.618; in random pairs it was significantly more. In addition, it is known that the right and left forms of needles phyllotaxis also tend to the Golden section, expressed in fractions of the whole (0.618:0.382). It provides population stability under changing environmental conditions in favor of right-wing or left-wing forms, which are the opposite of adaptive preferences. The detection of such biological constants indicates homeostasis and harmony within the forest plantation. They can serve as unbiased criterion for assessing the correctness of the cultivation of artificial and natural forests.

**Keywords:** forest plantings, structure, ecological niche, biological constants

Золотое сечение обнаруживается через сопоставление частей целого. Например, популяции сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели европейской (*Picea excelsa* L.) оказались двойственными и представлены популяциями-изомерами – *правыми* и *левыми* формами по филлотаксису хвои. Их частоты не выходят за пределы соотношения 62:38, что оказалось близко к золотому сечению 0,618:0,382. Такая их

частота обеспечивает гомеостаз популяций при изменении условий в пользу правых или в пользу левых форм, имеющих разные адаптивные предпочтения к влажности, свету и конкуренции. В оптимальных условиях их частота стремится к соотношению 0,50:0,50. Эти формы генетически различны – ДНК-анализ показал их достоверные отличия по наблюдаемой гетерозиготности [1, 2].

Лесные фитоценозы позиционируются обычно как сообщества растений, объединенных борьбой за существование [3], и конкурентная парадигма для них доминировала весь XX век. Однако отмечаются факты срастания корневых систем [4, 5], которые говорят о том, что насаждение является системой с кооперацией питания деревьев, причем в жестких условиях процесс идет активнее. Эти явления показывают, что «...сообщество древесных растений построено на единстве процессов конкуренции и кооперации» [6], и они были известны уже давно [4], однако это никак не поколебало доминанту конкуренции между деревьями и воспринималось скорее как исключение.

В древостоях отмечены и другие феномены в виде устойчивых структур (био групп), состоящих из территориально сближенных деревьев. Эти структуры устойчивы во времени [7], а размеры деревьев в них не отличаются от размеров более свободно растущих деревьев, причем даже в перестойных насаждениях в них продолжают расти 40% деревьев [8]. Повидимому, в них проявляется «эффект группы» или принцип агрегации особей Олли, согласно которому «...у особей в группе повышается устойчивость к неблагоприятным факторам, поскольку в группе их контакт со средой меньше, и она изменяет микросреду в благоприятном для себя направлении» [9, с. 19].

Однако в био группах обнаруживаются и другие эффекты. В 1999 г. была опубликована во многом знаковая работа В.М. Горячева [10], где было показано, что при регистрации еженедельного увеличения окружности ствола, т.е. динамики прироста в течение вегетации, пики прироста деревьев в био группах оказались разнесены во времени на 1–2 недели, тогда как у деревьев, располагавшихся в отдалении, они часто совпадали. Это позволяет рассматривать близко соседствующие деревья как организмы, минеральное питание которых разнесено во времени и в пространстве, а это значит, что к ним применимы правила и законы экологии, включая экологические ниши Мак-Артура [11].

Мы изучали рост сосны в 184-летнем насаждении, которое показало, что расстояние до ближнего соседа очень слабо повлияло на диаметр деревьев-соседей при корреляции  $r = 0,148 \pm 0,063$ , и сила влияния расстояния на средний диаметр этой пары деревьев оказалась всего лишь

4% [12]. Это позволяет считать, что в старых насаждениях конкурентное давление деревьев-соседей снижается до исчезающе малых величин. Поэтому можно попытаться найти показатели, отражающие их кооперацию между собой. О таком поиске начали говорить в связи с тем, что модели структуры древостоев, построенные на эмпирическом подходе, методологически исчерпали себя и нужны исследования на принципиально иной основе – биотектонике, где используют естественные системы пропорций [13]. В ней главное место занимает Золотое сечение, с округлением равное 1,618 (или соотношение части и целого 0,618:0,382), представляющее собой константу, но константу не явную, а глубоко скрытую от поверхностных наблюдений. Она лежит в основе множества структур биоты, является геометрическим выражением жизни и не довлеет над другими пропорциями, а присутствует вместе с ними [14].

Наши работы по взаимодействию деревьев сосны в старых высокополнотных насаждениях сосны [12] показали, что в соседствующих парах деревьев на расстояниях 84–450 см корреляция диаметра более крупного дерева с его малым соседом была равна  $r = 0,52 \pm 0,037$ , тогда как с увеличением расстояний до 451–800 см она снижалась до  $r = 0,27 \pm 0,10$ . Это свидетельствует о том, что чем ближе расстояние между деревьями, тем выше их кооперация и партнерство и тем слабее конкуренция.

Это явление, наблюдаемое в микроценозах (био группах), оказывается противоположным известному отрицательному влиянию повышенной густоты *макроценоза* (древостоя в целом) на размеры деревьев в спелом возрасте, на смену которому в микроценозах приходит взаимная толерантность и партнерство деревьев.

Цель исследования: в спелом насаждении выяснить, как соотносятся диаметры деревьев-соседей и проявляется ли в этом отношении закон золотого сечения.

#### Материалы и методы исследования

Объектом работ был выбран массив сосны обыкновенной в лесах г. Перми, в кв. 61 Нижне-Курьинского участкового лесничества, где сохранились крупные деревья с диаметрами до 68 см. Древостой оставляет очень хорошее впечатление; его структура не нарушена, так как в нем проводили только санитарные руб-

ки, и вывозку древесины от них осуществляли по просветам между деревьями. История поселения сосны здесь оказалась связана со сплошной рубкой леса и выжиганием древесного угля на этой территории в 1820-е гг., о чем свидетельствовали специфические места с наличием небольших ям группами по 3–4 шт., а также ям от бывших землянок, где жили углежогы. В 2003 г. (16 лет назад) здесь прошел ветровал с повреждением 7% деревьев.

В массиве заложили две пробные площади: участок «Южный» и участок «Северный» общей площадью 2,2 га, примыкающие друг к другу, где 735 шт. деревьев, нанесли на план в масштабе 1:100 с точностью  $\pm 10$ –35 см. У дерева измеряли окружность ствола и расчетным путем определяли диаметр с округлением до  $\pm 0,1$  см. Высота яруса определена по 149 деревьям, а возраст по кернам древесины у 21 дерева. План расположения деревьев был оцифрован в программе ArcMap. Таксация насаждений в 2017 г. показала следующее.

Участок «Южный» – площадь 1,108 га, состав 10С ед.Е, возраст 184 года, средняя высота 32,1 м, средний диаметр 39,8 см, тип леса сосняк кисличниковый с преобладанием 70% черники и 30% брусники, класс бонитета 1, абсолютная полнота 42,8 м<sup>2</sup>/га, относительная полнота 0,91, запас 614 м<sup>3</sup>/га. Если учесть 29 ветровальных деревьев, то по отношению к ныне живым (376 шт.) их число, полнота и запас древостоя могли бы увеличиться на 7,7% и составить 660 м<sup>3</sup>/га при полноте 0,98. Текущая густота 344 шт/га.

Участок «Северный» – площадь 1,109 га, имеет тот же состав, возраст и близкий тип леса, но с явным преобладанием черники (95%), что свидетельствует о несколько более влажных условиях. Средняя высота 33,5 м, средний диаметр 42,1 см. Густота древостоя меньше на 6%, но полнота 0,95 и запас 655 м<sup>3</sup>/га. Если же учесть 23 ветровальных дерева, то по отношению к ныне живым (359 шт.) их число, полнота и запас могли бы увеличиться на 6,5% и составить 700 м<sup>3</sup>/га при полноте 1,01. Текущая густота здесь 324 шт/га.

Анализ данных включал оценку взаимодействия деревьев по расстояниям между ними. Для выделения биогрупп сделали расчет средней площади питания дерева, исходя из площади 2,2 га и общего числа деревьев на ней 735 шт., которая оказалась равной 29,9 м<sup>2</sup>. Квадратный корень из нее дает расстояние 5,47 м, и рас-

стояние в  $\frac{1}{2}$  от него и с округлением равное 2,7 м было принято в качестве критерия выделения биогрупп. Измерения расстояний между центрами оснований стволов проводились на плане с округлением до 0,01 м и далее обрабатывали принятыми методами биометрии.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В насаждении было обнаружено 137 биогрупп, где расстояние между деревьями составляло 84–270 см, и они включали в себя от 2 до 5 деревьев. В них из 735 находится 297 ныне живых деревьев или 40,4% (рисунок).

На участке «Северный» средний диаметр деревьев в биогруппах был равен  $40,85 \pm 0,72$  см, что несколько меньше, чем в древостое ( $41,25 \pm 0,43$  см), однако различие в 1,0% оказалось недостоверно. На участке «Южный» аналогичные средние диаметры оказались практически равны ( $39,02 \pm 0,62$  и  $39,10 \pm 0,39$  см).

Чтобы понять результат длительного взаимодействия деревьев в биогруппах, было использовано отношение  $D_{\max}/D_{\min}$ , где  $D_{\max}$  – диаметр большего дерева в паре и  $D_{\min}$  – меньшего. Для анализа использовали биогруппы только из двух деревьев, которых было большинство. Полученное отношение сравнивали с «контрольным» отношением, которое рассчитывали для каждого дерева биогруппы, составляя пару с его ближним соседом. Выдвинули гипотезу, что если отношение  $D_{\max}/D_{\min}$  будет выше в биогруппах, то в них будет и более сильная конкуренция. Для ее проверки на участке «Южный» сформировали выборку из 56 биогрупп, а также контроль из такого же числа соседних пар (табл. 1).



*Биогруппы в 184-летнем сосняке из средних и крупных деревьев*

Таблица 1

Показатели деревьев в биогруппах и контроле (по [12])

Показатели	Статистики					
	число наблюдений, шт.	среднее	ошибка среднего	вариация, %	min	max
Биогруппы из двух деревьев						
Диаметр, см	112	39,0	0,76	20,6	24	65
Расстояние, см	56	195	7,0	26,8	84	271
Д <sub>мах</sub> /Д <sub>мин</sub>	56	1,272	0,030	20,1	1,01	2,14
Контрольные пары деревьев-соседей						
Диаметр, см	112	39,2	0,70	18,9	25	63
Расстояние, см	112	525	19,0	38,4	126	1427
Д <sub>мах</sub> /Д <sub>мин</sub>	112	1,274	0,022	18,2	1,00	2,29

Сравнение полученных выборок показало, что средние диаметры в них почти одинаковы: соответственно 39,0 и 39,2 см в биогруппах и в контроле, несмотря на громадные различия в среднем расстоянии между деревьями – 195 и 525 см. Сокращение расстояния составило  $525 / 195 = 2,7$  раза. Считая, что взаимодействие между деревьями пропорционально квадрату расстояния, получаем его усиление в  $2,7^2 \approx 7$  раз. Однако отношения  $D_{\max} / D_{\min}$  оказались практически равны: 1,272 и 1,274. Получается явный парадокс – при усилении взаимодействия в 7 раз деревья почему-то совершенно не реагировали на это, что подтвердило наши предположения о резком снижении конкуренции.

Между тем взаимодействие деревьев можно рассматривать и в совершенно ином аспекте – в концепции экологической ниши [12]. Можно сравнить полученное в табл. 1 отношение  $D_{\max} / D_{\min}$  с так называемой «постоянной Хатчинсона», предложенной в 1959 г. для оценки конкуренции симпатрических видов фауны, занимающих разные ниши в пределах одного местообитания. Ее значение рассчитывается отношением размеров тела более крупных видов к соседствующим мелким видам; при минимальной конкуренции для массы тела она равна 2.0 и для линейных размеров тела мелких животных и насекомых ее значение равно 1,3. При таком ее значении конкуренция минимальна, и виды прекрасно сосуществуют вместе [11].

По аналогии можно считать, что деревья-соседи – это разные организмы, по-разному питающиеся ресурсами среды и разделяющие их между собой по времени питания и по территории. Это положение доказал В.М. Горячев [10], который

выяснил, что в биогруппах деревьев пики их радиального прироста, а следовательно, и пики их минерального питания были разнесены во времени на 1–2 недели, тогда как у деревьев, растущих в отдалении, они наступали синхронно. При округлении полученного нами  $D_{\max} / D_{\min}$  получаем значение  $1.274 \approx 1,3$ . Если же взять не диаметры, а площади сечений, как более точную характеристику размера дерева, и рассчитать их отношение (или отношения квадратов диаметров), то у соседствующих деревьев мы получаем средние значения этих отношений в пределах от 1,613 до 1,675, статистически не отличающиеся от золотого сечения (табл. 2).

В сравнении с золотым сечением, принятым за 100%, отношения у деревьев-соседей колебались от 99,7 до 104,0%, и отличия эти были недостоверны ( $t_{\text{факт}} = 0,06 - 0,90 < t_{0,95} = 2,0$ ), т. е. они совпадали статистически. Однако в случайных парах отношение оказалось 1,771, что выше «Золотого сечения» на 9,5%, при  $t_{\text{факт}} = 3,52 > t_{0,99} = 2,63$ .

Таким образом, наблюдаемая разнородность диаметров у соседствующих деревьев оказалась ограничена статистической константой, имеющей основу в Золотом сечении, которое действует как глобальный механизм устройства Вселенной и проявляет себя буквально во всех формах живой природы [13, 14]. Так как константа Золотого сечения объективно существует, то надо ее обнаруживать и использовать для оценки экосистем как абсолютный ориентир. Высоко вероятно, что в насаждениях с оптимальной структурой отношение  $D^2_{\max} / D^2_{\min}$  у деревьев-соседей будет близко к ней. Если же оно будет достоверно отличаться, то имеет смысл говорить о нарушениях в их развитии.

Таблица 2

Отношения площадей сечения крупных деревьев к малым в биогруппах  
и в парах у ближних деревьев-соседей

Статистики для отношения диаметров $D^2_{\max}/D^2_{\min}$	Биогруппы на участках			Ближние соседи	Случайные пары
	Северный	Южный	оба участка		
Число пар	71	56	127	112	358
Минимум	1,01	1,02	1,01	1,00	1,00
Максимум	5,21	4,57	5,21	5,25	6,70
Среднее	1,613	1,682	1,643	1,675	1,771
Стандартное отклонение	0,675	0,76	0,712	0,673	0,823
Статистическая ошибка	0,080	0,102	0,063	0,064	0,043
Золотое сечение	1,618	1,618	1,618	1,618	1,618
Среднее, к Золотому сечению в %	99,7	104,0	101,6	103,5	109,5
Отличие от Золотого сечения, критерий t Стьюдента	0,06	0,63	0,40	0,90	3,52**

Примечание. \*\* – различие достоверно в 99 % случаев.

В практическом плане при наличии такой биологической константы разного рода рубки ухода и другие лесохозяйственные мероприятия получают прекрасный способ проверки их правильности по показателю отношения квадратов диаметров соседствующих деревьев  $D^2_{\max}/D^2_{\min}$ , которое рассчитывают на выборках из 50–60 пар деревьев-соседей. Если полученное отношение статистически не отличается от Золотого сечения 1,618, то насаждение выращивали правильно и оно устойчиво в генетическом и экологическом плане.

### Выводы

1. Рассматривая отношение диаметра большего дерева к меньшему ( $D_{\max}/D_{\min}$ ) в соседствующих парах деревьев, выдвинули гипотезу, что если оно будет больше в биогруппах, то конкуренция в них будет сильнее. Однако выборки из 112 деревьев в биогруппах и такого же числа деревьев в ближних контрольных парах деревьев-соседей показали, что это отношение одинаково и равно 1,27. Средние диаметры также были равны (39,0 и 39,2 см), несмотря на громадные различия в средних расстояниях между деревьями – 195 см в биогруппах и 525 см в контроле. Получается, что при усилении взаимодействия во много раз деревья в биогруппах совершенно не реагировали на это усиление, что говорит о замене конкуренции деревьев на партнерство между ними.

2. Если далее рассматривать деревья в концепции экологической ниши и считать их организмами, по-разному потребляющими ресурсы, то полученные отношения

$D_{\max}/D_{\min}$  совпадают с «постоянной Хатчинсона», равной 1,3. Она была введена для понимания того, что при таком ее значении конкуренция между симпатрическими видами минимальна, так как они по характеру их питания занимали разные экологические ниши. То есть данные «из фауны» Дж. Хатчинсона адекватно совпадают с нашими данными «из флоры» по сосне.

3. В выборке из пар деревьев-соседей отношение квадратов диаметров большего дерева в паре к меньшему ( $D^2_{\max}/D^2_{\min}$ ) статистически не отличается от золотого сечения, равного 1,618, тогда как в случайных парах оно было достоверно больше. Можно полагать, что если наличие золотой пропорции 1,618 будет доказано в каком-либо древостое в соседствующих парах деревьев по отношению  $D^2_{\max}/D^2_{\min}$ , то древостой будет охарактеризован как устойчивое сообщество.

4. Биологические константы в отношениях диаметров деревьев-соседей, а также в частотах правых и левых форм, совпадающих с золотой пропорцией, указывают на гармонию и гомеостаз лесных насаждений. Они могут служить объективным критерием правильности выращивания искусственных и естественных лесов.

### Список литературы / References

- Голиков А.М. Эколого-диссимметричный и изоферментный анализ структуры модельных популяций сосны обыкновенной // Лесоведение. 2011. № 5. С. 46–53.
- Golikov A.M. Ecological-dissymmetry and isoenzyme analysis of the structure of model populations of Scots pine // Silvics. 2011. № 5. P. 46–53 (in Russian).
- Рогозин М.В., Голиков А.М., Жекин А.В., Комаров С.С., Жекина Н.В. Селекция ели финской (*Picea x fennica* (Regel) Kom.): диссимметрия и хемомакеры. Монография /

Под ред. М. В. Рогозина. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2017. 120 с.

Rogozin M.V., Golikov A.M., Zhekin A.V., Komarov S.S., Gecina N.In. Selection of Finnish spruce (*Picea×fennica* (Regel) Kom.): dissymmetry and chemometry. Monograph / under the editorship of M.V. Rogozin. Perm: Perm. state national. research. Univ., 2017. 120 p.

3. Сукачев В.Н. О внутривидовых и межвидовых взаимоотношениях среди растений // Сообщения института леса. Вып. 1. М.: АН СССР, 1953. С. 5–44.

Sukachev V.N. On intraspecific and interspecific relationships among plants // Reports of the forest Institute. Issue. 1. M.: AN SSSR, 1953. P. 5–44 (in Russian).

4. Демаков Ю.П. Структура и закономерности развития лесов республики Марий Эл. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический ун-т, 2018. 432 с.

Demakov Yu.P. Structure and regularities of development of forests in the Republic of Mari El. Yoshkar-Ola: Volga state technological University, 2018. 432 p. (in Russian).

5. Колтунова А.И. О формировании горизонтальной структуры и срастании корневых систем в древостоях сосны // Эко-потенциал. 2013. № 3–4. С. 136–142.

Koltunova A.I. On horizontal structure forming and root accreting in pine forests // Eco-potential. 2013. № 3–4. P. 136–142 (in Russian).

6. Усольцев В.А., Часовских В.П., Акчурина Г.А., Осмирко А.А., Кох Е.В. Фитомасса деревьев в конкурентных условиях: исследование системных связей средствами информационных технологий. Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. 526 с.

Usol'tsev V.A., Chasovskikh V.P., Akchurin G.A., Osmirko A.A., Koch E.V. Phytomass of trees in a competitive environment: a study of system communications by means of information technology. Yekaterinburg: UGLTU, 2018. 526 p. (in Russian).

7. Мартынов А.Н. Динамика горизонтальной структуры древостоев // Труды С-Пб НИИЛХ. Вып. 21. СПб., 2010. С. 109–113.

Martynov A.N. Dynamics of the horizontal structure of forest stands // Proceedings of the St. Petersburg forestry research Institute. Issue. 21. SPb., 2010. P. 109–113 (in Russian).

8. Рогозин М.В. Биогруппы в старых насаждениях сосны // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2018. Вып. 2. С. 150–158.

Rogozin M.V. Biogroups in old pine plantations // Bulletin of Perm University. Series Biology. 2018. Issue. 2. P. 150–158 (in Russian).

9. Усольцев В.А. Продукционные показатели и конкурентные отношения деревьев. Исследование зависимостей. Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. 556 с.

Usoltsev V.A. Production indicators and competitive relations of trees. The study of dependencies. Yekaterinburg: UGLTU, 2013. 556 p. (in Russian).

10. Горячев В.М. Влияние пространственного размещения деревьев в сообществе на формирование годичного слоя древесины хвойных в южнотаежных лесах Урала // Экология. 1999. № 1. С. 9–19.

Goryachev V.M. The influence of spatial distribution of trees in the community on the formation of the annual layer of coniferous wood in the South taiga forests of the Urals // Ecology. 1999. № 1. P. 9–19 (in Russian).

11. Розенберг Г.С. Экология в картинках. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2007. 218 с.

Rosenberg G.S. Ecology in pictures. Togliatti: IMB RAS, 2007. 218 p. (in Russian).

12. Рогозин М.В. Рост сосны в зависимости от расстояний до соседних деревьев // Вестник Нижневартовского гос. ун-та. 2018. № 3. С. 64–69.

Rogozin M.V. Pine growth depending on the distance to neighboring trees // Bulletin of Nizhnevartovsk state University. 2018. № 3. P. 64–69 (in Russian).

13. Чернов Н.Н. Биотектоника – методологическая основа изучения форм в живой природе. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 135 с.

Chernov N.N. Biotechnica – methodological basis of the study of forms in nature. Yekaterinburg: USFEU, 2012. 135 p. (in Russian).

14. Назаров И.В. История и философия науки. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 198 с.

Nazarov I.V. History and philosophy of science. Yekaterinburg: UGLTU, 2012. 198 p. (in Russian).

## СТАТЬИ

УДК 911.3:314.7

**ОСОБЕННОСТИ ВНЕШНИХ МИГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ  
В РОССИИ В ПЕРИОД С 2007 ПО 2017 Г.****Аракчеева О.В., Кривдина И.Ю.***ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет  
имени Козьмы Минина», Нижний Новгород, e-mail: o.v.arakcheeva@rambler.ru*

В статье раскрыта роль миграционных процессов в социально-экономическом развитии России, в формировании современного населенческого комплекса страны. Подчеркивается роль миграций как фактора оценки перспектив устойчивого развития российского общества. Сравнительный анализ миграций населения за последнее десятилетие показал, что в исследуемый период наблюдается, с одной стороны, увеличение масштабов миграции населения почти в два раза, но вместе с тем сокращение миграционного прироста, что непременно повлияет в будущем на демографическую ситуацию в РФ и, возможно, на дефицит трудовых ресурсов. В статье выявлены и проанализированы такие причины внешних миграций, как экономические, социальные, политические, национальные; религиозные, военные, экологические и другие. Сравнительный анализ внешних миграций в России за последнее десятилетие позволил выявить некоторые тенденции, такие как увеличение количества иммигрантов по причинам обострения межнациональных отношений в странах выезда, снижение доли семейных мигрантов, увеличение числа мигрантов по причинам экологического неблагополучия и другие. Явно положительными тенденциями являются преобладание трудоспособного возраста среди иммигрантов, уменьшение количества мигрантов со средним общим и средним профессиональным образованием и увеличение переселенцев с высшим образованием, в том числе с ученой степенью, что положительно отражается на рынке труда страны и на качестве трудовых ресурсов. Выявлены страны, которые являются стабильными миграционными донорами для России, это Украина, Узбекистан, Армения и Таджикистан. В 2017 г. странами-донорами стали Китай, Вьетнам, КНДР, Индия и Грузия.

**Ключевые слова:** миграции населения, миграционный прирост, причины миграции, структура мигрантов РФ**FEATURES OF EXTERNAL MIGRATION PROCESSES IN RUSSIA  
IN THE PERIOD FROM 2007 TO 2017 YEARS****Arakcheeva O.V., Krivdina I.Yu.***Nizhny Novgorod State Pedagogical University named after Kozma Minin, Nizhny Novgorod,  
e-mail: o.v.arakcheeva@rambler.ru*

The article reveals the role of migration processes in the socio-economic development of Russia, in the formation of the modern population complex of the country. The role of migration as a factor in assessing the prospects for sustainable development of Russian society is emphasized. Comparative analysis of migration over the past decade showed that in the study period there is on the one hand, an increase in migration almost twice, but at the same time, a reduction in migration growth, which will certainly affect the future demographic situation in the Russian Federation and possibly the shortage of labor resources. The article identifies and analyzes such causes of external migration as economic, social, political, national, religious, military, environmental and other reasons. A comparative analysis of external migration in Russia over the past decade has revealed some trends, such as an increase in the number of immigrants due to the aggravation of interethnic relations in the countries of departure, a decrease in the share of family migrants, an increase in the number of migrants due to environmental problems, and others. Clearly positive trends are the predominance of working age among immigrants, a decrease in the number of migrants with secondary and secondary vocational education and an increase in immigrants with higher education, including a degree, which has a positive impact on the country's labour market and the quality of the labour force. Identified countries that are stable migration donors for Russia are Ukraine, Uzbekistan, Armenia and Tajikistan. In 2017, China, Vietnam, North Korea, India and Georgia became donor countries.

**Keywords:** population migration, migration growth, causes of migration, structure of migrants of the Russian Federation

Миграции населения играют огромную роль в социально-экономическом развитии России и будут иметь еще большее значение в XXI в. В связи с естественной убылью населения Российской Федерации миграция становится практически единственным источником стабилизации численности населения и пополнения трудовых ресурсов. Влияя на общую численность населения и на его социально-экономическую структуру, миграция превращается в постоянную составляющую политического, социально-экономического

и культурного развития общества [1]. Поэтому миграционные процессы, их причины и последствия являются чрезвычайно важным фактором для оценки перспектив устойчивого развития российского общества.

Цель исследования: сравнительный анализ миграций населения за последнее десятилетие. В качестве ключевых лет выбраны 2007, 2008 – годы начала мирового финансового кризиса и 2017 г. – период восстановления российской экономики после финансового кризиса 2013–2014 гг.

### Материалы и методы исследования

В исследуемый период наблюдается увеличение масштабов миграции населения. Число мигрантов, приехавших в Российскую Федерацию, так же как и выехавших из нее, увеличилось в 2 раза, о чем свидетельствуют данные диаграммы (рис. 1) [2, 3]. Однако миграционный прирост сократился на 15% в 2017 г. по сравнению с 2007 г. Этот факт может отразиться в будущем на демографической ситуации в РФ и на нехватке трудовых ресурсов.

Что же является основной движущей силой и причинами современной миграции населения? В научной литературе существует большое количество классификаций миграционных процессов, и среди них важное значение имеет классификация по причинам. Основные причины переселения людей – экономические (перемещения в поисках работы, для получения образования) и социальные (в связи с замужеством или женитьбой). Немалую роль играют также политические (в результате смены формы государственного правления, политических переворотов, например революции в России в 1917 г.); национальные (бегство граждан из-за национальных преследований); религиозные, военные, экологические (авария на Чернобыльской АЭС); природные (перемещения людей из-за стихийных бедствий – землетрясений, наводнений и т.д.) и другие причины [4].

Изучение миграции населения в России как самостоятельного научного направления получило развитие во второй половине XIX в. Толчком для этого послужила акти-

визация миграций в пореформенной эпохе. Однако перемещения людей наблюдались и в предыдущие века, которые были связаны с освоением новых земель.

Наиболее массовыми потоками внешних миграций в Россию характеризуется советский период исторического развития страны. В это время внешние миграции формировались за счет потоков русскоязычного населения, возвращающегося на историческую родину из новых государств – бывших республик СССР, в результате обострения там национальных и религиозных конфликтов. Увеличивается миграция населения с целью трудоустройства из России в страны дальнего зарубежья.

В настоящее время перемещения населения стали более рациональными, в отличие от стихийной миграции в 1990-е гг. Рассмотрим основные причины современных внешних миграций в России: социально-экономические, связанные с поиском работы и поступлением в образовательные учреждения; вынужденные, связанные с ухудшением межнациональной и криминогенной ситуации; природные и экологические; личные и семейные.

Среди современных миграций выделяются переселения по семейным, личным причинам (34,7%). Нужно отметить, что за исследуемый период уменьшается количество мигрантов, возвращающихся на прежнее место жительства, как прибывших в Россию, так и выехавших из нее (табл. 1). Это свидетельствует об успешной адаптации мигрантов на новом месте жительства и особенно в российских регионах [5].

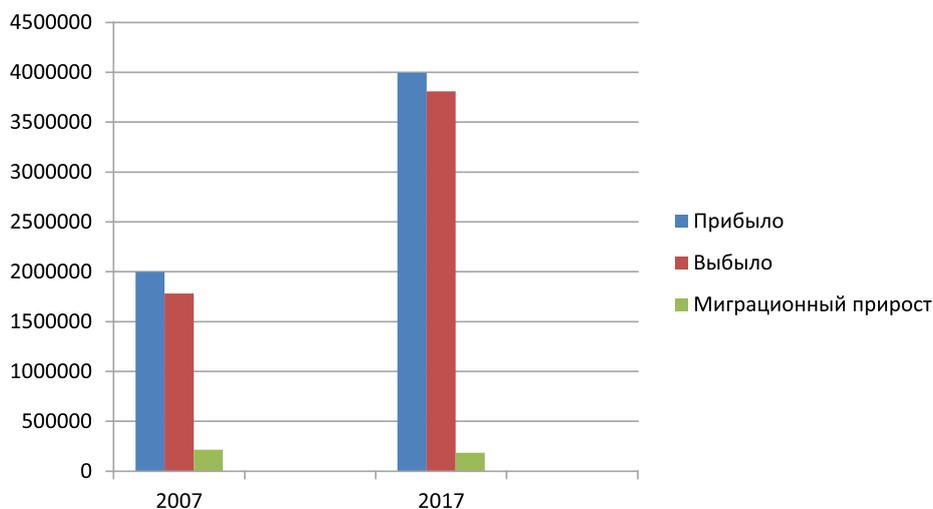


Рис. 1. Изменение миграционных процессов на территории РФ в 2007 и 2017 гг.

Таблица 1

Распределение мигрантов в возрасте 14 лет и старше по обстоятельствам, вызвавшим необходимость смены места жительства по РФ [2, 3]

Причины	Прибыло, %		Выбыло, %		Миграционный прирост, %	
	2007	2017	2007	2017	2007	2017
Всего	100	100	100	100	100	100
в связи с учёбой	6,7	8,3	7,4	7,7	1,2	20,9
в связи с работой	10,4	10,6	10,5	8,0	9,7	64,9
возвращение к прежнему месту жительства	12,7	2,4	13,8	2,3	4,0	3,4
из-за обострения межнациональных отношений	0,3	0,6	0,04	0,02	2,1	12,4
из-за обострения криминогенной обстановки	0,04	0,2	0,02	0,02	0,2	3,0
экологическое неблагополучие	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4
несоответствие природно-климатическим условиям	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,5
причины личного, семейного характера	61,8	34,7	61,4	30,8	65,7	115
иные причины	6,0	37,1	5,8	46,4	7,6	-153,9
причина не указана	1,6	5,7	0,6	4,3	9,0	33,3

Напротив, увеличиваются миграции населения по всем остальным причинам. Миграционный прирост населения, связанный с поиском работы, увеличивается в 2017 г. по сравнению с 2007 г. в 7 раз, а связанный с учебой – практически в 20 раз. По причинам обострения межнациональных отношений миграционный прирост вырос в 6 раз, а из-за ухудшения криминогенной обстановки в 15 раз. Здесь, нужно отметить, что по этим причинам большинство мигрантов приезжают в Российскую Федерацию из других стран, а не выезжают из нее. Серьезные опасения у мигрантов в последнее время вызывает экологическая ситуация, поэтому возрастает и число выбравших эту причину как основную при переезде на новое место жительства. Большое количество эмигрантов либо не указывают причину выезда, либо не могут выбрать причину из предложенных категорий.

Преимущественный миграционный обмен Российской Федерации идет со странами СНГ (рис. 2). Основными странами-донорами являются в 2008 г.: Украина, Узбекистан, Армения, Азербайджан и Таджикистан [2, 6]. В 2017 г. к этим же странам, за исключением Азербайджана, добавляются Казахстан и Киргизия [3].

Стоит отметить, что количество прибывших мигрантов из Украины увеличилось в 9 раз, из Таджикистана в 7 раз, из Узбекистана в 5 раз, а из Казахстана в 35 раз, и Киргизии в 43 раза. Из других зарубежных стран, которые поставляют мигрантов в Россию, в 2007 г. выделялись Китай, Вьетнам, Афганистан, Германия и Турция, из

них в 2017 г. свои позиции сохранили Китай и Вьетнам, а также в пятерку лидеров вошли КНДР, Индия и Грузия [2, 3].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Важным моментом изучения миграции населения является структура мигрантов по различным критериям, прежде всего по возрасту, уровню образования и семейному положению. В основном в РФ приезжают мигранты в трудоспособном возрасте 86% и 85% соответственно в 2008 и 2017 гг. [2, 3, 7]. Соотношение доли детей и людей старших возрастных групп среди мигрантов, приезжающих в Россию с 2008 г. практически не изменилось (рис. 3).

Уровень образования является важным критерием оценки качества трудовых ресурсов в России. Анализируя рис. 4, мы приходим к выводу, что большинство приезжающих в 2008 г. в РФ мигрантов имели среднее общее образование (33%). Переселенцы со средним профессиональным и высшим образованием составляли 25% и 16% соответственно. Нужно отметить, что среди людей, имеющих высшее образование, 213 человек имели степень доктора наук, а 166 – кандидата наук [2].

К 2017 г. наметилась тенденция уменьшения количества мигрантов со средним общим (24%) и средним профессиональным образованием (24%), а число мигрантов с высшим образованием увеличилось (18%), в том числе в страну въехало 219 докторов наук и 371 кандидат наук [3]. Однако, увеличилась доля людей, не указавших свой уровень образования (рис. 4).

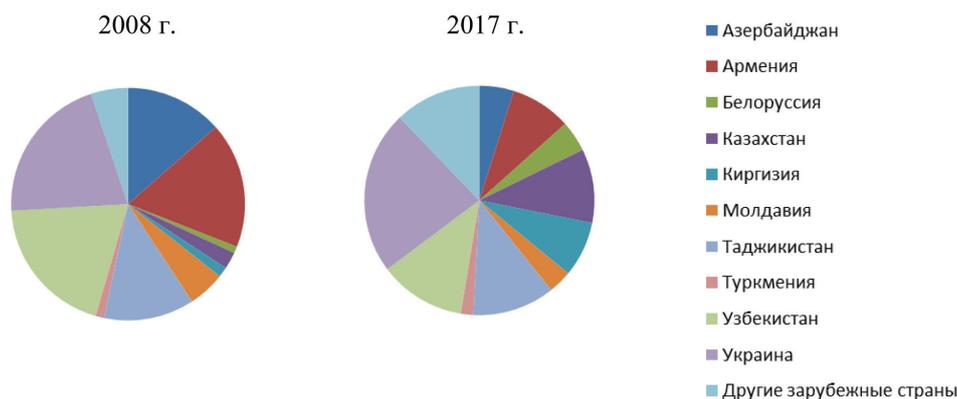


Рис. 2. Распределение прибывших международных мигрантов в РФ по гражданству за 2008 и 2017 гг.

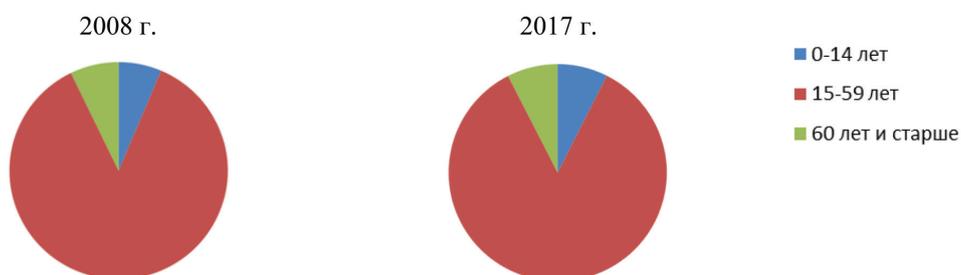


Рис. 3. Распределение международных мигрантов, приезжающих в РФ в 2008 и 2017 гг., по возрастным группам

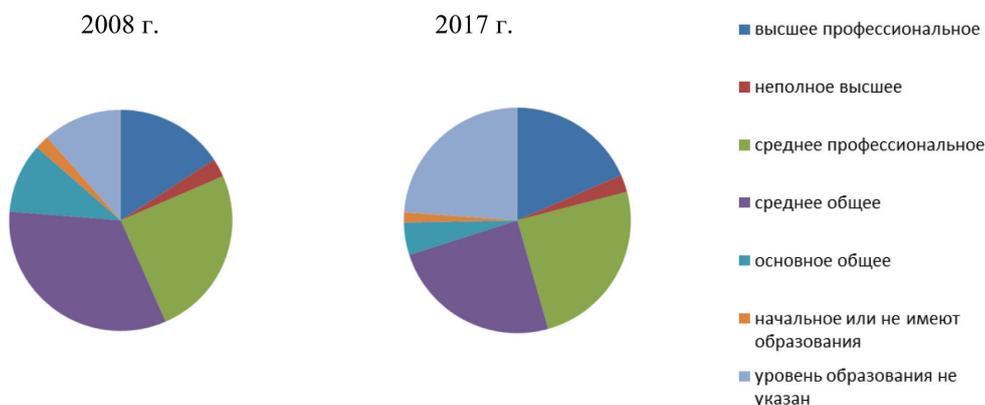


Рис. 4. Распределение прибывших мигрантов в возрасте 14 лет и старше по уровню образования в 2008 и 2017 гг.

Немаловажным фактором, влияющим на мобильность мигрантов, является семейное положение. Наличие семьи и детей оказывает значительное влияние на длительность проживания мигрантов на новом месте жительства. Большинство мигрантов, приезжающих в РФ, как в 2008 г., так и в 2017 г., со-

стоят в браке – 48% и 44% соответственно (рис. 5). Значительную часть переселенцев составляют люди, никогда не состоявшие в браке 28% (2008 г.) и 24% (2017 г.). Вдовы и разведенные мигранты представляют небольшие по численности группы переезжающих, всего лишь от 3% до 7% [2, 3].

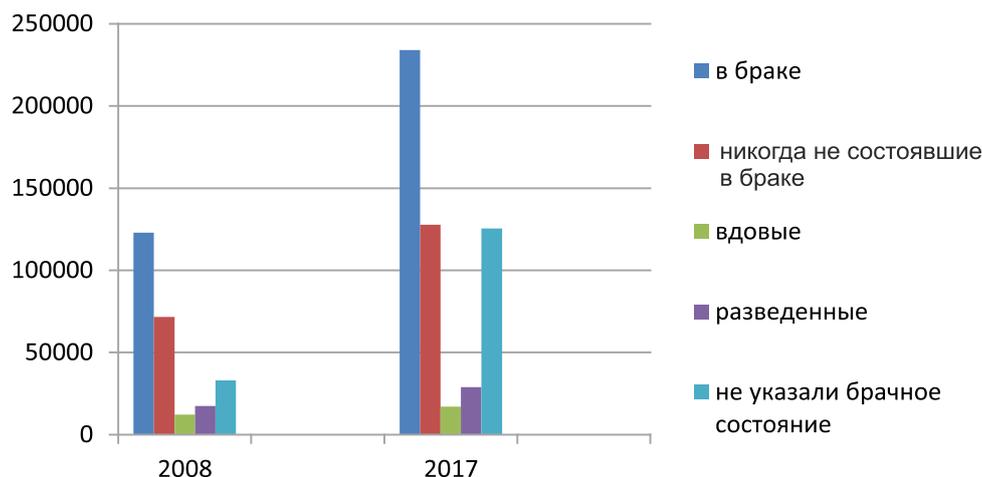


Рис. 5. Распределение прибывших в РФ международных мигрантов в возрасте старше 14 лет по брачному состоянию в 2008 и 2017 гг.

В целом наметилась тенденция к снижению доли семейных мигрантов. Среди них доля приезжающих со всей семьей сократилась на 1% (табл. 2), а доля мигрантов, приезжающих с частью членов семьи сократилась с 18% до 2%. В то же время увеличивается доля переселенцев, не указывающих свое семейное положение, с 8% до 20%.

Таблица 2

Распределение мигрантов, прибывших в РФ, по семейной структуре за 2008 и 2017 гг. (человек)

Семейная структура	2008	2017
Прибыло	2215945	4773500
Со всей семьей	507210	1034512
С частью членов семьи	390418	79125
Отдельно от других членов семьи	984012	1854829
Вне семьи	147953	147954
Не указали	186352	944955

### Выводы

Таким образом, в настоящее время можно выделить следующие тенденции, характерные для миграции населения Российской Федерации:

- увеличение миграционной активности, как по прибытию, так и выезду мигрантов;
- уменьшение миграционного прироста, которое можно расценивать как показатель пониженной эффективности миграционной политики страны;
- увеличение количества мигрантов в Российскую Федерацию по причинам обо-

стрения межнациональных отношений и криминогенной обстановки в странах выезда;

- более 80% мигрантов приезжают в трудоспособном возрасте, что положительно отражается на рынке труда;

- уменьшение количества мигрантов со средним общим и средним профессиональным образованием и увеличение переселенцев с высшим образованием, в том числе с ученой степенью;

- снижение доли мигрантов, состоящих в браке;

- стабильными странами-донорами являются Украина, Узбекистан, Армения и Таджикистан.

### Список литературы / References

1. Юдина Т.Н. Социология миграции: Учебное пособие для вузов. М.: Академический проект, 2006. 272 с.

Yudina T.N. Sociology of migration: Textbook for universities. M.: Akademicheskij projekt, 2006. 272 p. (in Russian).

2. Численность и миграции населения Российской Федерации в 2007 году: Статистический бюллетень. М., 2008. 212 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.gks.ru/bgd/regl/B09\\_107/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/B09_107/Main.htm) (дата обращения: 10.05.2019).

Population size and migration of the Russian Federation in 2007: Statistical Bulletin. – M., 2008. – 212 с. [Electronic resource]. URL: [http://www.gks.ru/bgd/regl/B09\\_107/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/B09_107/Main.htm) (date of access: 10.05.2019). (in Russian).

3. Численность и миграции населения Российской Федерации в 2017 году: Статистический бюллетень. М., 2018. 212 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.gks.ru/bgd/regl/b18\\_107/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/b18_107/Main.htm) (дата обращения: 10.05.2019).

Population size and migration of the Russian Federation in 2017: Statistical Bulletin. M., 2018. 212 с. [Electronic resource]. URL: [http://www.gks.ru/bgd/regl/b18\\_107/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/b18_107/Main.htm) (date of access: 10.05.2019). (in Russian).

4. Аракчеева О.В., Кривдина И.Ю. Этапы миграционных движений населения на территории нижегородской области // Успехи современного естествознания. 2017. № 6. С. 72–76.

Arakcheeva O.V., Krivdina I.Yu. Stages of migration movements of the population in the Nizhny Novgorod region // Advances in modern natural science. 2017. № 6. P. 72–76 (in Russian).

5. Вознесенская А.Г., Аракчеева О.В. Население Нижегородской области: динамика численности, естественное и механическое движение // Вестник Мининского университета. 2013. № 4. [Электронный ресурс]. URL: <http://vestnik.mininuniver.ru/reader/archive/?year=2013&issue=4> (дата обращения: 10.05.2019).

Voznesenskaya A.G., Arakcheeva O.V. The Population of Nizhny Novgorod region: dynamics, natural and mechanical movement // Vestnik of Minin University. 2013. № 4 (4). [Electronic resource]. URL: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/442> (date of access: 10.05.2019) (in Russian).

6. Щербакова Е. Демографические итоги 2011 года (часть III) // Демоскоп Weekly. 2012. № 501–502. [Элек-

тронный ресурс]. URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2012/0501/barom04.php> (дата обращения: 10.05.2019).

Shcherbakova E. The Demographic outcome of 2011 (part III) // Demoscope Weekly. 2012. № 501-502. [Electronic resource]. URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2012/0501/barom04.php> (date of access: 10.05.2019) (in Russian).

7. Щербакова Е. Миграции в России, предварительные итоги 2018 г. // Демоскоп Weekly. 2019. № 805–806. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2019/0805/barom01.php> (дата обращения: 10.05.2019).

Shcherbakova E. Migration in Russia, preliminary results of 2018g. // Demo Weekly. 2019. № 805–806. [Electronic resource]. URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2019/0805/barom01.php> (date accessed: 10.05.2019) (in Russian).

УДК 502.5:556

## ОЦЕНКА ОТДЕЛЬНЫХ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОД ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ РАЗДОЛЬНАЯ РАЙОНА ГОРОДА УССУРИЙСКА

Горбатенко Л.В.

*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, e-mail: glv@tigdvo.ru*

Рассматриваются отдельные факторы воздействия, влияющие на формирование качества воды в р. Раздольная: водопользование с забором воды и последующим отведением ее в водные объекты и трансграничный перенос загрязняющих веществ. Приводится комплексная характеристика современного состояния водопользования по данным за 2017 г., включающая оценку сбросов загрязняющих веществ как по абсолютным значениям, так и с использованием условной расчетной характеристики – индекса загрязнения вод. Выявлено, что наибольшее воздействие на воды реки на российской части бассейна имеет место на территории Уссурийского городского округа, в том числе предприятиями центральной части г. Уссурийска. Трансграничное воздействие на воды р. Раздольная значительно выше, чем формируемое на российской части бассейна. Но на участке от государственной границы до г. Уссурийска это загрязнение нейтрализуется за счет разбавляющей способности реки и, возможно, других механизмов. Анализ изменений воздействия во времени показывает, что нет единой динамики как объемов сброса загрязняющих веществ предприятиями российской части бассейна, так и объемов трансграничного их переноса с территории КНР. На этом фоне качество вод р. Раздольная ниже городских очистных сооружений, а также ее притоков, оцениваемое по комплексным показателям, в последние годы практически не улучшается. В реках Комаровка и Раковка вблизи их устьев оно остается стабильно низким, периодически достигая уровня «экстремально грязного». При этом здесь часто регистрируются высокие уровни загрязнения отдельными веществами: азотом нитритным, алюминием, железом, цинком.

**Ключевые слова:** трансграничный перенос, водопользование, очистные сооружения, качество вод, индексы загрязнения вод, загрязняющие вещества, водоохранные мероприятия

## ASSESSMENT OF SOME WATER QUALITY FORMING FACTORS IN THE TRANSBOUNDARY RAZDOLNAYA RIVER

Gorbatenko L.V.

*Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: glv@tigdvo.ru*

Some factors influencing the formation of the water quality in the Razdolnaya River are considered: water use with water intake and its subsequent diversion to water bodies and transboundary transfer of pollutants. The complex assessment of the current state of water use is given based on the data of 2017, which includes an evaluation of pollutant discharges both in absolute values and using the calculated characteristic – the water pollution index. It is revealed that the greatest impact on river waters in the Russian part of the basin takes place in the territory of the Ussuriysky urban district, including by the enterprises of the central part of the city of Ussuriysk. A transboundary impact on the Razdolnaya River is significantly higher than that one formed in the Russian part of the basin. But on the part of the river from the state border to the city of Ussuriysk this pollution is neutralized by the diluting capacity of the river and, possibly, other mechanisms. The analysis of impact changes over time shows that there is no similar dynamics in both the volumes of pollutant discharge by enterprises in the Russian part of the basin and the volumes of their transboundary transfer from the territory of the PRC. Against this background the quality of the waters of the Razdolnaya River is below wastewater treatment plants of the city of Ussuriysk, as well as that of its tributaries assessed by complex indicators, was not improved for the recent years. In the Komarovka and Rakovka Rivers near their mouths the water quality remains consistently low, periodically reaching the «extremely dirty» level. At the same time, the high levels of contamination of some substances such as nitrite, aluminum, iron, and zinc are often registered there.

**Keywords:** transboundary transfer, water use, water treatment plants, water quality, water pollution index, water protection measures

Особенность геоэкологических исследований, отражающих процессы взаимодействия человека и природной среды, заключается в необходимости постоянного отслеживания различных параметров и характеристик этого взаимодействия. Это обусловлено изменяющимися интенсивностью и структурой влияния хозяйственной деятельности на различные компоненты среды. В частности, подобные оценки не-

обходимы для трансграничных бассейнов, к которым относится река Раздольная, образующаяся на территории КНР слиянием двух рек Сяосуйфэньхэ и Дасуйфэньхэ. Общая площадь водосбора реки составляет 16 830 км<sup>2</sup>, из которых около 6820 км<sup>2</sup> является территорией РФ. Российская часть бассейна расположена на территории Уссурийского городского округа (ГО) и трех муниципальных районов (МР) – Ок-

тябрьского, Надеждинского и Михайловского, причем лишь незначительная часть последнего входит в бассейн и поэтому при оценке показателей не рассматривается. Данное исследование проведено в развитие экологического диагностического анализа, выполненного ранее для трансграничного бассейна р. Раздольной [1], по данным которого к концу 1990-х гг. экологическое состояние реки Раздольная и ее притоков Комаровка и Раковка в районе г. Уссурийска оценивалось как очень напряженное.

Цель исследования: оценка качества вод р. Раздольная и отдельных факторов, влияющих на его динамику.

### Материалы и методы исследования

В данной статье рассматриваются следующие факторы, оказывающие влияние на формирование качества речных вод: трансграничный перенос и точечные источники сброса загрязняющих веществ предприятиями-водопользователями. Приводится комплексная оценка водопользования, загрязняющее воздействие которого проявляется при сбросе загрязненных сточных вод в природные водотоки. Сбросы загрязняющих веществ оцениваются как по абсолютным значениям, так и с использованием условной расчетной характеристики – индекса загрязнения вод. Исследование проведено на основе данных автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов Федерального агентства водных ресурсов, а также данных Росгидромета о загрязнении поверхностных водных объектов в результате трансграничного переноса химических веществ, Приморского управления по гидро-

метеорологии и мониторингу окружающей среды о высоких уровнях загрязнения водных объектов.

### Результаты исследования и их обсуждение

*Водопользование.* В 2017 г. всего из водных объектов на различные нужды водопользователями российской части бассейна было забрано 19,7 млн м<sup>3</sup> воды, основная доля – из Раковского водохранилища многолетнего регулирования с полезной емкостью 41,8 млн м<sup>3</sup>. Более 90% этого объема используется на территории Уссурийского ГО, так как там расположена большая часть производственных предприятий бассейна и основное население. Потери воды при транспортировке незначительны, менее 10%; объемы оборотного водоснабжения составили 13,6 млн м<sup>3</sup> (табл. 1).

Основные мощности очистных сооружений расположены в Уссурийском ГО, в 2017 г. они насчитывали 30,9 млн м<sup>3</sup>, что значительно превышает объемы сточных вод, требующих очистки, при этом нормативно очищенными было сброшено 91% обработанных сточных вод – 10,3 из 11,2 млн м<sup>3</sup>. В Надеждинском районе объемы сточных вод, требующих очистки, в 2 раза превышали мощность очистных сооружений, а эффективность самой очистки была низкой, вследствие чего без очистки и недостаточно очищенными сброшено 0,55 млн м<sup>3</sup> сточных вод. В Октябрьском районе мощность очистных сооружений также в 2 раза ниже объема загрязненных сточных вод, образующихся в результате деятельности водопользователей, и загрязненными сброшено 0,48 млн м<sup>3</sup> сточных вод.

Таблица 1

Показатели водопользования за 2017 г., млн м<sup>3</sup>

Территория	Использовано свежей воды			Потери при транспортировке	Оборотное водоснабжение	Сброс сточных вод всего	Объем сточных вод, требующих очистки	Мощность очистных сооружений
	Всего	в том числе на нужды						
		питьевые и хозяйственно-бытовые	производственные					
Уссурийский	16,9	14,1	2,71	0,77	13,6	11,5	11,3	30,9
Надеждинский	0,92	0,08	0,23	0,18	0,20	0,71	0,55	0,26
Октябрьский	1,12	1,06	0,06	0,08	0	1,35	0,51	0,22
всего	18,9	15,3	3	1,03	13,8	13,6	12,3	31,4

Таблица 2

Сброс загрязняющих веществ в составе сточных вод

Территория	БПК <sub>п</sub> , т	Нефть и нефтепродукты, т	СПАВ, кг	Жиры/масла, кг	Фенолы, кг	Al <sup>3+</sup> , кг	Fe, кг	Cu, кг	Zn, кг
2017 г.									
Октябрьский	35,6	0,19	1473	–	33,2	–	92,5	38	0,22
г. Уссурийск	345	0,56	984	265	9,62	22,2	1071	1,85	87,1
Надеждинский	68,9	0,19	225	–	1,2	–	220	0,37	0,08
Всего	450	0,94	2683	265	44,1	22,2	1383	40,2	87,4
2010 г.									
Всего	223	2,03	2476	1091	38,7	378	3953	35,3	360

Примечание: «–» – отсутствие.

Несмотря на то, что на российской части территории бассейна общая мощность очистных сооружений значительно превышает потребности в очистке загрязненных сточных вод, в водотоки сбрасывается большое количество загрязняющих веществ (ЗВ) (табл. 2). Большинство из них относятся к 3 и 4 классу опасности веществ (умеренно и малоопасные для человека согласно [2]). Сброс некоторых ЗВ, в частности нефтепродуктов, жиров, алюминия, железа и цинка, значительно снизился за период 2010–2017 гг. из-за сокращения производства или полного закрытия отдельных предприятий. Однако объемы сброса органических веществ, СПАВ, фенолов и меди увеличились, что может быть обусловлено ухудшением работы очистных сооружений из-за их возрастающего износа. Кроме указанных, в р. Раздольная сбрасываются также бор, марганец, нитраты, нитриты, азот аммонийный, сульфаты, хлориды.

Для отражения общей антропогенной нагрузки в результате сброса всего комплекса загрязняющих веществ использован условный расчетный показатель – индекс загрязнения стоков (ИЗС). Он представляет собой объем воды, требуемый для разбавления концентраций ЗВ в сточных водах до уровня нормативных значений (в данном случае использованы ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения). Величины ИЗС для Надеждинского, Октябрьского районов и Уссурийского ГО составляют 369, 503 и 2003 млн м<sup>3</sup> по данным за 2017 г. Самыми крупными загрязнителями бассейна являются предприятия г. Уссурийска – ЗАО УМЖК «Приморская соя» и ООО «Приморский сахар», имеющие собственные очистные сооружения, а также МУП Уссурийск-Водоканал. Весь объем сбрасываемых жиров связан с объ-

емами производства продукции и работой очистных сооружений предприятия «Приморская соя».

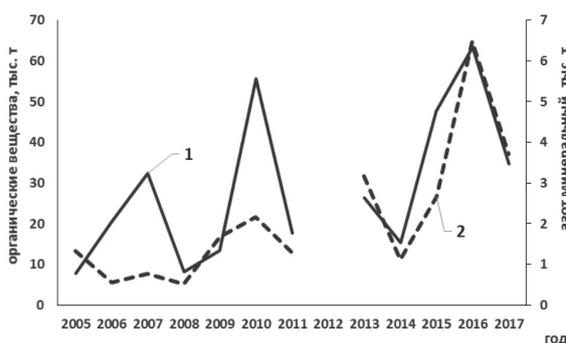
*Трансграничный перенос.* Значительная доля ЗВ привносится на территорию бассейна Раздольной с территории КНР. До 2009 г. в воде Раздольной в пункте мониторинга на границе РФ – КНР определялись дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ), один из самых опасных инсектицидов, и хлорорганический пестицид гексахлорциклогексан (ГХЦГ). Первый согласно требованиям к воде питьевого назначения [3] относится к веществам 2-го класса опасности, один из изомеров второго, гамма-ГХЦГ, – 1-го класса. Объемы привноса каждого из этих веществ в 2005–2011 гг. составляли 1–5 кг/год. Также со стоком Раздольной на территорию РФ поступают органические вещества, кремний, медь, железо, цинк, никель, хром, нефтепродукты, фенолы и др. [4]. Например, за период с 2005 по 2017 г. привнос цинка составлял от 13 до 121 т, нефтепродуктов – от 10 до 48 т в год (рис. 1), что превышает объемы этих ЗВ, сбрасываемые всеми зарегистрированными водопользователями Приморского края и тем более российской части бассейна (табл. 3).

Однозначной динамики привноса ЗВ со стоком с территории КНР нет: за период 2005–2017 гг. снизился объем нефтепродуктов – с 270 до 29 т, увеличились объемы органических веществ, азота и меди, все это происходило в период повышения стока реки (рис. 1).

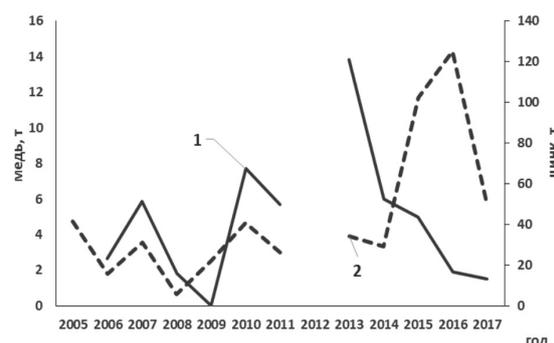
На фоне вышеописанной динамики сброса загрязняющих веществ российскими предприятиями и трансграничного их переноса качество вод р. Раздольная и ее притоков в местах контроля государственной наблюдательной сети Росгидромета, оцениваемое по комплексному показате-

лю – удельному комбинаторному индексу загрязнения вод (УКИЗВ), практически не улучшается. Одна из причин заключается в особенностях расчета этого индекса, учитывающего не только превышения фактических концентраций веществ в речной воде над нормативными их значениями, но и повторяемость этих превышений. Также имеет значение диффузное загрязнение с водосборной поверхности, которое не поддается контролю.

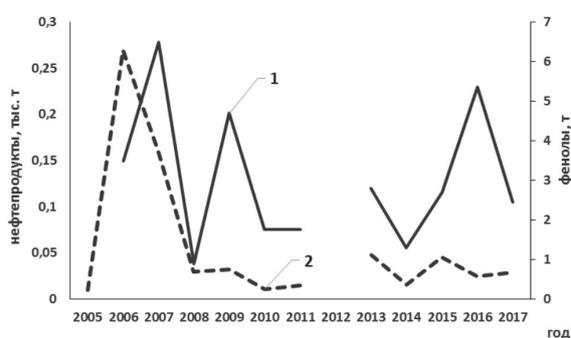
В конце 1980-х гг. качество воды в створах у с. Новогеоргиевка и в 2 км выше г. Уссурийска характеризовались согласно [5] классом качества 2 «слабо загрязненные», а в 0,5 км ниже города – классом 3 «загрязненные». В последние же более чем 10 лет качество воды здесь ухудшилось, а в реках Комаровка и Раковка вблизи устья оно остается стабильно низким, периодически достигая уровня «экстремально грязного» (табл. 4, рис. 2).



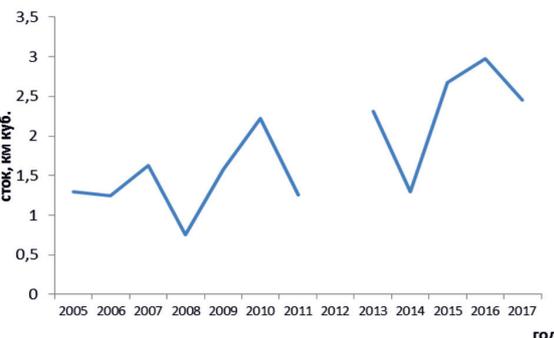
а) органические вещества (1) и минеральный азот (2), тыс. т



б) цинк (1) и медь (2), т



в) фенолы (1) и нефтепродукты (2), т



г) сток реки, км³

Рис. 1. Трансграничный перенос загрязняющих веществ на территорию Приморского края со стоком р. Раздольная (Составлено по: [4])

Таблица 3

Сброс загрязняющих веществ

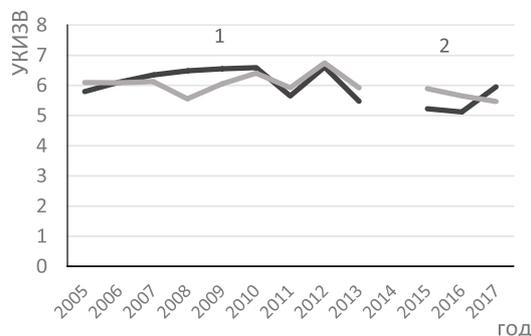
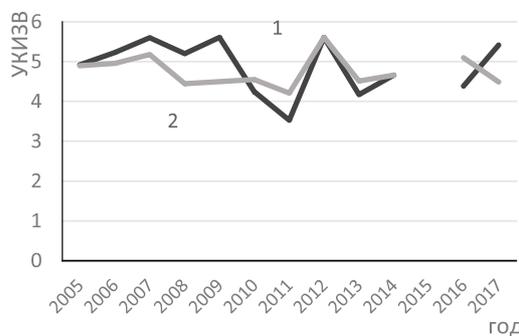
Вещества	С территории КНР	Уссурийский ГО	Приморский край
Органическое вещество по БПК <sub>полн</sub> , тыс. т	34,8	0,34	4,4
Нефтепродукты, т	29	0,56	49,4
Фенолы, т	2,45	0,01	0,78
Медь, т	5,64	1,85	0,47
Железо, т	769	1,07	35,5
Цинк, т	13,4	0,087	2,27

Таблица 4

## Разряды качества вод р. Раздольная

Река – створ/ гт.	1986–96	2006	2007	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
р. Раздольная – с. Новогеоргиевка	2–4	4б	3б	4а	4а	4а	4б	4б	4а	4б	4а
р. Раздольная – г. Уссурийск (выше 2 км)	2–4	4а	4а	4а	4а	4а	3б	4б	4б	4а	4а
р. Раздольная – г. Уссурийск (ниже 0,5 км)	3–4	4б	5	4г	4а	5	4а	4б	4б	4а	4б
р. Раздольная – с. Тереховка	3–4	4б	4в	4б	4а	4в	4а	4б	4б	4б	4а
р. Раковка – 0,05 км выше устья	3–5	5	5	4г	4в	5	4а	5	5	4	4
р. Комаровка – 0,5 км выше устья	4–5	5	4г	5	4в	5	4б	5	4б	4б	4в

Примечание. Источник: составлено по [1, 6].



а) р. Раздольная – г. Уссурийск 0,5 км ниже сброса ГОС (1); р. Раздольная – г. Уссурийск 20 км ниже города в черте Тереховка (2)

б) р. Комаровка – г. Уссурийск 0,5 км выше устья (1); р. Раковка – г. Уссурийск 0,05 км выше устья (2)

Рис. 2. Качество вод в бассейне р. Раздольная по УКИЗВ

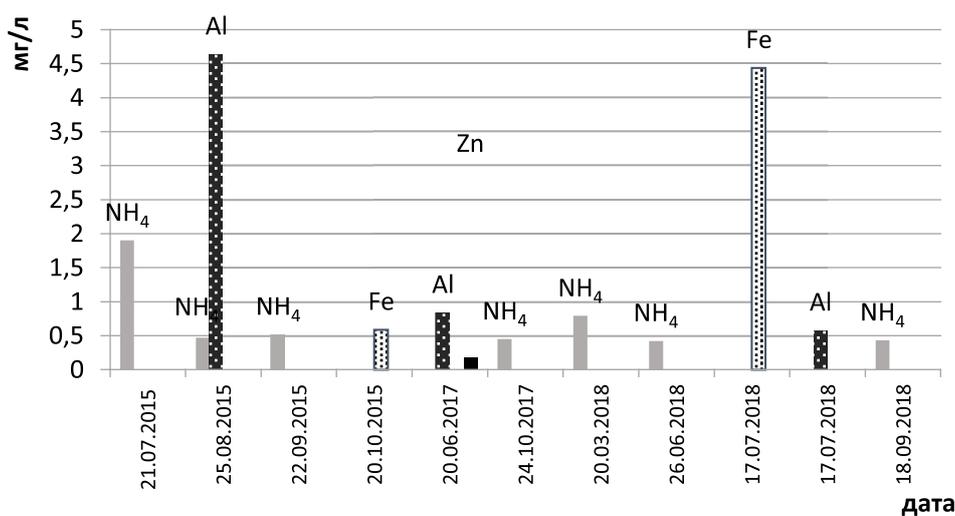


Рис. 3. Уровни высокого загрязнения в р. Раздольная – г. Уссурийск, 500 м ниже сброса канализационных очистных сооружений (КОС)

Каждый год в указанных створах наблюдается высокий уровень загрязнения отдельными веществами, в частности в створе р. Раздольная – г. Уссурийск ниже выпуска сточных вод городских канализационных очистных сооружений (КОС) регистрируются загрязнения азотом нитритным на уровне 21–95 ПДК, алюминием – 14–116 ПДК, железом – 6–44 ПДК и цинком 18 ПДК (рис. 3).

На протяжении многих лет реки Раздольная и ее притоки Комаровка и Раковка входят в краевой перечень водных объектов, требующих первоочередного осуществления водоохраных мероприятий [6].

### Выводы

Объемы трансграничного переноса ЗВ с территории КНР со стоком р. Раздольная по большинству веществ выше, чем объем загрязняющих веществ, сбрасываемых водопользователями всего Приморского края и тем более предприятиями на российской части бассейна реки, кроме того, по отдельным веществам за период с 2005 г. эти объемы растут. Однако в створах выше г. Уссурийска и у Новогеоргиевки на границе РФ – КНР такого загрязнения как ниже сброса КОС Уссурийска, а также в р. Комаровка и Раковка не наблюдается, так как самоочищающая способность реки на участке от границы РФ – КНР до г. Уссурийска позволяет нейтрализовать загрязнение. На российской части бассейна в 2017 г. в сравнении с 2010 г. наблюдается рост точечных сбросов легкоокисляемых органических веществ, СПАВ, фенолов и меди. На этом фоне качество вод р. Раздольная в створах 0,5 км ниже г. Уссурийска, у с. Тереховка,

а также притоков Комаровка и Раковка за последние более чем 10 лет не улучшилось.

### Список литературы / References

1. Тарасов В.И., Качур А.Н., Сидоренко А.В. Комплексная экодиагностика трансграничной территории (на примере бассейна реки Раздольной). Владивосток: Дальнаука, 2008. 210 с.
2. Tarasov V.I., Kachur A.N., Sidorenko A.V. Integrated environmental diagnostics of a transboundary territory (using the Razdolnaya River Basin as an example). Vladivostok: Dalnauka, 2008. 210 p. (in Russian).
3. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. ГН 2.1.5.1315-03. М.: Минздрав РФ. 2003. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901862249> (дата обращения: 23.04.2019).
4. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. СанПиН 2.1.4.1074-01. М.: Минздрав России. 2002. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901798042> (дата обращения: 04.03.2019).
5. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2007–2017 годы. М.: Росгидромет, 2018. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/90> (дата обращения: 15.01.2019).
6. Overview of the current state and pollution of environment in the Russian Federation for 2005–2017. М.: Roshydromet, 2018. [Electronic resource]. URL: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/90> (дата обращения: 15.01.2019). (in Russian).
7. РД 52.24.643-2002. Руководящий документ. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293831/4293831806.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).
8. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2009–2017 гг. Владивосток. [Электронный ресурс]. URL: <https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/environment/report-on-the-environmental-situation-1.php> (дата обращения: 11.02.2019).
9. Report on the environmental situation in Primorsky Krai in 2009 – 2017. Vladivostok. [Electronic resource]. URL: <https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/environment/report-on-the-environmental-situation-1.php>. (date of access: 11.02.2019) (in Russian).

УДК 550.34(571.642)

**АНАЛИЗ СИСТЕМНОГО ЕДИНСТВА СОВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ  
КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ И ОСТРОВА САХАЛИН  
НА ОСНОВЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ****Гусева И.С., Архипова Е.В.***Государственный университет «Дубна», Дубна, e-mail: gusewa.irin2011@yandex.ru*

Современный Дальний Восток России является регионом приоритетного освоения и развития, где планируется масштабное строительство. Вместе с тем указанный регион отличается повышенным уровнем сейсмичности, в прошлом имеются случаи довольно катастрофических сейсмических событий. Особый интерес представляют районы полуострова Камчатки, Курильских островов и Сахалина, являющиеся островными дугами Тихоокеанской окраины. Высокая сейсмичность в районе Курило-Камчатской островной дуги и о. Сахалин связана с тем, что эти регионы расположены в зоне субдукции Тихоокеанской и Северо-Американской литосферных плит под континентальную литосферу Евразии. Сейсмическая активность в пределах рассматриваемой области неоднородна по глубине, есть участки с большей плотностью гипоцентров землетрясений. В статье проанализирован и сопоставлен временной режим сейсмической активности Курил, Камчатки и Сахалина с 1973 по 2018 гг. В связи с неоднородностью в распределении гипоцентров землетрясений по глубине временной ход сейсмичности рассмотрен в пределах верхней и нижней коры в интервалах глубин с высокой концентрацией гипоцентров. Для анализа временного хода сейсмической активности составлены выборки сейсмических событий перечисленных регионов. Анализ проведён на нескольких масштабах временного осреднения – рассчитаны временные ряды годовых сумм, а также годовых сумм со скользящей пятилетней и десятилетней средней, к ним построены соответствующие графики временных вариаций сейсмичности. Для временных рядов выполнена парная корреляция и на основе полученных данных сформулированы выводы о системном единстве современного развития Курило-Камчатской островной дуги и о. Сахалин.

**Ключевые слова:** Курило-Камчатская островная дуга, Сахалин, сейсмическая активность, субдукция**THE ANALYSIS OF SYSTEMIC UNITY OF MODERN DEVELOPMENT  
OF THE KURIL-KAMCHATKA ISLAND ARC AND SAKHALIN ISLAND  
ON THE BASIS OF SEISMOLOGICAL DATA****Guseva I.S., Arkhipova E.V.***State University Dubna, Dubna, e-mail: gusewa.irin2011@yandex.ru*

Modern Far East of the Russian are region of priority exploration and development, where large-scale building is planned. However, this region is characterized by an increased level of seismicity, in the past there are cases of quite catastrophic seismic events. The areas of Kamchatka Peninsula, Kuril Islands and Sakhalin Island, which are the island arcs of the Pacific rim, are of special interest. High seismicity in the area of the Kuril-Kamchatka island arc and Sakhalin Island is related to the fact that these regions are located in the subduction zone of the Pacific and North American lithospheric plates under the continental lithosphere of Eurasia. Seismic activity within the considered area is heterogeneous in depth, there are areas with higher density of earthquake hypocenters. The time regime of seismic activity of the Kuriles, Kamchatka and Sakhalin from 1973 to 2018 is analyzed and compared in the article. Due to the heterogeneity in the distribution of earthquake hypocenters over depth, the time course of seismicity is considered within the upper and lower crust in the depth intervals with a high concentration of hypocenters. For the analysis of time regime of seismic activity the samples of seismic events of the listed regions are made. The analysis is carried out on several scales of time averaging – the time series of annual amounts, as well as annual amounts with a moving five-year and ten-year average are calculated, the corresponding graphs of time variations of seismicity are constructed. For calculated time series pair correlation was carried out. On the basis the obtained data the conclusions about the systemic unity of the modern development of the Kuril-Kamchatka island arc and Sakhalin island were formulated.

**Keywords:** Kuril-Kamchatka island arc, Sakhalin, seismic activity, subduction

Интенсивное социально-экономическое развитие Дальнего Востока является одним из главных приоритетов России на ближайшие десятилетия [1]. Вместе с тем этот макрорегион отличается высоким уровнем сейсмической опасности, связанным с его приуроченностью к зоне субдукции Тихоокеанского подвижного пояса, и потому проявления сейсмической активности, по сути, являются отголосками современного развития этой тектонической мегаструктуры.

Сейсмоактивные области Дальнего Востока расположены во внутреннем обрамлении Охотской плиты. Высокая сейсмичность на границах плиты обусловлена ее расположением в зоне контакта трёх литосферных плит – Евразийской, Североамериканской и Тихоокеанской (рис. 1) [2]. Плита ограничена глубинными разломами в основном сдвигами, а на юго-востоке – современной субдукционной зоной.

Курило-Камчатская зона субдукции является одним из наиболее сейсмоактивных регионов северо-восточной Евразии, где скорость пододвигания Тихоокеанской литосферной плиты под Североамериканскую и Охотскую плиты достигает 8 см/год. Взаимодействие литосферных плит сопровождается тектоническими деформациями, которые проявляются как на границе плит, так и в её окрестностях [3]. Наиболее высокая активность землетрясений проявляется вдоль Курильской островной дуги, подавляющее большинство землетрясений приурочено к глубинам до 100–150 км и с максимумом сейсмической активности на глубинах около 30–40 км. Высокий уровень сейсмичности в районе Курильских островов подтверждает многолетняя статистика зарегистрированных землетрясений. В среднем каждые трое суток здесь происходит землетрясение с магнитудой  $M = 4.0$ . Повторяемость событий большей магнитуды такова: примерно раз в месяц для  $M = 5.0$ , раз в полгода – для  $M = 6.0$ , раз в 2 года – для  $M = 7.0$ . В среднем, каждые 10 лет здесь случаются катастрофические землетрясения с  $M = 8.0$  и более [4].



Рис. 1. Схема взаимодействия литосферных плит Дальневосточной окраины России. Сплошными линиями показаны границы плит, зубчатой линией – граница вдоль зоны субдукции, стрелки показывают направление и скорость движения литосферных плит в см/г

Тектонические структуры о. Сахалин приурочены к северной меридиональной ветви Сахалино-Японской островной дуги,

и сейсмичность о. Сахалин связана главным образом с субмеридиональными глубинными разломами, отделяющими Охотскую литосферную плиту от Евразийской. Движение этих плит друг относительно друга, а также развитие спрединговых процессов в рифтовой структуре Татарского пролива сопровождается активными проявлениями сейсмичности [5]. На о. Сахалин очаги мелкофокусных землетрясений сосредоточены в коре на глубинах от 0 до 35 км. Глубокофокусные землетрясения на глубинах от 250 до 650 км приурочены к Курильской сейсмофокальной зоне и не представляют значимой сейсмической опасности. По сравнению с Курильским районом сейсмичность Сахалина носит более умеренный характер. Основную опасность представляют землетрясения, с  $M \sim 5$  и более, которые, как правило, приурочены к основным активным разломным зонам: Ребун-Монеронской, Западно-Сахалинской, Центрально-Сахалинской и Северо-Сахалинской [4].

Тектонически активные структуры Дальневосточного региона обнаруживают себя активной сейсмичностью, которая, по существу, отражает периоды ослабления и усиления активности геодинамических процессов. При этом активность землетрясений в объемах литосферы, которые находятся под влиянием единых процессов, изменяется сходным образом. С тем, чтобы выявить геодинамически связанные сейсмоактивные уровни для всех трех выделенных районов, включая п-в Камчатка, Курильские о-ва и о. Сахалин, выполнен анализ временных рядов сейсмичности с 1973 по 2018 гг. Исследование взаимосвязи проявлений сейсмичности и современных геодинамических процессов в пределах Курило-Камчатской островной дуги и о. Сахалин позволяет лучше понять современное сейсмогеодинамическое развитие этих регионов, в будущем более точно прогнозировать периоды сейсмической активизации и, возможно, влиять на их естественный ход с целью уменьшения катастрофических последствий сейсмических событий высокой интенсивности.

Отмечено, что долговременные вариации числа сейсмических событий Дальневосточного региона обнаруживают корреляционные связи, подтверждающие их системное единство с другими тектонически активными территориями Тихоокеанского подвижного пояса [6, 7]. Особенностью предлагаемой работы является использование актуальных данных по сейсмичности за последние 2015–2018 гг. [8], а также расчет

временных рядов количества сейсмических событий для уровней высокой концентрации очагов землетрясений в пределах верхней и нижней коры [2, 5].

Цель исследования: анализ временного хода сейсмической активности в пределах Курило-Камчатской островной дуги и о. Сахалин на сейсмически активных уровнях за период с 1973 по 2018 г. и выявление их возможной взаимосвязи на основе парной корреляции временных рядов, отражающих долговременные вариации количества землетрясений.

### Материалы и методы исследования

Анализ возможной взаимосвязи временных вариаций сейсмичности для различных сейсмоактивных горизонтов литосферы проводился с использованием сейсмологических данных каталога Геологической службы США (USGS) [8]. На начальном этапе для п-ва Камчатка, Курильских о-вов и о. Сахалин сформированы исходные выборки землетрясений, произошедших с 1973 по 2018 г., далее на их основе проводился анализ распределения очагов по глубине, формировались выборки для отдельных наиболее активных горизонтов земной коры, с помощью графиков повторяемости оценивалась минимальная магнитуда выборок, выполнялся расчет временных рядов и их корреляционное сопоставление.

Основной объём выборок сейсмоактивных горизонтов составили сейсмические события средней силы, начиная с  $M$  от 4,5. Такие события достаточно многочисленны, уверенно регистрируются с самого начала периода наблюдений и, по мнению авторов, наиболее точно отражают режим и характер современных геодинамических процессов на рассматриваемых интервалах времени.

На основе выборок выделены уровни с максимальной концентрацией очагов землетрясений в пределах верхней и нижней коры, на каждом из уровней прослежены вариации количества землетрясений во времени. Для верхне- и нижнекорового сейсмоактивных уровней с 10 до 15 км и с 30 до 35 км в каждом районе рассчитаны временные ряды годовых сумм, ряды годовых сумм со скользящим осреднением по пяти годам и сдвигом в 1 год, ряды годовых сумм со скользящим осреднением по десяти годам и сдвигом в 1 год. Для временных рядов выполнена парная корреляция временных рядов всех сейсмоактивных областей.

### Результаты исследования и их обсуждение

При сопоставления графиков годовых сумм числа землетрясений верхней коры выяснилось, что наибольшее число верхнекоровых землетрясений характерно для Курильских островов. Последнее связано с наличием здесь сейсмофокальной зоны, которая отличается максимальной сейсмической активностью. Наиболее высокой верхнекоровой активностью за весь период наблюдений характеризуется 2007 г., а 1996 г. отличается максимальным числом нижнекоровых землетрясений для всего Курило-Камчатского региона и о. Сахалин (рис. 2). Стоит отметить, что активизация сейсмичности Курильских о-вов и п-ва Камчатка на глубинах 30–35 км, происходит практически одновременно. При этом оба региона характеризуются близким числом сейсмических событий за период с 1973 по 2018 гг. в отличие от о. Сахалин, в пределах которого число нижнекоровых землетрясений значительно ниже. Последнее объясняется тем, что Курилы и Камчатка объединены в пределах Курило-Камчатской островной дуги – единой мегаструктуры, которая обособлена в пределах Тихоокеанского подвижного пояса и представляет собой один из наиболее сейсмоактивных регионов северо-западной Пацифики. Сходство временного хода сейсмичности Камчатского и Курильского сегментов дуги подтверждается высокими коэффициентами корреляции временных рядов на отдельных глубинных уровнях.

Временные ряды годовых сумм числа землетрясений со скользящим осреднением по пяти годам еще более отчетливо отражают ту же тенденцию сходства временных вариаций сейсмичности рассматриваемого Курильского и Камчатского сегментов Курило-Камчатской дуги. Во всех трёх сейсмоактивных районах отмечается резкое увеличение числа верхнекоровых землетрясений в интервале с 2000–2013 гг. Далее же после незначительного спада наблюдается дальнейший рост сейсмической активности, однако на Камчатке он более резкий, нежели в двух других районах. Для всех районов корреляционный анализ отражает почти синхронное изменение сейсмичности на уровнях 10–15 км – положительная корреляция с коэффициентом более 0,5 прослеживается для сейсмоактивных уровней верхней коры всех трёх районов. Высокая положительная корреляция числа сейсмических событий на уровне 30–35 км также очевидна для всех районов (рис. 3).

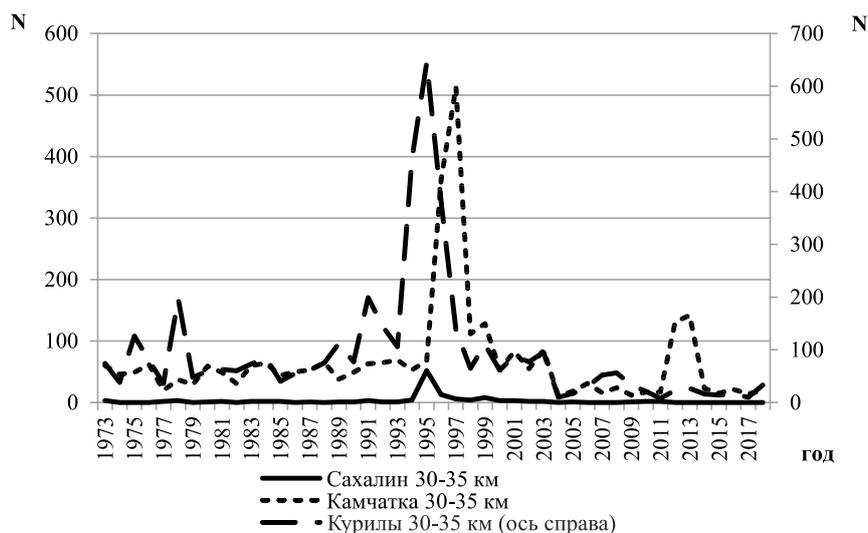


Рис. 2. Годовые суммы числа землетрясений нижней коры

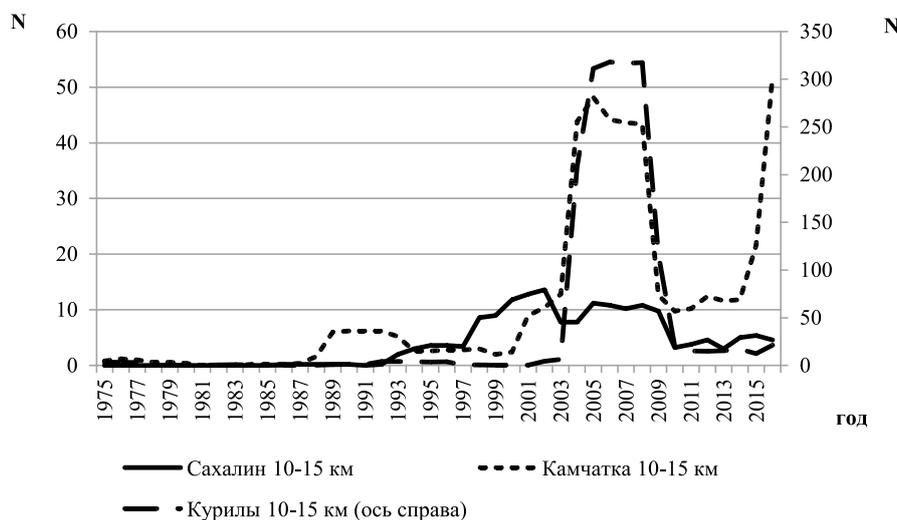


Рис. 3. Годовые суммы числа землетрясений верхней коры со скользящим осреднением по пяти годам (сдвиг 1 год)

Скользящее осреднение временных рядов годовых сумм по 10 годам позволяет ещё более сгладить годовые вариации сейсмичности и увидеть общие тенденции хода землетрясений для активных уровней верхней и нижней коры трех выделенных районов. Верхнекоровая сейсмичность имеет тенденцию к активизации во всех трёх районах, начиная с 2000-х гг. Общий ход нижнекоровой сейсмичности Камчатки, Курил и Сахалина отражает активизацию начиная с 1990-х гг., которая постепенно возрастает до 2000 г., а затем медленно снижается. Корреляционная таблица для временных рядов со скользящим осреднением по 10 гг.

отражает весьма высокую положительную корреляцию на одинаковых уровнях в пределах верхней и нижней коры (таблица).

**Выводы**

1. Высокие коэффициенты корреляции временных рядов для сейсмоактивных горизонтов на одинаковых уровнях подтверждают сходство тенденций в изменении сейсмичности во всех трёх рассматриваемых районах Дальнего Востока и являются свидетельством системного единства современного развития отдельных сегментов Курило-Камчатской островной дуги и о. Сахалин.

Корреляция годовых сумм числа землетрясений на сейсмоактивных уровнях верхней и нижней коры со скользящим осреднением по 10 годам, сдвиг 1 год

	о. Сахалин 10–15 км	о. Сахалин 30–35 км	Курильские о-ва 10–15 км	Курильские о-ва 30–35 км	п-ов Камчатка 10–15 км	п-ов Камчатка 30–35 км
о. Сахалин 10–15 км		0,10	0,74	–0,17	0,76	0,14
о. Сахалин 30–35 км	0,10		–0,39	0,94	–0,35	0,92
Курильские о-ва 10–15 км	0,74	–0,39		–0,54	0,91	–0,40
Курильские о-ва 30–35 км	–0,17	0,94	–0,54		–0,54	0,84
п-ов Камчатка 10–15 км	0,76	–0,35	0,91	–0,54		–0,34
п-ов Камчатка 30–35 км	0,14	0,92	–0,40	0,84	–0,34	

2. Временные ряды годовых сумм землетрясений позволяют увидеть частные особенности изменений сейсмичности отдельных сейсмоактивных районов Дальнего Востока, в то время как скользящее осреднение по 5 и 10 годам со сдвигом в 1 год дает возможность оценить более общие тенденции временного хода сейсмичности.

3. Существуют различия в изменении активизации верхнекоревой и нижнекоревой сейсмичности отдельных сейсмоактивных районов Дальнего Востока: верхнекоревая возрастает в период после 2000-х гг., тогда как нижнекоревая активизируется в 1990-е гг.

4. Системное единство изменений сейсмичности на одинаковых уровнях глубины подтверждает наличие доминирующего геодинамического процесса, которым является в регионе субдукция океанической коры Североамериканской и Тихоокеанской плит под Курило-Камчатскую и Сахалино-Японскую островные дуги.

#### Список литературы / References

1. Федеральная целевая программа «Экономическое и социальное развитие Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 года». [Электронный ресурс]. URL: <https://urexpert.online/wp-content/uploads/2017/03/DVBR2025.pdf> (дата обращения: 31.05.2019).

Federal Target Program «Economic and social development of the Far East and the Baikal region for the period up to 2025». [Electronic resource]. URL: <https://urexpert.online/wp-content/uploads/2017/03/DVBR2025.pdf> (date of access: 18.02.2019) (in Russian).

2. Родников А.Г., Забаринская Л.П., Пийп В.Б., Рашидов В.А., Сергеева Н.А., Филатова Н.И. Геотраверс региона Охотского моря // Вестник КРАУНЦ. Серия «Науки о Земле». 2005. № 5. С. 45–58.

Rodnikov A.G., Zabarinskaya L.P., Piip V.B., Rashidov V.A., Sergeeva N.A., Filatova N.I. Geotravers of the region of the Okhotsk sea // Vestnik KRAUNTS. Series «Earth Sciences». 2005. № 5. P. 45–58 (in Russian).

3. Прытков А.С., Василенко Н.Ф., Фролов Д.И. Современная геодинамика Курильской зоны субдукции // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36. № 1. С. 23–28.

Prytkov A.S., Vasilenko N.F., Frolov D.I. Recent geodynamics of the Kuril subduction zone // Russian Journal of Pacific Geology. 2017. V. 11. № 1. P. 19–24. DOI: 10.1134/S1819714017010067.

4. Тихонов И.Н., Левин Б.В. Прогноз сильных землетрясений Сахалинской области: история, результаты и перспективы // Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска: сб. материалов Всероссийской научной конференции с международным участием. В 2-х т. под ред. Б.В. Левина, О.Н. Лихачевой. Т. 1. Южно-Сахалинск: Дальнаука, 2015. С. 41–45.

Tikhonov I.N., Levin B.V. Prediction of strong earthquakes in the Sakhalin region: history, results and prospects // Geodynamic processes and natural disasters. Experience OfNeftegorsk: collection of materials of the all-Russian conference with international participation. In 2 volumes edited by B.V. Levin, O.N. Likhacheva. T. 1. Yuzhno-Sakhalinsk: Dalnauka, 2015. P. 41–45 (in Russian).

5. Архипова Е.В., Жигалин А.Д., Гусева И.С. Временные вариации сейсмичности как индикатор системного сейсмогеодинамического развития регионов Восточной Сибири и Дальнего Востока // Вестник Международного университета природы, общества и человека «Дубна». 2016. № 1 (33). С. 3–11.

Arkipova E.V., Zhigalin A.D., Guseva I.S. Temporary variations of seismicity as an indicator of the systemic seismic-geodynamic development of the regions of Eastern Siberia and the Far East // Bulletin of the International University of Nature, Society and Man «Dubna». 2016. № 1 (33). P. 3–11 (in Russian).

6. Родников А.Г., Забаринская Л.П., Рашидов В.А., Сергеева Н.А. Геодинамические модели глубинного строения регионов природных катастроф активных континентальных окраин. М.: Научный мир, 2014. 172 с.

Rodnikov A.G., Zabarinskaya L.P., Rashidov V.A., Sergeeva N.A. Geodynamic models of regions deep structure of active continental margins natural disasters. M.: Nauchnyj mir, 2014. 172 p. (in Russian).

7. Архипова Е.В., Жигалин А.Д. Системное взаимодействие оболочек литосферы Тихоокеанского активного пояса // Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии: сборник материалов L Тектонического совещания. Т. 1. М.: ГЕОС, 2018. С. 18–22.

Arkipova E.V., Zhigalin A.D. System interaction of the shells of the lithosphere of the Pacific active belt // Problems of tectonics and geodynamics of the Earth's crust and mantle: collection materials L Tectonic meeting. Volume 1. M.: GEOS, 2018. P. 18–22 (in Russian).

8. USGS Catalog of Geological survey of the USA [Electronic resource]. URL: <http://earthquake.usgs.gov> (date of access: 18.02.2019).

УДК 911.2(571.51)

**ДИНАМИКА ФИТОМАССЫ РАЗНОТРАВНО-ОСОКОВО-ЛУГОВО-БОЛОТНОГО СООБЩЕСТВА НАЗАРОВСКОЙ КОТЛОВИНЫ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ И ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ЕЕ ЗАПАС****Дубынина С.С.***Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: Dubynina@irigs.irk.ru*

В статье на основе многолетних наблюдений уделено особое внимание продуктивности лугово-болотных сообществ Назаровской котловины Шарыповского района Красноярского края (участок «Отножка»). Луговые сообщества представляют основное хранилище растительного покрова Назаровской котловины. Травяные низинные болота складываются за счет поверхностного стока, образующегося главным образом за счет осенне-зимних атмосферных осадков с высокоэрозивно-осоковой закочкареной заустаренной лугово-болотной почвой. Выбор участка исследования обусловлен особенностями ландшафтной структуры и позволяет изучить запасы фитомассы. Для достижения поставленной цели проведен сбор и анализ данных материалов о составе и состоянии почвенно-растительного покрова. Выявлены закономерности природных режимов, характеризующих сезонную динамику запасов надземной массы, обусловленную метеорологическими показателями (тепла и влаги). Изучена многолетняя динамика накопления надземной и подземной массы. Установлены значительные изменения показателей общего растительного вещества фитомассы в разнотравно-осоково-лугово-болотном сообществе низинных поверхностей, т.е. в днище пади временного пересыхания водотока ручья «Отножки». Запасы фитомассы под влиянием погодных условий накладывают существенный отпечаток на ход изменений луговых сообществ не только в течение вегетационного сезона, но подвержены непрерывным изменениям по годам. Рассмотрены пространственно-временные модели динамики запасов фитомассы лугово-болотного сообщества, по которым можно судить об изменении темпов нарастания растительного вещества. Во-первых, зависящих от количества выпавших осадков и, во-вторых, от распределения их по сезону: от весны к лету и от лета к осени на изучаемом лесостепном участке «Отножка» Шарыповского района Назаровской котловины.

**Ключевые слова:** Назаровская котловина, Шарыповский район, микроклимат, продуктивность, растительный покров, запасы фитомассы

**DYNAMICS OF THE BIOMASS OF FORB-SEDGE MEADOW-BOG COMMUNITIES NAZAROVSKAYA BASIN OF KRASNOYARSK KRAI, AND THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON ITS SUPPLY****Dubynina S.S.***Institute of geography V.I. Sochavy, Irkutsk, e-mail: Dubynina@irigs.irk.ru*

The article based on years of observation, we paid special attention to the productivity loughborough communities Nazarovskaya basin of Sharypovsky district of Krasnoyarsk Krai (the land Otnojka). Meadow communities are the primary location of vegetation Nazarovskaya basin. Herbal fens are formed due to the surface runoff formed mainly at the expense of autumn and winter precipitation with vysokorazvityh-zamochennoy bushy sedge meadow-marsh soil. The choice of the study area is due to the peculiarities of the landscape structure and allows to study the reserves of phytomass. To achieve this goal, the collection and analysis of data on the composition and condition of the soil and vegetation cover. The regularities of natural regimes characterizing the seasonal dynamics of the above-ground mass reserves due to meteorological parameters (heat and moisture) are revealed. The long-term dynamics of accumulation of above-ground and underground mass is studied. Significant change in the overall plant matter biomass in mixed grass-sedge-meadow marsh community low-lying surfaces, i.e. the bottom of the PADI temporary drying out of the watercourse of the Creek Otnojka. Stocks of phytomass under the influence of weather conditions have a significant impact on the course of changes in meadow communities not only during the growing season, but are subject to continuous changes over the years. Considered spatio-temporal model for the dynamics of the reserves of phytomass of the meadow-bog communities, which can judge about the change in the rate of growth of vegetable substances. First, depending on the amount of precipitation and secondly, on their distribution by season: from spring to summer and from summer to autumn in the studied forest-steppe area the land Otnojka of Sharypovsky district of the Nazarovskaya basin.

**Keywords:** Nazarovskaya basin, Sharypovskiy district, microclimate, productivity and plant cover, the reserves of phytomass

Продуктивность фитомассы луговых сообществ выявляется в особенностях размещения в пространстве и во времени надземных и подземных органов растений. Исследуемые луговые сообщества отличаются друг от друга по составу и состоянию почвенно-растительного покрытия, а также по условиям их местоположения. Для

оценки состояния луговых растительных сообществ наиболее эффективен принцип комплексных стационарных физико-географических исследований на репрезентативных участках территории. Объектом исследования является днище лога ручья Отножка, который расположен в пределах Шарыповского района в юго-западной ча-

сти Назаровской котловины. Назаровский природный округ относится к лесостепному поясу со слабоувалисто-равнинной поверхностью, где преобладают фации низинной группы болотного типа [1].

Цель работы заключается в изучении динамики фитомассы лугово-болотного сообщества в пределах Шарыповского района Назаровской котловины и влияние экологических условий на запасы фитомассы, исследуемого участка. Актуальность и практическая значимость работы обусловлена тем, что территория исследования входит в зону интенсивного сельскохозяйственного использования. В последние десятилетия в регионе наблюдаются процессы изменения климата, что отражается на видовом составе и продуктивности растительности. Лугово-болотные комплексы естественных ландшафтов на территории исследования слабо изучены. Детально исследованы степи соседней территории, которые Н.И. Базилевич [2] относил к зонам настоящих умеренно засушливых степей северного типа и засушливых степей южного типа.

#### Материалы и методы исследования

В связи с высокой степенью освоенности Назаровской котловины исследования на этой территории проводились в сообществах, находящихся в условно-естественных условиях, которые развиваются главным образом под влиянием природных факторов. Биологическая продуктивность луговых сообществ изучалась с 1981 г. и описана ранее в работах [3]. Продолжая стационарные наблюдения за продуктивностью фитомассы лугово-болотных сообществ, можно изучить основные топологические связи сообществ и познать закономерности природных режимов наземной массы за ве-

гетационный период на основе климатических условий. Климат Шарыповского района проявляется в резких колебаниях суточных и сезонных температур, при неравномерном распределении атмосферных осадков в течение года. Разность в абсолютных температурах в течение года составляет  $85^{\circ}$ . Гидротермическая характеристика климата показана на рис. 1.

Вегетационный период начинается в первой половине апреля, а завершается во второй половине октября. Лето обычно сухое и жаркое, но в некоторые годы бывает сырым и прохладным. Самая низкая годовая температура воздуха отмечена в 1985 г. ( $-1,7^{\circ}\text{C}$ ), а самая высокая в 1995 и 2015 гг. (до  $3,5^{\circ}\text{C}$ ). Среднегодовая сумма осадков за 38 лет составляет 459 мм. Максимум осадков выпало в 1987, 1996, 2002 гг.

Для оценки биологической продуктивности используются данные по запасам живых надземных и подземных органов растений на единицу площади ( $\text{г}/\text{м}^2$ ). Для общего количества фитомассы и ее составных частей применяем понятие «структура растительного вещества». Оно включает запасы всех компонентов и соотношение этих запасов: зеленой массы (G), ветоши (D), подстилки (L). Ветошь и подстилка образует мортмассу (D + L), а вместе с зеленью – надземное растительное вещество (G + D + L). Подземная растительная масса (R + V) состоит из живых (R) и отмерших корней (V). Определение этих показателей проводилось общепринятыми методами [3, 4]. Надземная масса растений учитывалась на площадках в  $0,25 \text{ м}^2$  методом укосов. Подземная масса определялась в слое 0–20–30 см, так как основная активная и продуктивная масса корней сосредоточена именно в этом слое.

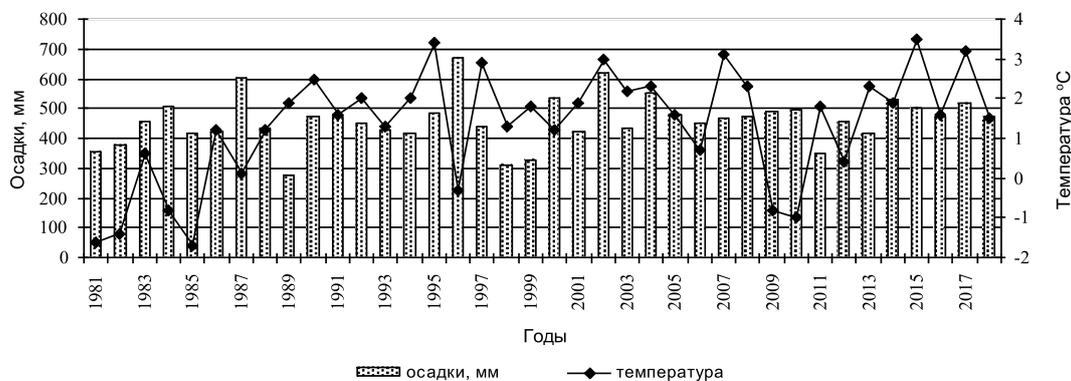


Рис. 1. Характеристика метеорологических условий для Шарыповского района Красноярского края (по данным метеостанции г. Шарыпово)

Характеристика растительных сообществ (участок Отножка)

Показатель	Условно-естественное сообщество с высоко разнотравно-осоковой закочкаренной закустаренной лугово-болотной растительностью
Местоположение	Низинное болото влажного современного луга занимает аккумулятивное положение
Почва	Лугово-торфянисто-болотная осолодевшая солончаковая почва с мощной дерниной содержит значительное количество илистых частиц
Видовой состав	Лабазник вязолистный – <i>Filipendula ulmaris</i> L. Maxim, чемерица Лобеля – <i>Veratrum labelianum</i> Bernh, крапива двудомная – <i>Urtica dioica</i> L., бодяк щетинистый – <i>Cirsium sttosum</i> (Willd.), сабельник болотный – <i>Comarum palustre</i> L., вербейник обыкновенный – <i>Lysimachia vulgaris</i> L., хвощ луговой – <i>Equisetum pretense</i> Ehrh., чина луговая – <i>Lathyrus pratensis</i> L., осот полевой, желтый – <i>Sonchus arvensis</i> L., вейник Лангсдорфа – <i>Calamagrostis lagsdorffii</i> (Link) Tzvel., тимофеевка луговая – <i>Phleum pretense</i> L., осока дернистая – <i>Carex caespitosa</i> L.
Проективное покрытие, %	60–80
Высота травостоя, см	От 10 до 200

Объектом детальных исследований является (участок «Отножка») травяное низинное болото с лугово-болотной растительностью (таблица).

Для луговых растительных сообществ с высокотравно-осоковым закустаренным закочкаренным покровом большое участие принимают представители разнотравья, доминанты: *Filipendula ulmaris*, *Veratrum labelianum*, *Urtica dioica*, а также доминируют злаки: *Calamagrostis lagsdorffii*, *Phleum pretense* и на кочках – *Carex caespitosa*. В целом травяные низинные болота, относящиеся к Южно-Сибирской лесостепной территории, занимают водораздельные поверхности. Эти типы и виды болот питаются не только атмосферными осадками, но речными и грунтовыми водами (ручья Отножка). Они часто испытывают переувлажнения почвы в зависимости от высоких температур воздуха и малых осадков, что отрицательно сказывается на жизнедеятельности видов растений и ведет к снижению массы их основных видов и к снижению продуктивности фитомассы.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Наши результаты указывают на различия параметров надземной и подземной массы в многолетнем ряду. Каждый исследуемый год своеобразен по метеорологическим условиям. Чередование сухих и влажных лет вносит существенные изменения в накопление фитомассы. Запас надземной массы (G + D + L) в травяном болотном сообществе максимум приходился на 1995 г. – 1909, минимум в 2004 г. – 522 г/м<sup>2</sup>. Средняя

величина надземной массы за 1981–2014 гг. достигала 1184 г/м<sup>2</sup> (рис. 2).

Подземная масса (R + V) в среднем за 1981–2014 гг. достигала 3540 г/м<sup>2</sup>. Самыми высокими данными (R + V) в высокотравно-осоковом сообществе было в 1981 г. – 5175 г/м<sup>2</sup>, которые на 74 % образуются за счет мертвых остатков. Это отмечается и другими исследователями, что величина подземной массы луговых и мохово-болотных экосистем лесостепной зоны колеблется от 520 до 6670 г/м<sup>2</sup> и зависит от гидротермических условий и солевого режима почв [5, 6]. Высокие значения запасов органической массы корней образуются также в 1984 и 1998 до 78 % (4934 г/м<sup>2</sup>). Минимальные запасы корневой массы до 2500 г/м<sup>2</sup> следующие годы (1982, 1986, 1989, 1996, 2004). Такая закономерность объясняется различиями водного, солевого режимов и метеоусловиями года. Так растения развивая большую корневую систему в 1981 г., которая при неблагоприятных метеоусловиях, т.е. низкой температуре и небольших осадках, может обеспечить низкие запасы надземной массы (G + D + L), особенно при сухой, холодной погоде весной. На ход изменения видового состава и продуктивности торфяных болот может оказывать влияние периодическое затопление, при этом вегетация растений может задерживаться, прерываться или проходить под водой, а еще может задерживаться интенсивным выпасом и пожарами, уничтожающими не только семена растений, но и мортмассу. Самые низкие запасы ветоши были в 1999 и 2002 гг. – 90 г/м<sup>2</sup>.

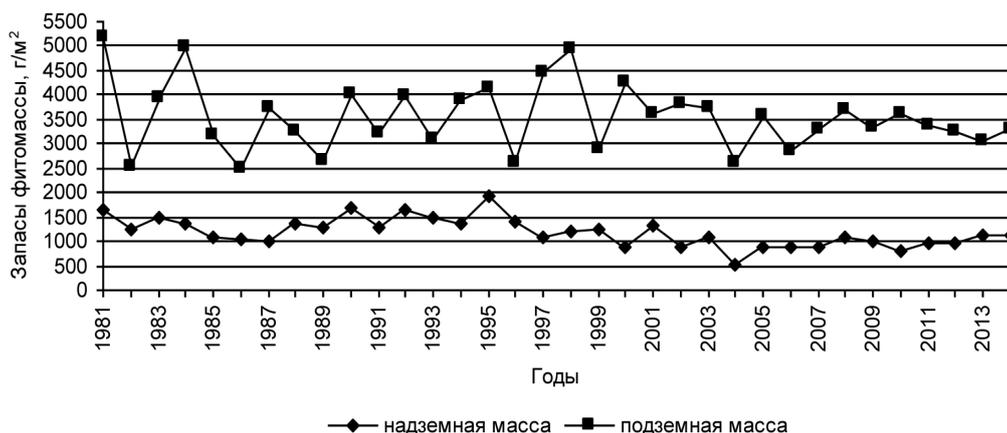


Рис. 2. Динамика запасов общей надземной и подземной массы в травяном болоте (участок «Отножка») Шарыповского района, г/м<sup>2</sup>

Жизненное состояние травостоя полностью зависит от показателей температуры и выпадающих осадков. В развитии растений, составляющих фитомассу, наблюдается цикличность – сухих и влажных лет, которая может быть выше или ниже, а также опережать или запаздывать во времени в течение вегетационного периода.

Начало работ (1981 г.) совпало с засушливым периодом (выпало за июнь месяц 25 мм осадков, что в 2,5 раза меньше от средней месячной нормы). Зеленая масса составила 48% (272 г/м<sup>2</sup>). Лишь осадки, выпавшие в июле и сентябре, стимулировали незначительное отрастание позднелетних растений и увеличение зеленой массы в июле и сентябре до 760 г/м<sup>2</sup>. Годы 1982, 1983, 1984, 1985 были близки по количеству выпавших осадков в июне месяце, увеличение зеленой массы началось с июля и максимальная величина зеленой массы отмечена в сентябре 1984 г. до 860 г/м<sup>2</sup> (рис. 3).

1987 г. по количеству выпавших осадков был больше среднемноголетней нормы в 1,5 раза. Основное количество осадков (169 мм) наблюдалось в июле, величина зеленой массы составила 564 г/м<sup>2</sup> т.е. 74% от максимально годовой, но запасы травостоя остались без значительных изменений до октября.

В 1988 г. величина зеленой массы в июне после влажного 1987 г. была почти равна массе 1986 г. Наступившее затем засушливое лето 1989 г., мало затормозило развитие растительной массы. Количество летних осадков предыдущих двух лет дало хорошую влагозарядку и максимальная величина однолетней массы травостоя была

отмечена в июле – 830 и в конце сентября до 897 г/м<sup>2</sup>. В последующие годы наибольшая зеленая масса отмечена в 1990 г. – в июне, 1992 г. – в июле, 1995 г. с июня до конца июля и в сентябре.

В 2002 г. осадков выпало больше средней многолетней нормы – в 2 раза, но зеленая масса была значительно меньше, основная их часть выпала в июле – августе, но эти осадки были менее эффективны. На лугах, расположенных в пониженных элементах рельефа в днище болот, периодически затопляемых, вегетация растений может задерживаться, прерываться или вегетация может проходить под водой, что существенно влияет на ход изменения видового и продукционного состава лугов.

В 2004 г. весенний пал создал неблагоприятные условия для развития растительности. На построенных графических моделях прослеживается минимальное накопление зеленой массы – 224 г/м<sup>2</sup> в июне. В июле выпало 138 мм осадков, величина зеленой массы увеличилась до 335 г/м<sup>2</sup>. В сентябре количество осадков уменьшилось до 30 мм и тут наступает ярко выраженный спад зеленой массы до 221 г/м<sup>2</sup>. Пожары, влияющие на фитоценозы торфяных болот, развиваются и в других регионах, например в Приамурье, где прослеживается минимальное накопление живой фитомассы [7].

В 2007 и 2010 гг. величина надземной массы была равна зеленой массе 2004 г. осадков было мало (76% от средней многолетней нормы) и температура до 16 °С. Эти годы были неблагоприятными для развития растений, многие растения вегетировали совсем слабо.

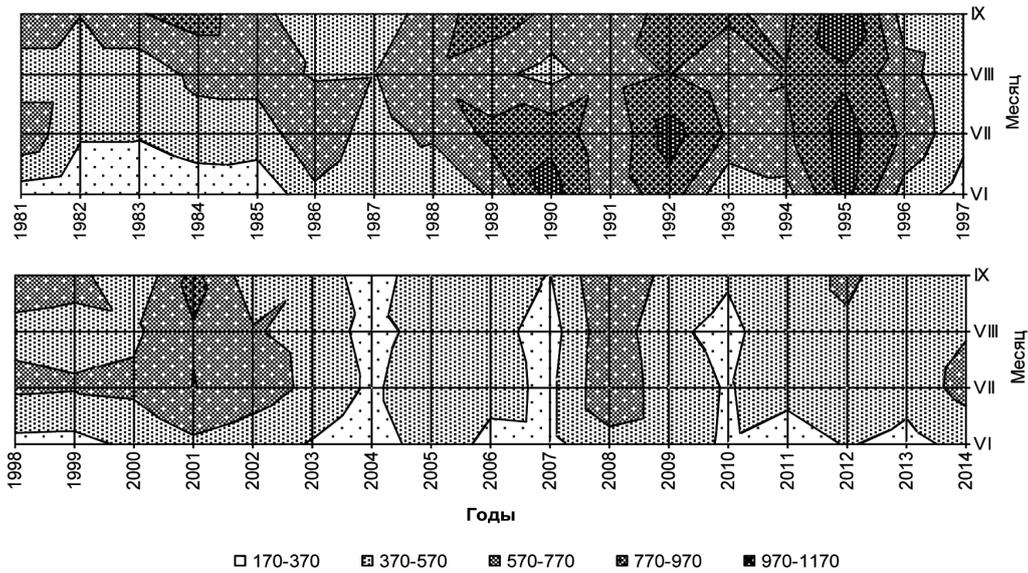


Рис. 3. Пространственно-временные изменения растительного вещества лугово-болотного сообщества ключа «Отножка». Топохроноизоплетами показаны запасы зеленой массы ( $G$ ),  $г/м^2$  за вегетационный период с 1981 по 2014 г.

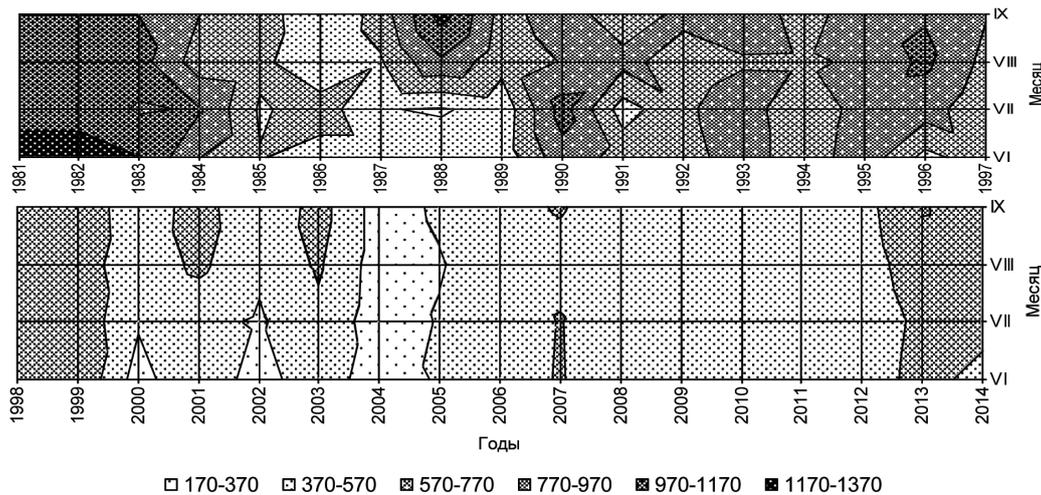


Рис. 4. Пространственно-временные изменения растительного вещества лугово-болотного сообщества ключа «Отножка». Топохроноизоплетами показаны запасы мортмассы ( $G + D$ ),  $г/м^2$  за вегетационный период с 1981 по 2014 г.

В 2008 г. количество выпавших осадков несколько превышало среднюю величину многолетней нормы. Значительная их часть, 44 мм, выпала в апреле, т.е. апрельская влагозарядка хорошо повлияла на развитие и увеличение зеленой массы начиная с июля, продолжая также в позднелетний период (август), погодные условия были благоприятными и максимальная величина зеленой массы в сентябре составила 779  $г/м^2$ .

В 2012 г. максимальная величина зеленой массы растений лугово-болотного сообщества отмечена в начале сентября – 600  $г/м^2$ , а в 2014 г. в июле – 638  $г/м^2$ .

Установлен факт, что основная часть растительного вещества в надземной массе аккумулируется в мортмассе ( $D + L$ ). Преодолевая резкие изменения климата, четко прослеживаются чередования высоких и низких запасов мортмассы в сезонной и погодичной динамике (рис. 4).

Изучение внутригодовой динамики запасов мортмассы в лугово-болотном сообществе показало, что ее наиболее высокие запасы отмечены в засушливые 1981–1982 гг. В эти годы с сухим холодным весенним периодом в плоть до середины июня запасы достигали  $1297 \text{ г/м}^2$ , так как засуха тормозит разложение мертвых остатков, за счет этого происходит скопление мертвого вещества, так как микробиологические процессы заторможены, плохая минерализация вещества.

Анализ внутригодовой динамики запасов (D + L) позволяет в некоторой степени судить об интенсивности ее накопления, подчиняясь кратковременным ритмическим изменениям тепла и влаги. Высокие значения  $1252 \text{ г/м}^2$  пришлось на конец сентября на влажный 1988 г. Наименьшие запасы (D + L) обнаруживаются в период затопляемости 2002 г. ( $250 \text{ г/м}^2$ ) и в годы весенних палов в 2004 г. ( $196 \text{ г/м}^2$ ). Выделяются периоды резких колебаний запасов мортмассы, перечисленных выше, и периоды сравнительно постоянных запасов, с плавным ходом – на протяжении многих лет и в течение вегетационного периода начиная с 2005 по 2012 г., включая 2007 г., с небольшими отклонениями весенне-летнего и осеннего периода лугово-болотного сообщества.

### Заключение

Полученные данные показали, что преодолевая резкие изменения климата, изменяются темпы нарастания однолетней зеленой массы и время достижения ее максимума. Установленный факт, что основная часть растительного вещества разнотравно-осоково-лугово-болотного сообщества аккумулируется в подземной массе, где максимальный запас (R + V) в 2004 г. превышает запасы (G + D + L) в 5 раз. Максимальный запас (R + V) в 1981 г. превышает запасы зеленой массы (G) в 9 раз. В приведенных пространственно-временных моделях для лугово-болотного сообщества установлены зависимости изменений живой и отмершей фитомассы от климатических и антропогенных факторов. Растения в состоянии покоя, вызванного низкими температурами, уменьшают запасы фитомассы. Сухая холодная погода весной сдерживает нарастание массы надземных органов и переход особей в генеративную фазу, тем самым снижает урожай надземной массы, но накапливает высокую мортмассу. На уменьшение запасов мортмассы действует фактор – пожары.

Таким образом, многолетние наблюдения показали четкие зависимости изменений надземной и подземной массы разнотравно-осоково-лугово-болотного сообщества от разных факторов, и эти изменения подчиняются определенным закономерностям.

### Список литературы / References

1. Нечаева Е.Г., Белозерцева И.А., Напрасникова Е.В., Воробьева И.Б., Давыдова Н.Д., Дубынина С.С., Власова Н.В. Мониторинг и прогнозирование вещественно-динамического состояния геосистем Сибирских регионов. Новосибирск: «Наука», 2010. 315 с.

Nechaeva E.G., Belozercova I.A., Naprasnikova E.V., Vorobyova I.B., Davydova N.D., Dubynina S.S., Vlasova N.V. Monitoring and forecasting of a material and dynamic condition of geosystems of the Siberian regions. Novosibirsk: «Nauka», 2010. 315 p. (in Russian).

2. Базилевич Н.И., Титлянова А.А., Смирнов В.В., Родин Л.Е., Нечаева Н.Т., Левин Ф.И. Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности. Изд-е 2-е, исп. и доп. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. 110 с.

Bazilevich N.I., Titlyanova A.A., Smirnov V.V., Rodin L.E., Nechaeva N.T., Levin F.I. Geographical regularities and ecological features. Izd-e the 2nd, corrected and added. Novosibirsk: IPA SO RAN, 2018. 110 p. (in Russian).

3. Дубынина С.С. Биологическая продуктивность травяных геосистем лесостепной зоны Назаровской котловины // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 9–1. С. 113–118.

Dubynina S.S. Biological efficiency of grass geosystems of a forest-steppe zone of the Nazarovsky hollow // International magazine of applied and basic researches. 2014. № 9–1. P. 113–118 (in Russian).

4. Титлянова А.А. Продуктивность травяных экосистем мира // География продуктивности и биогеохимического круговорота наземных ландшафтов. К 100-летию профессора Н.И. Базилевич. 2010. С. 144–153.

Titlyanova A.A. Efficiency of grass ecosystems of the world // Geography of efficiency and biogeochemical circulation of land landscapes. To the 100 anniversary of professor N.I. Bazilevich. 2010. P. 144–153 (in Russian).

5. Титлянова А.А., Шибарева С.В. Время оборота в травяных экосистемах // Математическое моделирование в экологии: материалы V Национальной научной конференции с международным участием. Новосибирск, 2017. С. 219–222.

Titlyanova A.A., Shibareva S.V. Turn-around time in grass ecosystems // Mathematical modeling in ecology: materials V of the National scientific Conference with the international participation. Novosibirsk, 2017. P. 219–222 (in Russian).

6. Миронычева-Токарева Н.П., Шибарева С.В., Громадка П. Запасы фитомассы и депонированных в ней элементов питания в травяном болоте Польши // Сибирский экологический журнал. 2009. Т. 16. № 2. С. 261–267.

Mironycheva-Tokarev N.P., Shibareva S.V., Gromadka P. A grass mire in Poland: Reserves of phytomass and deposited nutrition elements // Contemporary Problems of Ecology. 2009. T. 2. No. 2. P. 128–132. DOI: 10.1134/S1995425509020076.

7. Копотева Т.А., Купцова В.А. Влияние пожаров на функционирование фитоценозов торфяных болот Средне-амурской низменности // Экология. 2016. № 1. С. 14–21. DOI: 10.7868/S0367059715060086.

Kopoteva T.A., Kuptsova V.A. Effect of fires on the functioning of phytocenoses of peat bogs in the Middle-Amur lowland // Ecology. 2016. T. 47. № 1. P. 11–18. DOI: 10.1134/S1067413615060089.

УДК 556(571.56)

**ЛИМНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОЗЕРА КИЛЯНКИ  
ЧУРАПЧИНСКОГО УЛУСА РС(Я)****Жирков И.И., Трофимова Т.П., Тастыгина С.К., Жирков К.И.***ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск,  
e-mail: yklimno@mail.ru*

В статье рассматривается современное лимноэкологическое состояние термокарстового провально-го озера Киянки с. Кытанах Чурапчинского улуса. Исследования проводились с целью получения новых лимнологических параметров для научно обоснованной оценки функционирования озёрной экосистемы в оптимальных для природы и хозяйства режимах. Используемые методические основания проведения научно-исследовательских работ. Лаборатории озероведения традиционно базируются на геоэкологических, геолого-геоморфологических и лимнологических методах и подходах к изучению озерных экосистем России и организации их мониторинга, разработанных и применяемых в специализированных академических институтах РФ, выполняющих научные исследования больших озёр и водохранилищ. Выявлено, что водный баланс исследуемого озера характерен для термокарстовых озёр Лено-Амгинского междуречья, когда питание озёр происходит за счет атмосферных осадков, а также за счет поступления вод СТС. Установлено, что площадь зеркала воды озера за 20 с лишним лет увеличилась почти в 2 раза при незначительной средней глубине озера (до 1 м). Проведены полевые и стационарные химические анализы воды, в ходе которых определены качественные и количественные показатели воды. Вода озера не насыщена металлами, фенолом, нефтепродуктами и АПАВ, но при этом загрязнена фульвокислотами. По качественному распределению ионного состава озера можно отнести к малосодовым озёрам, которые широко распространены на территории Лено-Амгинского междуречья. Донные отложения озера представлены маломощным сапропелем с запахом сероводорода. Выявлено, что по геохимическим и агрохимическим показателям озёрные отложения озера существенно не отличаются от озёрных отложений равнинной криолитозоны Центральной Якутии. Установлены весьма высокие показатели гумуса, что указывает на накопление органических веществ в водоеме.

**Ключевые слова:** озеро, генезис, уровень воды, площадь зеркала воды, объем и глубина воды, химический состав, донные отложения

**LIMNOLOGICAL CHARACTERISTIC OF THE LAKE KILYANKI  
OF CHURAPCHINSKY SETTLEMENT OF YAKUTIA REGION****Zhirkov I.I., Trofimova T.P., Tastygina S.K., Zhirkov K.I.***North-Eastern Federal University of M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: yklimno@mail.ru*

In article the current limnoecological state of the thermokarst failure lake Kilyanki of the village of Kytanakh of the Churapchinsky ulus is considered. Researches were conducted for the purpose of obtaining new limnological parameters for scientifically based assessment of functioning of a lake ecosystem in the modes, optimum for the nature and economy. The used methodical bases of carrying out research works of Laboratory of an ozoveredeniye traditionally are based on the geoeological, geological and geomorphological and limnological methods and approaches to studying of lake ecosystems of Russia and the organization of their monitoring developed and applied at specialized academic institutes, which are carrying out scientific research of big lakes and reservoirs. It is revealed that the water balance of the explored lake is characteristic of thermokarst lakes of Leno-Amginsky Entre Rios when food of lakes occurs at the expense of an atmospheric precipitation and also due to intake of waters of STS. Modern morphometric indicators of the lake are defined. It is established that the area of a mirror of water of the lake in more than 20 years increased almost twice with an insignificant average depth of the lake (to 1 m). Field and stationary chemical water analyses during which quality and quantitative indices of water are defined are carried out. Water of the lake is not saturated with metals, phenol, oil products and APAV, but at the same time is polluted by fulvic acids. On high-quality distribution of ionic structure the lake can be carried to low-soda lakes which are widespread in the territory of Leno-Amginsky Entre Rios. Ground deposits of the lake are presented by low-power sapropel with a hydrogen sulfide smell. It is revealed that on geochemical and agrochemical indicators lake deposits of the lake significantly do not differ from lake deposits of a flat kriolitizona of the Central Yakutia. Very high rates of a humus are established that specifies on accumulation of organic matter in a reservoir.

**Keywords:** lake, genesis, water level, area of a mirror of water, volume and depth of water, chemical composition, ground deposits

Последнее десятилетие природа Центральной Якутии характеризуется многоводностью, приводящей к повышению уровня воды в водных объектах. В равнинной Центральной Якутии в сельских населенных пунктах жилые дома традиционно строились в малых и больших аласных понижениях, которые в настоящее время подвергаются подтоплению.

Цель статьи: оценка современных лимнологических показателей типичного равнинного термокарстового озера, расположенного в центре населенного пункта. Научно-техническая ориентация выполненных исследований заключалась в выявлении возможностей и разработке рекомендаций в целях стабилизации естественного функционирования

озёрной экосистемы в оптимальных для природы и хозяйства режимах. Озеро Килянки Кытанахского наслега Чурапчинского улуса расположено в пределах одноименной аласной котловины населенного пункта. По данным спутниковых снимков озера Килянки с 1999 по 2017 г. можно констатировать прогрессирующее увеличение площади зеркала воды, соответственно, и длины береговой линии во временных отрезках. По опросным данным известно, что даже в жаркие, засушливые годы 1980-х гг. озеро не усыхало полностью, что характерно для молодых термокарстовых развивающихся озёр в первой половине аласной стадии. Этот факт позволяет также предположить существование подозёрного талика. Во времена совхозов воду из озера Килянки выкачивали СНП в реку Южная Наммара. В 1980-х гг. озеро высыхало и промерзало до дна и в эти годы прибрежные осушки озера в аласе были застроены частными домами. В настоящее время воду из озера пытаются выкачивать мало-мощным бытовым электронасосом, но безрезультатно. Вода озера Килянки в настоящее время используется для круглогодичного сельскохозяйственного (водопоя крупного рогатого скота и лошадей) и технического водоснабжения.

#### *Гидролого-морфометрические исследования*

В гидрологическом, гидрографическом, ледово-термическом и гидрохимическом отношении оз. Килянки впервые исследовано в октябре 2017 г. лимнологической экспедицией лаборатории озероведения холодных регионов ИЕН СВФУ. Озеро расположено в средней части Чурапчинского улуса в пределах Лено-Амгинского плато Центрально-Якутской низменности на высоте 205 м над уровнем моря. Озеро Килянки является бессточным и расположено в верховьях бассейна реки Южная Наммара левого притока реки Татта.

Озеро Килянки имеет неправильную треугольную, слабо изрезанную форму, ориентированную длинной стороной с юго-востока на северо-запад. По ландшафтно-лимногенетической классификации озёр Якутии И.И. Жиркова [1] озеро относится к термокарстовым провальным озёрам, к подтипу реликтовых в стадии усыхания на легкосуглинистых древнеаллювиальных отложениях. По данным батиметрической съемки средняя глубина воды на озере составила 0,62 м, а объём воды –

46,314 тыс. м<sup>3</sup> (табл. 1). Озеро Килянки является из инструментально обследованных озёрных водоёмов Центральной Якутии характерным водным балансом, с коэффициентом водообмена < 0,1 [2]. Питание таких озёр происходит за счет атмосферных осадков, поступления подземных вод СТС и циклического вытаявания повторно-жильных льдов.

**Таблица 1**  
Морфометрические показатели озера Килянки

№ п/п	Морфометрические характеристики	Показатели
1	Площадь поверхности озера, км <sup>2</sup> (га)	0,1 км <sup>2</sup> (9,74 га)
2	Длина, км (м)	0,451 км (451 м)
3	Ширина макс., км (м)	0,315 км (315 м)
4	Ширина средняя, км	0,061
5	Глубина макс., м	1,75
6	Глубина средняя, м	1,0
7	Высота над уровнем моря, м БС	205
8	Прозрачность воды, м	До дна
9	Длина береговой линии по урезу воды, км	1,298
10	Объём воды, тыс. м <sup>3</sup>	97,400

К озеру непосредственно подступает селитебная зона одноименного села Килянки, а непосредственно над урезом воды с севера и юга на берегу озера расположены жилые кварталы, на которые оказываются негативные процессы подтопления и заболачивания, особенно в период таяния снежного покрова, а также во время выпадения интенсивных атмосферных осадков в теплое время года. Прилегающая местность – возвышенная равнина, высотой над уровнем моря 220–240 м. Отдельные, удаленные от озера, повышения имеют абсолютную высоту 249 м. В понижениях местности находятся множество озер, берега которых в большинстве случаев заболочены. Берега озера низкие и пологие, высотой 0,1–0,5 м, поросли травянистой растительностью, в западной и восточной части – низкие и заболоченные, зарастает вдоль берегов, характерным является наличие вала, состоящего из торфа, покрытого растениями, образованного под действием сильных волнений. Зимой береговая отмель шириной 10–20 м промерзает до дна. Северные берега, прилегающие к озеру, более крутые, высотой до 0,8 м, сложены

глинистыми и суглинистыми грунтами, задернованы, устойчивые.

Подводный рельеф озера ровный, углублённые его части (с глубиной более 0,5 м) располагаются в центральной части акватории озера. Максимальная глубина более 0,75 м находится в центре озера, примерно в 160 м от берега. Мелководна вся прибрежная часть озера от берегов на расстоянии от 80 до 120 м (менее 0,5 м). Мелководья озера с глубинами ниже 0,5 м находятся преимущественно на окраинах озера вблизи от берега.

Режим уровня озёр данной территории определяется, прежде всего, весенне-летним подъемом уровня воды, который хорошо выражен на бессточном оз. Киянки. Подъем уровня начинается во второй декаде мая. Высота весеннего подъема уровня на большинстве озер региона составляет 0,2–0,6 м, а на оз. Киянки – до 0,1–0,2 м. Продолжительность стояния высоких уровней на озере составляет 5–10 дней. В летний период на озерах наблюдается падение уровня, обусловленное потерями воды на испарение. Подъемы воды в это время редки и обычно выражены значительно слабее весенних. На бессточном озере они имеют место в августе-сентябре. Исключением является 2009 г., когда подъем воды отмечался до ледостава. Низкие уровни в период открытой воды на озерах данного региона чаще приходится на сентябрь-октябрь. Зимой происходит плавное изменение уровня воды. К этому сезону в большинстве случаев приурочены и наинизшие уровни за год. Весной, с нарастанием средних суточных температур воздуха, начинается нагревание поверхности озер. В первые дни при наличии льда оно происходит сравнительно медленно, но после освобождения водоема от ледового покрова температура воды поднимается очень быстро.

Зондирование рельефа дна и донных отложений озера Киянки, проведенное Лабораторией озероведения СВФУ, показало, что по всей акватории озера донные отложения представлены маломощным (до 50 см) сапропелем темно-серого цвета с черными прослойками с однородной маслянистой консистенцией и с незначительным запахом сероводорода, с растительными остатками.

Анализ космических снимков за период с 1984 по 2017 г. показал, что площадь зеркала воды озера Киянки увеличилась от 0,05 (4,61 га) до 0,1 км<sup>2</sup> (9,74 га), т.е. примерно в 2 раза (табл. 2).

**Таблица 2**  
Запасы воды снежного покрова и площади зеркала воды озера

Годы	Общие запасы воды снежного покрова, мм	Площади зеркала воды озера, км <sup>2</sup> /га
2000	1343	0,04 / 3,61
2005	2343	0,02 / 2,26
2007	2308	0,06 / 5,57
2010	1039	0,06 / 6,41

Анализ водных запасов снежного покрова и изменений его высот по годам позволяет предположить существование и отражение в этих характеристиках 11-летнего цикла солнечной активности. С другой стороны, могут быть катастрофические обводнения и наводнения, связанные с антропогенными нарушениями покрывки повторно-жильных льдов, еще сохраняющихся в ненарушенных ландшафтах высоких уровней.

#### *Гидрохимические исследования*

*Физико-органолептические свойства* воды озера характеризуются как неблагоприятные. Так, отмечено превышение нормативов по мутности, цветности и запаху. Высокая цветность воды на уровне 3,0–4,5 ПДК указывает на накопление легкоокисляемых органических веществ и коррелируется высокой перманганатной окисляемостью. Водородный показатель щелочной по всей толще воды и с незначительным увеличением величины рН ко дну. *Газовый состав* озера в момент исследования также неблагоприятный. Зафиксировано обогащение толщ воды большим количеством углекислого газа, при насыщении растворенным кислородом всего на 25,61%. При этом не отмечено насыщение воды сероводородом. Вода озера не насыщена *биогеенными элементами* (ионами аммония, нитритов, нитратов, ортофосфатов и железа), их концентрации находятся в пределах нормативов. Более высокие концентрации 0,2–0,3 мг/л зафиксированы по железу (III). Невысокие показатели содержания биогенных элементов свидетельствуют о достаточно интенсивной биологической продуктивности водоема, утилизирующей поступающие из водосбора биогены.

Содержания растворённых *металлов* (Mn, Cr, Cu, Zn, Cd, Pb) незначительны и соответствуют нормативам. Также зафиксированы малые количества, ниже ПДК, загрязняющих веществ – нефтепродуктов, фенолов, АПАВ и бенз(а)пирена (табл. 3).

По ионному составу вода озера гидрокарбонатно-натриевая. Концентрации всех макрокомпонентов (анионов и катионов) соответствуют нормативам. При этом высокие концентрации отмечены для гидрокарбонатных ионов (до 1200 мг/л), которые не имеют нормативных показателей. В озере отмечены высокие показатели общей жесткости в количестве 15,4 ммоль/л равномерно по всему вертикалу от поверхности ко дну, что определяет воду как «очень жесткую», имеет магниевый характер. Такая картина характерна для термокарстовых озёр данного региона и подтверждается исследованиями М.И. Ксенофонтовой [3, с. 138].

В исследуемом озере отмечены высокие величины перманганатной окисляемости, превышающие ПДК в 2,4 раза при нормативе 5,0 мгО/л. Можно предположить, что органические вещества имеют автохтонное происхождение и образуются в результате биохимического разложения фито-, зоопланктонных организмов, а также макрозообентоса в условиях дефицита кислорода. Это подтверждается расчётами индексов сапробного загрязнения (3,095 и 0,83) и классифицируется как «природное органическое вещество».

Общая минерализация воды озера не имеет четкой вертикальной стратификации и колеблется в пределах 2097–2117 мг/л, что превышает норматив в 2 раза. Высокие

показатели минерализации определяются величинами гидрокарбонатных ионов, источниками поступления которых в озеро являются слагающие породы водосбора.

Таким образом, вода озера Килянки (Эбя) не насыщена металлами, но при этом загрязнена легкоокисляемыми органическими веществами. По качественному распределению ионного состава озеро можно отнести к малосодовым озёрам, которые широко распространены на территории Лено-Амгинского междуречья [4].

#### Геохимические исследования

Донные осадки исследованного озера представлены сапропелевыми маслянистыми отложениями темно-серого цвета, с растительными и органическими остатками и с запахом сероводорода. Мощность донных отложений небольшая и колеблется в пределах 0,3–0,5 м по всей акватории озера.

Сравнение результатов солевой вытяжки донной пробы с фоновыми данными аласных палевых осолоделых почв [5] показало многократное превышение по всем рассмотренным показателям (табл. 4). Причиной более высокого, по сравнению с почвами, содержания их в донных отложениях могут являться протекающие в озёрах процессы, например сорбция на частицах донных отложений, биоаккумуляция и образование малорастворимых соединений.

Таблица 3

Концентрация загрязняющих веществ и металлов в водной толще

Ингредиенты	Норматив	Станция
Нефтепродукты, суммарно, мг/л	0,1	< 0,025
Поверхностно-активные вещества, анионные (АПАВ), мг/л	–	< 0,054
Фенолы	0,001	< 0,001
Бенз(а)пирен, мг/л	< 0,000001	0,0000005
Хром (Cr <sup>6+</sup> ), мг/л	< 0,05	0,009
Марганец (Mn), мг/л	< 0,1	0,045
Медь (Cu), мг/л	< 1,0	0,0043
Цинк (Zn), мг/л	< 1,0	0,13
Кадмий (Cd), мг/л	0,001	< 0,0001
Свинец (Pb), мг/л	0,01	0,001

Таблица 4

Солевой состав водной вытяжки из пробы донных отложений

рН	Гумус	Катионы				Анионы			
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	%	ммоль/100 г			мг/кг	ммоль/100 г			мг/кг
9,1	8,62	17,65	8,4	12,8	18,06	17,55	13,1	8,2	22,0
Естественный фон содержания химических элементов для палевых осолоделых почв [5, с. 109]									
8,48	0,70	0,63	0,47	0,54	–	0,9	0,48	0,63	–

Для оценки экологического состояния оз. Килиянки (Эбя) определены также содержания в донных отложениях кадмия, свинца, цинка, марганца и меди. Исследования показали разноуровневые концентрации металлов в донных отложениях озера. Выявлено, что в донных отложениях концентрации изученных металлов не превышают ПДК и находятся в многократно более низких концентрациях.

В целом геохимические определения донных отложений озера позволяют сделать следующие выводы: донные осадки озера представлены органо-минеральным сапропелем малой мощности; водородный показатель (рН) водной вытяжки смещен в щелочную сторону (сильнощелочная среда). Анализ солевого состава водных вытяжек пробы показал их многократные повышенные значения изученных солей по сравнению с фоновыми содержаниями палевых осолоделых почв Лено-Амгинского междуречья. Определения содержания микроэлементов в пробе донных отложений и их сопоставления с ПДК согласно ГН 2.1.7.2041-06 [6] показали их практическое соответствие по изученным металлам. Величина гумуса донных проб намного превышает фоновые естественные значения гумуса палевых почв Лено-Амгинского междуречья, т.е. донные отложения больше насыщены органическими кислотами. Установлено, что ведущие значения в накоплении химических элементов в донных отложениях имеют физико-химические барьеры щелочного класса.

### Заключение

Проведенные рекогносцировочные и лимносъёмочные обследования оз. Килиянки Чурапчинского улуса позволяют выдвинуть для мониторинга озёр выводы и рекомендации:

1. Озеро по ландшафтно-лимногенетической классификации И.И. Жиркова относится к термокарстовым провальным, реликтовым в стадии усыхания озёрам, на легкосуглинистых древнеаллювиальных отложениях.

2. Вода озера гидрокарбонатно-натриевая с пресной минерализацией, которую можно отнести к малосодовым, не насыщена металлами, но при этом загрязнена органическими веществами автохтонного происхождения.

3. Донные осадки озера представлены органо-минеральным сапропелем малой мощности, имеют сильнощелочную среду, обогащены органическими веществами и не загрязнены тяжелыми металлами.

Для снижения уровня воды и площади зеркала воды оз. Килиянки разработаны научно-технические рекомендации, содержащие следующие мероприятия:

– для снижения уровня воды в озере необходимо использовать передвижную насосную станцию СНП-50/80 с двигателем ЯМЗ-236 Г мощностью 150 л/с с трубопроводной арматурой и быстроразборными алюминиевыми трубами длиной 6 м. Длина рекомендуемого трубопровода до вершины распадка составляет 156 м, перепад высоты составляет 7 м;

– от речки Южная Наммара в сторону южной оконечности озера до вершины распадка по старому стоку необходимо прорыть канал длиной 477 м, шириной 3 м и с глубиной 2,5 м;

– в период высокого уровня воды – весной (в начале мая) объем воды озера составляет 91 900 м<sup>3</sup> и снижается до 74 700 м<sup>3</sup> в осеннее время. Расчет объемов воды озера показал, что необходимо откачивать воду в мае при угрожающих уровнях в размере 17–18 тыс. м<sup>3</sup>. При этом уровень речки Южная Наммара ниже уровня зеркала воды оз. Килиянки на 1,2 м;

– для повышения высоты берега по береговой линии озера необходимо построить дамбу-плотину с высотой 1,5 м. Объем грунтовой отсыпки примерно составляет 17–18 тыс. м<sup>3</sup>.

### Список литературы / References

1. Жирков И.И. Схема лимногенетической классификации озер Северо-Востока России // Учёные записки РГТМУ. 2014. № 34. С. 18–26.
2. Zhirkov I.I. Scheme of limnogenetical classification of lakes of the North-Eastern in Russia // Scientific notes of the RSGMU. 2014. № 34. P. 18–26 (in Russian).
3. Догановский А.М., Балащенко М.И. Водный баланс и внешний водообмен озёр Якутии // Ученые записки РГТМУ. 2015. № 40. С. 15–29.
4. Doganovsky A.M., Balatsenko M.I. Water balance and external water exchange of the lakes of Yakutia // Scientific notes of the RSGMU. 2015. № 40. P. 15–29 (in Russian).
5. Ксенофонтова М.И. Формирование химического состава вод термокарстовых вод Центральной Якутии под влиянием естественных и антропогенных факторов // Биоразнообразие: глобальные и региональные процессы. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. С. 137–138.
6. Ksenofontova M.I. Formation of the chemical composition of waters of thermokarst waters of the Central Yakutia under the influence of natural and anthropogenic factors // Biodiversity: global and regional processes. Ulan-Ude: Izd-vo BNS SO RAS, 2013. P. 137–138 (in Russian).
7. Трофимова Т.П. Гидрохимическое разнообразие озер Лено-Амгинского междуречья // Эколого-географические проблемы регионов России: материалы II Всероссийской научно-практической конференции. Самара: ПГСГА, 2011. С. 60–64.
8. Trofimova T.P. Hydrochemical variety of lakes of Leno-Amginsky region // Ecology-geographical problems of regions of Russia: materials II of the Russian scientific and practical conference. Samara: PGSGA, 2011. P. 60–64 (in Russian).
9. Десяткин Р.В. Почвообразование в термокарстовых котловинах-аласах криолитозоны. Новосибирск: Наука, 2008. 324 с.
10. Desyatkin R.V. Soil formation in thermokarst hollows-alasakh of a kriolitozona. Novosibirsk: Science, 2008. 324 p. (in Russian).
11. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М.: Стандартинформ, 2006. 12 с.

УДК 502.051

**ТЕРМОКАРСТОВЫЕ ОЗЕРА РАЙОНОВ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ**<sup>1,2</sup>**Иванова Т.Н.**<sup>1</sup>*ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», Тюмень, e-mail: abola\_81@mail.ru;*<sup>2</sup>*ФИЦ «Тюменский научный центр СО РАН», Тюмень*

Современное состояние ландшафтов криолитозоны является одним из индикаторов изменения климатических условий. Изменение наземного климата сказывается на состоянии почвогрунтов и может влиять на устойчивость сооружений, вызывая рост экономических и экологических ущербов. Изменение состояния многолетней мерзлоты должно в первую очередь сказаться на течении процессов термокарста, в частности на распространении термокарстовых озер, которые можно рассматривать как индикатор протаивания мерзлого грунта. Согласно исследованиям в северных регионах наблюдается уверенное увеличение количества термокарстовых озер различной формы. Число образовавшихся озер превышает число исчезнувших (хасырей). В зонах распространения мерзлоты данный процесс подтверждается многочисленными исследованиями на основе космических снимков. В настоящее время образование термокарстовых озер связывают с потеплением климата (увеличением среднегодовых температур широтных кругов). Многие озера Западной Сибири на протяжении тысячелетий естественным образом превращались в хасырей. В настоящее время данный процесс ускорился, особенно в районах прерывистого залегания многолетнемерзлых пород. Вероятной причиной исчезновения термокарстовых озер в прерывистой мерзлоте ученые считают почвенный дренаж, приводящий к спуску озера. В условиях потепления со временем увеличивается глубина протаивания мерзлых грунтов в теплые сезоны, что ускоряет термоэрозионный спуск воды из озер и приводит к сокращению площадей и исчезновению ряда озер. В данной работе даются ссылки на морфометрические параметры, температурный режим вод термокарстовых озер окрестностей Надымского стационара.

**Ключевые слова:** озера, озерные котловины, криолитозона, ландшафт, аласы, термокарст**THERMOKARST LAKES OF PERMAFROST AREAS**<sup>1,2</sup>**Ivanova T.N.**<sup>1</sup>*The University of Tyumen, Tyumen, e-mail: abola\_81@mail.ru;*<sup>2</sup>*Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen*

The current state of Cryolithozones landscapes is one of the climate change indicators. The change in terrestrial climate affects the condition of soils and can affect the stability of structures causing economic and environmental damage. The change in the state of permafrost must primarily affect the flow of thermokarst processes, in particular, on the distribution of thermokarst lakes, which can be considered as an indicator of thawing of frozen ground. According to studies in the northern regions, there is a steady increase in the number of thermokarst lakes of different shapes. The number of formed lakes exceeds the number of disappeared ones (hasyreya). In the permafrost zones, this process is confirmed by numerous studies based on space images. At present, the formation of thermokarst water reservoirs is associated with a warming of the climate (an increase in the average annual temperatures of latitudinal circles). Many lakes of Western Siberia for millennia naturally turned into hasyreya. At present, this process has accelerated, especially in the areas of intermittent occurrence of permafrost. The most probable cause of disappearance of thermokarst lakes in intermittent frost is the scientists consider soil drainage leading to the descent of the lake. In the conditions of warming with time, the depth of thawing of frozen soils in warm seasons increases, which accelerates the thermo erosion drain of water from lakes and leads to a reduction in areas and the disappearance of a number of lakes. In this paper, we give references to the morphometric parameters, the temperature regime of the waters of thermokarst lakes in the vicinity of Nadym providing ground.

**Keywords:** lakes, lake basin, cryolithozone, landscape, alas, thermokarst

Природные условия во многом определяют направление процессов формирования ландшафтов любой территории. Суровые условия с низкими температурами окружающей среды определяют формирование мерзлых грунтов. Данные территории отличаются особенностями течения физико-химических процессов и во многом зависят от вариаций абиотических факторов.

Многолетнемерзлые горные породы широко распространены на Земле и встречаются почти на всех континентах. Установлено, что глобальное изменение климата более ощутимо проявляется в высоких ши-

ротах. Наиболее чувствительными к температурным изменениям оказались субарктические ландшафты.

Состояние ландшафтов криолитозоны можно считать одним из индикаторов современного изменения климата. Изменение наземного климата определяет изменения в характеристиках почвогрунтов, что определяет устойчивость инфраструктуры и вызывает рост разного типа ущербов. Нестабильность состояния многолетней мерзлоты должна в первую очередь сказаться на распространении термокарстовых озер, сигнализирующих о протаивании мерзлого грунта.

### Материалы и методы исследования

Исследования последних лет показывают резкие изменения количественного состава термокарстовых озер. Отмечается исчезновение крупных озер и увеличение суммарных площадей термокарстовых озер в озерно-болотных комплексах [1, 2]. Высокольдистость многолетнемерзлых пород и равнинный характер территории Западной Сибири способствуют развитию процессов термокарста. Скорость образования озер составляет здесь десятки лет. На месте осушенных озер часто формируются хасыреи (аласы).

В данной работе в качестве объектов исследования приняты термокарстовые озера и хасыреи, являющиеся показательными индикаторами климатических изменений. В качестве ключевого участка был определен полигон Надымского стационара (Надымский район ЯНАО), как зона контакта разных геоморфологических уровней, обуславливающая разнородность ландшафтных условий [3].

На территории проводились прямые маршрутные наблюдения за проявлением криогенных экзогенных процессов.

Для проведения исследования были выбраны наиболее репрезентативные озера данного района, разнообразные по своим характеристикам и местоположению: старица Надым, Лесное, Голубое, Окунево, Моховое, Пинго, Пинго-2, Кедровое.

Исследуемые озера, согласно схеме ландшафтного районирования ЯНАО [4], расположены в Надымской северотаежной ландшафтной провинции Обь-Тазовской подобласти Урало-Енисейской северотаежной области.

Провинция приурочена к Надымской низменности с плоским рельефом низкого уровня, сильной заболоченностью и заозеренностью. Примечательностью провинции является распространение массивов незакрепленных развеваемых песков, а также фрагментов незаторфованных суглинистых холмисто-увалистых равнин (ледникового генезиса) на междуречьях.

Далее, для определения более точных мерзлотных условий имеет смысл идентификация расположения исследуемых озер в ландшафтной структуре Надымской провинции.

Озера старица Надым, Голубое, Лесное, Кедровое и Моховое (согласно их геоморфологическому уровню, ниже 20 м) приурочены к Средненадымскому долинному ландшафтному району, включающему до-

лину нижнего течения р. Танлова и долину р. Надым. Озера Окунево, Пинго и Пинго-2 расположены в пределах Верхненадымского ландшафтного района, который занимает западную часть Надым-Левохеттинского междуречья, на северо-востоке включает нижнее течение р. Хейгияха, на западе включает долины р. Хетта в ее среднем течении.

По циклам развития котловины озера дифференцированы следующим образом: озеро старица Надым относится к долинному циклу развития геосистем; озера Лесное, Голубое, Кедровое и Моховое – к долинно-придолинному циклу развития; озера Пинго, Пинго-2 и Окунево – к циклам развития геосистем современного гидроморфизма.

Поверхность Средненадымского долинного ландшафтного района формируют поймы, низкие плоские, реже пологоволнистые с дюнами (в придолинных частях) надпойменные террасы и озерно-аллювиальные равнины с относительными превышениями 20–30 м. В разрезах доминируют пески, фрагментарно распространены супеси и опесчаненные суглинки (в разрезах озерно-аллювиальной равнины).

Широко развиты болотные образования. Торфяники занимают большую часть поверхности террас, в пойме их площадь не превышает 30%. Мощность торфяников обычно не превышает 1,5–2,0 м. Средняя температура января –24–24,5 °С, июля 14,2–14,5 °С. За год выпадает 420–450 мм осадков, причем основная их часть летом в виде длительных морозящих дождей. Снежный покров держится около 200 дней, достигая мощности 50–60 см. За период с температурой выше 10 °С с 18–21 июня по 24–26 августа (65–68 дней) накапливается 800–950 ° вегетационных температур.

В ландшафтной структуре доминируют плоскостные террасовые местности с сосново-кедровыми и сосново-лиственничными лишайниковыми лесами на языковатых подзолах и сосново-кедрово-еловыми травяными лесами на иллювиально-гумусовых подзолах. На обширных пространствах заторфованных междуречий обычны сочетания крупнобугристых и плоскобугристых мерзлых торфяников. Реже встречаются кочковатые мерзлые кустарничково-лишайниково-моховые болота в сочетании с бугристыми торфяниками и грядово-мочажинными болотами.

Для поймы реки Надым и ее притоков характерны лугово-болотно-лесные ландшафты с сочетанием разнотравно-злаковых,

арктофиловых и осоковых лугов, низинных болот и прирусловых ивняков.

Котловина озера-старицы Надым расположена в пойменно-соровом типе местности, приуроченном к месту слияния пойм р. Надым и Хейгияха. Урез воды озера отмечен на высоте 15,1 м, в то время как на данном уровне урез воды р. Хейгияха составляет 14,3–15,4 м, р. Надым – 12,9–13 м. Однако важным фактором здесь выступает крайне неровный рельеф самой поймы реки Надым, где отмечаются перепады высот от 12,9 м до 15–16 м, а порой и до 19 м за счет аккумулятивных отложений, формирующих гряды и перекаты.

Приуроченность котловины озера к доливному циклу развития геосистем говорит о прямой связи его с процессами, протекающими в пойме и долине рек Надым и Хейгияха. Водный режим озера в настоящее время напрямую зависит от режима этих рек, уровень 15–16 м – это затопляемые части поймы в период паводков и половодья (здесь подъем может быть и выше).

Этот уровень пестрит озерами-протоками, сорами и старицами. Но все они имеют вытянутую сглаженную форму, повторяющую древние и современные меандры реки, в то время как котловина озера-старицы Надым имеет неправильную форму, рваные берега. Все это может свидетельствовать о ледниковом факторе генезиса его котловины. Расположенный в непосредственной близости песчаный раздув может быть следствием таяния ледника и иметь ледниковое происхождение.

Для направления эволюции котловины данного озера в настоящий момент решающим фактором является именно его водный режим и пойменное расположение. Общее направление эволюции – это трансформация в старичное озеро со сглаживанием его берегов и заболачиванием.

Озера Голубое и Лесное (с отметками абсолютных высот около 20 м) имеют округлую форму, довольно большую глубину (6–8 м). Вода прозрачная, прозрачность до 1,5 м. Дно песчаное, у берегов дно заиленное. Данные озера приурочены к геоморфологическому уровню первой надпойменной террасы р. Надым – плоскоместно-террасовому типу местности. Непосредственно озерные котловины представляют собой реликтовый термокарстовый тип местности (аласный озерный).

В тайге в районах залегания многолетнемерзлых пород в результате вытаивания подземных льдов, сопровождающегося

просадкой грунта (термокарст и суффозия) часто возникают плоские округлые понижения с многочисленными озерами, покрытые луговой и лесо-луговой растительностью – аласы. Особенно широко они распространены в равнинной части Якутии, в пределах бассейна средней Лены, Лено-Амгинского междуречья, бассейна Нижнего Вилюя.

В этом районе наиболее изучены их стадии развития и эволюция. Центральная часть аласа занята обычно озером, вокруг которого поясами развита болотная, луговая и остепненная растительность и соответствующие им почвы [5, с. 48]. Их развитие зависит от наличия подземных льдов. В дальнейшем они превращаются в сухие или с остаточным озерком котловины, с характерным набором фаций.

Эволюция и формирование почв аласов Якутии происходит по законам долговременной вторичной сукцессии, которая начинается с формирования озера на месте зональной таежной экосистемы. На этой стадии происходит накопление донных осадков и их карбонатизация. Сразу после выхода из-под воды, на первой стадии развития аласных почв – стадии мерзлотной аласной торфянисто-глеевой почвы – активно протекают процессы торфонакопления и оглеения. На этой стадии отмечается низкий уровень микробимассы и минимальный уровень базального дыхания. На второй стадии развития почв аласов болотные экосистемы сменяются луговыми, в которых, благодаря оптимальному соотношению тепла и влаги, отмечается высокая продуктивность и активизируются процессы гумусонакопления. На этой стадии эволюции (мерзлотная аласная черноземно-луговая почва), слои увеличиваются в 2,8 раза, а базальное дыхание в 2,1 раза по сравнению со стадией болотных почв. Третья стадия эволюции почв – остепненная стадия – является результатом крайнего иссушения деятельного слоя и динамики рельефа. На этой стадии активизируется солонцовый процесс и процесс гумусонакопления [6, с. 122].

В отличие от своих якутских собратьев, аласы Западной Сибири менее изучены, но как минимум являются более молодыми и расположены в зоне избыточного увлажнения, что непосредственным образом вносит свои коррективы в их черты.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

На исследуемой территории наблюдается целый ряд термокарстовых форм, в том числе и аласов, на разных стадиях развития.

Ввиду отсутствия детальных исследований аласов в Западной Сибири сложно однозначно определить их стадию развития, однако можно выстроить примерный ход развития термокарстовых котловин по косвенным признакам.

Деградация многолетнемерзлых пород данной территории началась вследствие отепляющего воздействия вод рек Надым и Хейгияха первоначально в долинах этих рек, далее распространившись на террасы. Район озер Мохового и Кедрового явный пример развития и деградации многолетнемерзлых пород. Термокарстовый процесс начал свое развитие как просадка грунтов (возможно, и с образованием озер типа Мохового), но далее при формировании стока с территории их котловины (или просадочные формы рельефа) стали сливаться и заболачиваться. Песчаные и супесчаные грунты при частичной деградации многолетнемерзлых пород имеют сток.

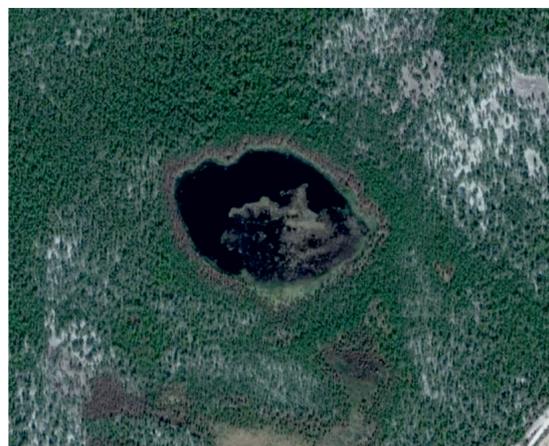
Таким же образом сформировались котловины озер Лесное, Голубое и Кедровое. Но наличие до сих пор в них водного зеркала внушительных размеров и значительных глубин (до 6–8 м) говорят о том, что многолетнемерзлые породы здесь еще присутствуют.

Питание озер зависит от осадков и многолетнемерзлых пород. Дальнейшая эволюция котловин озер зависит от процессов деградации многолетнемерзлых пород: по мере уменьшения объемов поступления талых вод, при избыточном типе увлажнения начнется процесс эвтрофикации водоемов, интенсивное осадконакопление и в конечном итоге котловины станут очередными очагами заболачивания.

Озеро Голубое расположено на склоновых поверхностях к пойме р. Надым, поэтому существует вероятность формирования стока (через систему овражно-балочной сети), что приведет к образованию хасыря. Озеро Кедровое (рисунок), с абсолютными отметками высот около 25 м расположено в пределах второй надпойменной террасы р. Надым в пределах террасового плоскоместного типа местности.

Котловина озера представляет собой типичный аласный озерный ландшафт, в котором дифференцируются четыре концентрических элемента: окраинные части с мезотрофными болотами, облесенными угнетенной сосной; низинные плоские сфагново-осоковые болота; торфяной сфагново-кустарничковый вал, высотой 0,6–0,8 м с андромедой, карликовой березой,

моршкой и плоское днище древней озерной котловины с низинным сплавинным болотом. Процесс эвтрофикации оз. Кедрового свидетельствует о вступлении озера также на конечную стадию развития аласов.



*Озеро Кедровое*

Котловина оз. Мохового, расположенного южнее оз. Кедрового, также в пределах плоскоместного террасового типа местности, представляет собой заболоченную по низинному типу низину, с остатками водного зеркала и средней глубиной до 1,5 м. Размеры котловины составляют 120 м по длине и до 70 м в самой широкой части.

Таким образом котловина озера Мохового, имея первоначально термокарстовое происхождение, в настоящее время представляет собой конечную стадию развития аласного озера и является очагом заболачивания.

Следующая группа озер – Окуневое, Пинго и Пинго-2, согласно их геоморфологическому уровню и местоположению на водоразделе, приурочены к Верхненадымскому ландшафтному району. Распространение многолетнемерзлых пород в данном районе имеет более широкое, особенно в обширных торфяниках и заболоченных террасах рек, однако температура многолетнемерзлых пород уже выше, что существенно увеличивает риск их освоения.

Озера Окуневое, Пинго и Пинго-2 расположены на водораздельных пространствах рек Надым, Хейгияха и Левая Хета на уровне абсолютных высот 32–33 м. Тип местности мелкобугристых и мелкогрядовых олиготрофных болот, входящий в цикл развития геосистем современного гидроморфизма. Это молодые активно развивающиеся болотные системы, с маломощными торфами и слабо развитой системой гряд.

Многолетнемерзлые породы, вероятнее всего, являются здесь водоупором, внутриболотный сток также слабо развит, что и привело к формированию данной группы озер.

Озёра неправильной формы (врезы в берега), мелкие по глубине (до 1,5–2 м); расположены на водоразделе среди верховых торфяников, подболоченных сосняков багульниковых. Вода мутная от взвесей торфа и полуразложившихся растительных остатков. Озёра небольшие по площади, сильно заросшие растительностью, при этом центральные участки акватории свободны от неё. Встречаются отмели в небольшом удалении (2–5 м) от берегов.

### Заключение

Аласные котловины в естественных нарушенных условиях обычно расположены в приболотной части лесных массивов. Однако с началом антропогенной деятельности (прокладка трубопроводов, коммуникаций, нарушение стока, вырубка леса и т.д.) произошла активизация термокарстовых процессов территории, о чем свидетельствует появление молодых аласных котловин в исследуемом районе. При своем формировании они тяготеют к трассам трубопроводов и коммуникаций. Здесь происходит активная фаза деградации многолетнемерзлых пород, что обуславливает повышенный риск для строительства и уже существующих объектов.

### Список литературы / References

1. Шаронов Д.С., Брыксина Н.А., Полищук В.Ю., Полищук Ю.М. Сравнительный анализ динамики термокарста на территории мерзлоты Западной Сибири и Горного Алтая на основе космических снимков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 313–319.  
Sharonov D.S., Briksena N.A., Polishchuk V.Yu., Polishchuk Yu.M. Comparative analysis of thermokarstdynamics in permafrost territory of Western Siberia and Gorny Altai on the basis of space images // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemly iz kosmosa*. 2012. V. 9. № 1. P. 313–319 (in Russian).
2. Брыксина Н.А., Полищук Ю.М. Анализ изменения численности термокарстовых озер в зоне многолетней мерзлоты Западной Сибири на основе космических снимков // Криосфера Земли. 2015. Т. 19. № 2. С. 114–120.  
Briksena N.A., Polishchuk Yu.M. Analysis of changes in the number of thermokarst lakes in permafrost of West Siberia on the basis of satellite images // *Kriosfera Zemli*. 2015. V. 19. № 2. P. 114–120 (in Russian).
3. Орехов П.Т., Аквальные природные комплексы северной тайги Западной Сибири // Криосфера Земли. 2010. Т. 14. № 2. С. 23–28.  
Orekhov P.T. Aquatic natural complexes of northern taiga, West Siberia // *Kriosfera Zemli*. 2010. V. 14. № 2. P. 23–28 (in Russian).
4. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. Омск: ФГУП «Омская картографическая фабрика», 2004. 154 с.  
Atlas Yamalo-Nenetskiy avtonomnogo okruga. Omsk: FGUP «Omskaya kartograficheskaya fabrika», 2004. 154 p. (in Russian).
5. Пучнин А.Н., Якутин М.В. Экологический мониторинг аласных экосистем с использованием методов дистанционного зондирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2009. Т. 4. № 2. С. 48–53.  
Puchnin A.N., Yakutin M.V. Ecological monitoring of alas ecosystems with use of remote sounding methods // *Interakspo Geo-Sibir*. 2009. V. 4. № 2. P. 48–53 (in Russian).
6. Якутин М.В., Пучнин А.Н. Почвенно-микробиологические методы в мониторинге аласных экосистем Лено-Вилуйского междуречья // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2008. Т. 3. № 2. С. 119–124.  
Yakutin M.V., Puchnin A.N. Methods of soil microbiology in monitoring of alas ecosystems on region between Lena and Vilui rivers // *Interakspo Geo-Sibir*. 2008. V. 3. № 2. P. 119–124 (in Russian).

УДК 628.345

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД АККУМУЛЯТОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА (НА ПРИМЕРЕ АО «ТЮМЕНСКИЙ АККУМУЛЯТОРНЫЙ ЗАВОД»)

**Качалова Г.С.**

*ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» (учебное подразделение  
Строительный институт), Тюмень, e-mail: galinakachalova@mail.ru*

В процессе проведения исследований были приготовлены модельные сточные воды, состав и свойства которых максимально приближены к реальным сточным водам АО «Тюменский аккумуляторный завод». Их мутность составила 315 ЕФМ, содержание свинца – 580 мг/л. В ходе эксперимента были определены оптимальные дозы пяти коагулянтов (сульфат закиси железа  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 300 мг/л, хлорное железо  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – 250 мг/л, сульфат алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  – 300 мг/л, смешанный коагулянт  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (1:1) – 150 мг/л и полиоксихлорид алюминия  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  торговой марки Аква-Аурат 30 – 200 мг/л). Среди них был выбран наиболее эффективный коагулянт – полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат 30, использование которого позволило снизить мутность сточных вод до 10 ЕФМ, а содержание свинца – до 5 мг/л. В процессе исследования эффективности трех различных флокулянтов дозой 2 мг/л (Praestol 2530 TR, Flopam 4350 SH и Полиакриламид-гель технический ФГУП «Завод им. Я.М. Свердлова» ПАА) было установлено, что наиболее подходящим для данных сточных вод является ПАА. Также было установлено, что наиболее эффективное осветление воды при использовании коагулянта совместно с флокулянтом достигается при применении дефицитной дозы коагулянта полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30 (150 мг/л). Оптимальная доза ПАА составила 2 мг/л. Использование ПАА в данной дозе позволило добиться снижения мутности сточных вод до 10 ЕФМ, а содержание свинца – до 1,5 мг/л. Работа имеет непосредственную практическую значимость, так как ее результаты могут быть использованы для совершенствования процессов очистки сточных вод на АО «Тюменский аккумуляторный завод».

**Ключевые слова:** коагулянты, флокулянты, сточные воды, мутность, дозы

## IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF TREATMENT OF WASTE WATER BATTERY PRODUCTION (ON THE EXAMPLE OF JSC «TYUMEN BATTERY FACTORY»)

**Kachalova G.S.**

*Department of General and Special Chemistry, the Industrial University, Tyumen,  
e-mail: galinakachalova@mail.ru*

In the course of carrying out researches model sewage which composition and properties are as close as possible to real sewage of JSC Tyumen Battery Plant were prepared. Their turbidity was 315 EFM, lead content – 580 mg/l. During the experiment optimum doses of five coagulants were defined ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  iron protoxide sulfate – 300 mg/l, chloric  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  iron – 250 mg/l, sulfate of  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  aluminum – 300 mg/l, the mixed  $\text{FeCl}_3$  and  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (1:1) coagulant – 150 mg/l and polyoxochloride of  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  aluminum of a trademark Akwa Aurate of 30 – 200 mg/l). Among them the most effective coagulant – aluminum polyoxochloride Akwa Aurate 30 whose use allowed to reduce turbidity of sewage to 10 EFM, and lead content – up to 5 mg/l was chosen. In the course of the research of efficiency of three various flokulyant by a dose of 2 mg/l (Praestol 2530 TR, Flopam 4350 SH and Poliakrilamid-gel technical Federal State Unitary Enterprise Plant of Ya.M. Sverdlov of PAA) it was established that the most suitable for this sewage is PAA. Also it was established that the most effective clarification of water when using coagulant together with flokulyanty is reached at application of a scarce dose of coagulant of polyoxochloride of aluminum Akwa Aurate 30 (150 mg/l). The optimum dose of PAA made 2 mg/l. Use of PAA in this dose allowed to achieve decrease in turbidity of sewage to 10 EFM, and lead content – to 1.5 mg/l. Work has the direct practical importance as its results can be used for improvement of processes of sewage treatment on JSC Tyumen Battery Plant.

**Keywords:** coagulants, flokulyant, sewage, turbidity, doses

Очистка сточных вод – одна из самых острых экологических проблем современной промышленности. И промышленные предприятия Тюмени и Тюменской области не являются исключением. АО «Тюменский аккумуляторный завод» – крупное предприятие, использующее большое количество воды для процесса производства. Большая часть образующихся сточных вод используется повторно и не оказывает непосредственного

воздействия на окружающую среду. Но, несмотря на это, часть сточных вод поступает в городские очистные сооружения, поэтому требует тщательной очистки от различных загрязнителей. Объектом исследования выступают сточные воды, предметом – очистка модельных сточных вод АО «Тюменский аккумуляторный завод».

Цель исследования: подбор оптимальных реагентов и их доз для процессов коагу-

ляции и флокуляции сточных вод АО «Тюменский аккумуляторный завод».

Работа имеет непосредственную практическую значимость, так как ее результаты могут быть использованы для усовершенствования процессов очистки сточных вод на АО «Тюменский аккумуляторный завод».

В настоящее время на рынке имеется огромный выбор коагулянтов и флокулянтов для очистки воды, однако строгого разделения на коагулянты и флокулянты не существует. В зарубежной литературе все реагенты, участвующие в агрегации и осаждении частиц называют флокулянтами. В России наиболее принято разделение по такому принципу: к коагулянтам относят низкомолекулярные вещества, воздействующие на электрокинетический потенциал, а к флокулянтам – высокомолекулярные соединения, вызывающие агрегацию частиц за счет химического взаимодействия [1].

Все коагулянты можно разделить на органические и неорганические. К органическим относят низкомолекулярные водорастворимые полимеры, такие как полиамины, дициандиамидные и меламиноформальдегидные смолы, полиадамак. Данные соединения эффективны, они практически не влияют на pH сточной воды, для очистки достаточно небольших доз. Однако в промышленности органические коагулянты не получили широкого применения: этот тип коагулянтов имеет достаточно высокую цену, реагенты представлены в виде растворов, что затрудняет транспортировку и хранение, сырьевая база для их производства ограничена.

Неорганические коагулянты получили более широкое применение в промышленных объемах, это связано с их универсальностью, распространенностью и низкой стоимостью. Минеральные коагулянты представлены солями алюминия, железа и их смесями, значительно реже используются соли магния, титана, цинка [2, 3].

Железосодержащие коагулянты: сульфат закиси железа  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (железный купорос по ГОСТ 6981-85). Хлорное железо  $\text{FeCl}_3$  (ГОСТ 11159-86).

Соли железа обеспечивают наилучшую коагуляцию при pH 3,5–6,5 или 8,0–11,0, что является преимуществом их применения. Кроме того, коагулянты на основе железа не теряют своей коагулирующей способности при низких температурах воды, а также образующиеся хлопья имеют большую гидравлическую крупность и плотность, за счет чего осаждение частиц происходит с высокой скоростью [4].

Алюмосодержащие коагулянты: сульфат алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  (ГОСТ 12966-85). Этот коагулянт эффективен при pH 5–7,5, но обладает высокой чувствительностью к изменению pH и температуры воды, что является существенным недостатком [5].

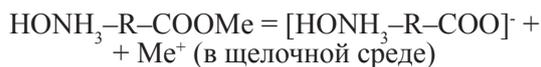
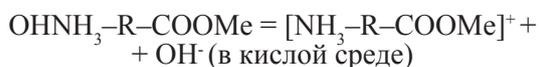
Оксихлорид алюминия (ОХА), то же полиалюминий гидроксид, хлоргидроксид алюминия, основной хлорид алюминия. Общая формула ОХА –  $\text{Al}(\text{OH})_m \text{Cl}_{3-m}$ , наиболее распространенный вид  $\text{Al}_2(\text{OH})_5 \text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . ОХА является одним из наиболее эффективных современных коагулянтов. Он обеспечивает стабильность процесса коагуляции даже при низких температурах, обладает низкой кислотностью и широким диапазоном pH. Содержание остаточного алюминия после обработки вод ОХА значительно ниже, чем при использовании сульфата алюминия [6].

Смешанные коагулянты: недостатки железосодержащих и алюмосодержащих коагулянтов можно свести к минимуму, если использовать смешанные коагулянты. Смешанный алюможелезный коагулянт представляет собой смесь растворов  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  в массовом соотношении 1:1, однако соотношение можно изменять в зависимости от условий работы очистных сооружений и характеристик сточных вод. Максимальным отношением хлорного железа к сульфату алюминия является 2:1. Применение смешанного коагулянта значительно снижает расход реагентов, хлопья осаждаются равномерно [7].

Флокуляция: для интенсификации процесса хлопьеобразования при коагуляции применяют флокуляцию. Флокуляция – процесс агрегации частиц при добавлении в сточные воды высокомолекулярных соединений, называемых флокулянтами. В отличие от коагуляции, процесс агрегации частиц при флокуляции происходит не только в результате контакта, но и в результате химического взаимодействия флокулянта и осаждаемого вещества. На процесс флокуляции влияет ряд факторов, таких как молекулярная масса, конформация молекул, степень ионизации флокулянта, форма и размер коллоидных частиц, их природа и химический состав. Главное – подобрать правильную дозу флокулянта, так как недостаток приводит к медленному и неполному протеканию процесса, а избыток – к дефлокуляции или пептизации.

Современные флокулянты для очистки сточных вод: неионные флокулянты –

в воде могут находиться в неионизированном состоянии (неионные флокулянты) или диссоциировать на ионы. В зависимости от химической природы диссоциирующей группы различают анионные и катионные флокулянты. К анионным группам относят  $-\text{COOH}$ ;  $-\text{SO}_3\text{H}$ ;  $-\text{OSO}_3\text{H}$ ;  $-\text{PO}(\text{OH})_2$ ;  $-\text{Cl}$ ;  $-\text{SO}_4$ ; к катионным:  $-\text{NH}_2$ ;  $=\text{NH}$ ;  $=\text{NOH}$ ;  $-\text{Na}$ ;  $-\text{K}$  и другие. При наличии в структуре и кислотных, и основных групп макромолекула обладает амфотерными свойствами, поскольку знак заряда иона изменяется в зависимости от pH среды [8]. Наибольшее распространение в промышленном применении получил полиакриламид и флокулянты на его основе. Чистый полиакриламид (ПАА) является амфотерным полиэлектролитом и может диссоциировать как по кислотному, так и основному типу:



где R – цепочка молекулы ПАА.

Анионные флокулянты представляют собой сополимеры акриламида с возрастающей долей акрилата – происходит диссоциация по основному типу. Катионные флокулянты – сополимеры акриламида с возрастающими долями катионных сомономеров.

Выбор флокулянта (анионный или катионный) зависит от природы дестабилизированных частиц, которые присутствуют в сточной воде. Как показывает опыт, катионные флокулянты применяются для связывания органических частиц, а анионные – для минеральных.

Зачастую методов коагуляции и флокуляции недостаточно для глубокой очистки сточных вод, поэтому дополнительно применяются сорбционные методы. Сорбционные методы считаются одними из наиболее эффективных способов глубокой очистки сточных вод [9].

#### Материалы и методы исследования

В ходе работы были разработаны методики приготовления модельных сточных вод АО «Аккумуляторный завод», скорректированы методики проведения процесса коагуляции и флокуляции, использованы методы определения мутности (фотоколориметрический метод), кислотности (титриметрический анализ), содержания свинца (фотоколориметрический метод).

Для исследований были выбраны коагулянты пяти видов: сульфат закиси железа  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , хлорное железо  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , сульфат алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , смешанный коагулянт  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (1:1), полиоксихлорид алюминия  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  торговой марки Аква-Аурат 30.

Среди флокулянтов были отобраны три типа: анионный флокулянт Праестол 2530 TR, катионный – Флопам 4350 SH и полиэлектролит – Полиакриламид – гель технический.

Для приготовления модельных сточных вод в пять мерных цилиндров на 500 мл поместили навеску свинцовой пасты массой 250 мг и 250 мг нитрата свинца, довели до метки водой. Для нейтрализации стоков добавили 1,5 мл раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Значение pH модельных вод после нейтрализации составило 8,32, что находится в допустимых пределах.

Определение содержания свинца в модельных водах проводили плумбоновым методом согласно ГОСТ 18293-72 [10]. Сущность метода заключается в образовании соединения свинца с плумбоном, имеющего желто-оранжевый цвет. Предварительно свинец экстрагируется дитизоном в четыреххлористом углеороде.

Измерение оптической плотности рабочего раствора свинца проводили относительно холостой пробы на КФК-3-01-«ЗОМЗ» при длине волны падающего излучения 490 нм с кюветами с толщиной поглощающего свет слоя 50 мм. Значение оптической плотности составило 0,124.

Чтобы перейти от оптической плотности раствора к концентрации ионов свинца, необходимо было построить калибровочный график по стандартному образцу состава раствора ионов свинца ГСО 7252-96.

Для определения мутности модельных сточных вод пользовались методикой ГОСТ Р 57164-2016. Для этого измерили оптическую плотность вод при длине волны падающего излучения 530 нм с кюветами с толщиной поглощающего свет слоя 50 мм.

Значение оптической плотности составило 3,683.

Для перехода от оптической плотности к мутности построили калибровочный график по стандартному образцу мутности (формазиновая суспензия) ГСО 7271-96.

Методика процесса коагулирования: диапазон доз различных коагулянтов выбрали от 100 до 300 мг/л. Все коагулянты готовили в виде 5%-ного раствора. Коагулянты вводились в модельные сточные воды после

подщелачивания. Через 30 мин отбирали пробы на глубине ниже уровня жидкости на 5 см каждые 10 мин в течение 1 ч. Во всех пробах измеряли значение оптической плотности по методике ГОСТ Р 57164-2016. Для оптимальных доз всех коагулянтов с помощью калибровочного графика оптическая плотность была переведена в показатель качества воды – мутность.

Методика процесса флокулирования: выбор наиболее эффективного флокулянта решено было проводить при дозе 2 мг/л после обработки воды полиоксихлоридом алюминия Аква-Аурат 30 дозой 200 мг/л. Введение флокулянта производили через 5 мин после введения коагулянта.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Данные исследования эффективности различных коагулянтов представлены на рис. 1, 2, табл. 1.

Таким образом, были выяснены оптимальные дозы каждого коагулянта и максимально возможное уменьшение оптической плотности сточных вод. Для наглядного

представления полученные данные приведены на рис. 1.

Для оптимальных доз всех коагулянтов оптическая плотность была переведена в показатель качества воды – мутность с помощью калибровочного графика. Полученные результаты представлены в табл. 1, рис. 2.

Таким образом, для дальнейших исследований был выбран коагулянт полиоксихлорид алюминия  $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$  торговой марки Аква-Аурат 30, так как его использование помогает добиться максимального снижения мутности сточных вод до 10 ЕФМ. Оптимальная доза данного коагулянта составила 200 мг/л.

Результаты исследования эффективности различных флокулянтов представлены на рис. 3, 4.

Таким образом, использование коагулянта полиоксихлорида алюминия  $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$  торговой марки Аква-Аурат 30 дозой 150 мг/л в сочетании с флокулянтом Полиакриламид-гель технический ФГУП «Завод им. Я.М. Свердлова» дозой 2 мг/л помогает добиться максимального снижения мутности сточных вод до 10 ЕФМ.

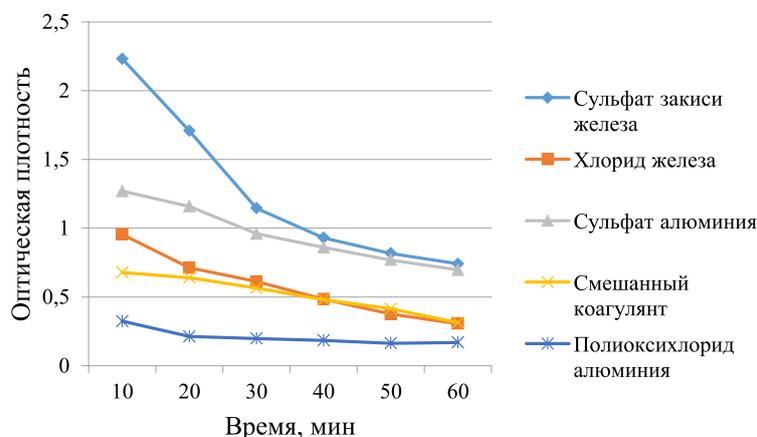


Рис. 1. Зависимость оптической плотности от времени отстаивания для оптимальных доз всех коагулянтов

#### Оптимальные дозы различных коагулянтов и уменьшение мутности сточных вод при их использовании

Тип коагулянта	Оптимальная доза, мг/л	Мутность после коагуляции, ЕФМ
Сульфат закиси железа $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	300	60
Сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	300	57
Хлорное железо $FeCl_3 \cdot 6H_2O$	250	20
Смешанный коагулянт $FeCl_3 \cdot Al_2(SO_4)_3$	150	20
Полиоксихлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$ Аква-Аурат™30	200	10

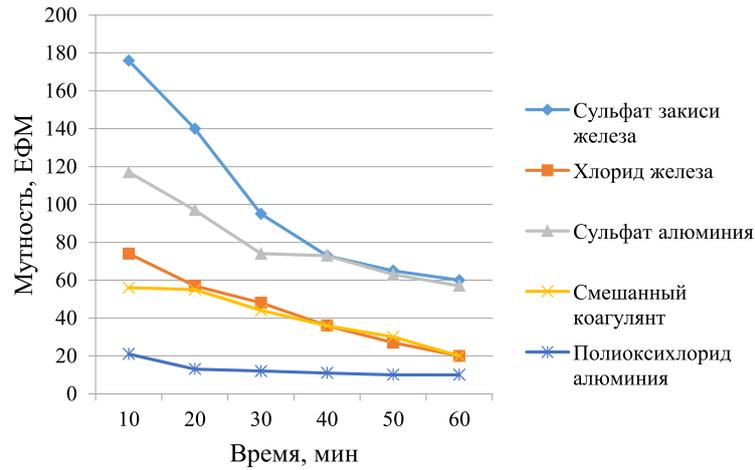


Рис. 2. Зависимость мутности от времени отстаивания для оптимальных доз всех коагулянтов

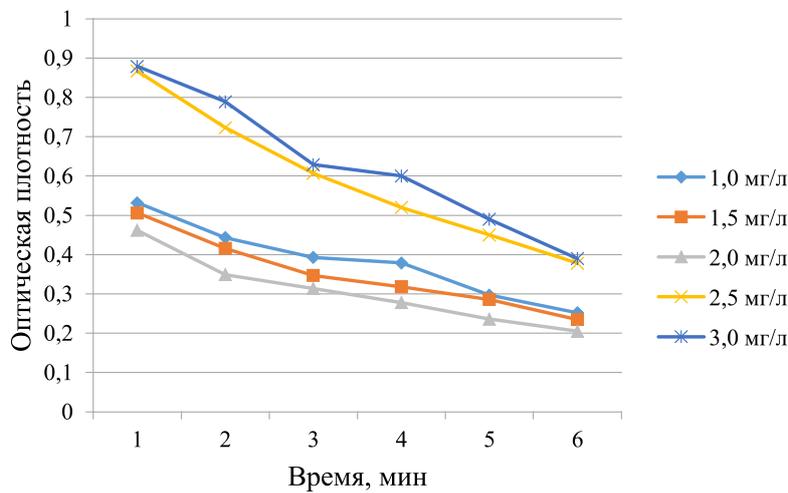


Рис. 3. Зависимость оптической плотности от времени отстаивания для оптимальной дозы коагулянта (200 мг/л) и различных доз флокулянта ПАА

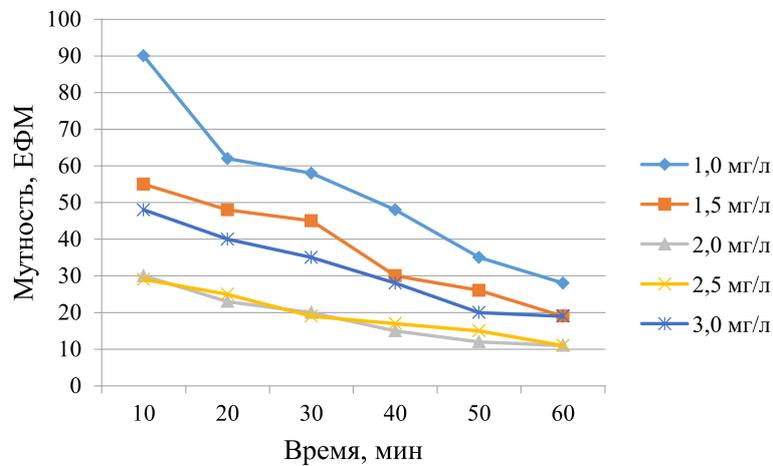


Рис. 4. Зависимость мутности от времени отстаивания для дефицитной дозы коагулянта (150 мг/л) и различных доз флокулянта ПАА

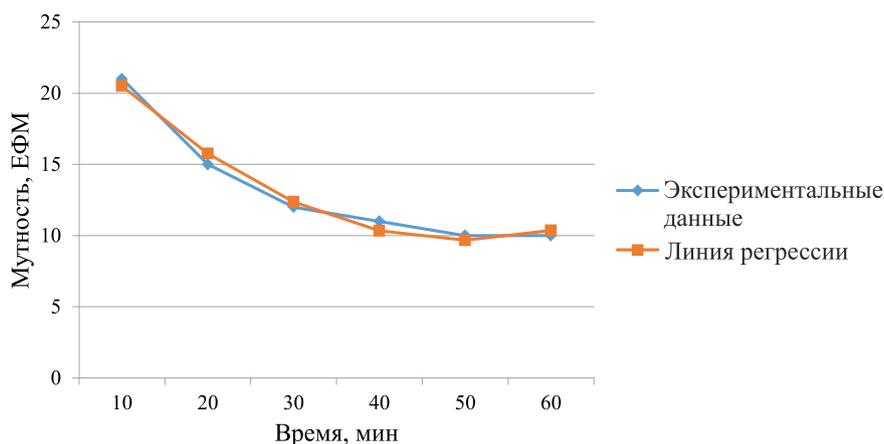


Рис. 5. Зависимость мутности от времени отстаивания для полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30 (200 мг/л)

Определили содержание свинца в сточной воде после процессов коагуляции и флокуляции плумбоновым методом согласно ГОСТ 18293-72 [10]. Оптическая плотность раствора составила 0,080, что соответствует содержанию свинца 1,5 мг/л.

Оценка достоверности полученных результатов: провели оценку достоверности полученных результатов для процессов коагуляции с использованием полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30 в оптимальной дозе 200 мг/л и полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30 дозой 150 мг/л в сочетании с флокулянт ПАА дозой 2 мг/л. Для этого определили функцию изменения мутности сточных вод с течением времени, применив метод регрессионного анализа.

Анализ экспериментальных данных показал, что функции изменения мутности сточных вод в зависимости от времени отстаивания для процессов коагуляции с использованием полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30 в оптимальной дозе 200 мг/л и полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30 дозой 150 мг/л в сочетании с флокулянт ПАА дозой 2 мг/л являются убывающими степенными функциями второго порядка и объективно описывают кинетику отстаивания сточных вод.

### Выводы

В процессе проведения исследований были приготовлены модельные сточные воды, состав и свойства которых максимально приближены к реальным сточным водам АО «Тюменский аккумуляторный завод». Их мутность составила 315 ЕФМ, содержание свинца – 580 мг/л.

В ходе эксперимента были определены оптимальные дозы пяти коагулянтов (сульфат закиси железа  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 300 мг/л, хлорное железо  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – 250 мг/л, сульфат алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  – 300 мг/л, смешанный коагулянт  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (1:1) – 150 мг/л и полиоксихлорид алюминия  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  торговой марки Аква-Аурат 30 – 200 мг/л). Среди них был выбран наиболее эффективный коагулянт – полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат 30, использование которого позволило снизить мутность сточных вод до 10 ЕФМ, а содержание свинца – до 5 мг/л.

В процессе исследования эффективности трех различных флокулянтов дозой 2 мг/л (Praestol 2530 TR, Floпам 4350 SH и Полиакриламид-гель технический ФГУП «Завод им. Я.М. Свердлова» (ПАА)) было установлено, что наиболее подходящим для данных сточных вод является ПАА. Также было установлено, что наиболее эффективное осветление воды при использовании коагулянта совместно с флокулянт достигается при применении дефицитной дозы коагулянта полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30 (150 мг/л), а не оптимальной (200 мг/л). Далее был проведен подбор оптимальной дозы ПАА, которая составила 2 мг/л. Использование ПАА в данной дозе позволило добиться снижения мутности сточных вод до 10 ЕФМ, а содержание свинца – до 1,5 мг/л.

Данная схема очистки более эффективна, чем та, что в данный момент используется на АО «Тюменский аккумуляторный завод», так как значительно повышает качество сточных вод за счет использования бо-

лее современных реагентов в их оптимальных дозах.

Работа имеет непосредственную практическую значимость, так как ее результаты могут быть использованы для усовершенствования процессов очистки сточных вод на АО «Тюменский аккумуляторный завод».

#### Список литературы / References

1. Халтурина Т.И. Очистка сточных вод промышленных предприятий. Красноярск, 2014. 164 с.  
Halturina T.I. Sewage treatment of the industrial enterprises. Krasnoyarsk, 2014. 164 p. (in Russian).
2. Обзор рынка неорганических коагулянтов в России и Казахстане. 3-е изд. М.: ООО ИГ ИНФОМАЙН, 2015. 134 с.  
The review of the market of inorganic coagulants in Russia and Kazakhstan. the 3rd prod. M.: ООО ИГ ИНФОМАЙН, 2015. 134 p. (in Russian).
3. Bing Wang, Yiyu Shui, Min He, Puzhen Liu. Comparison of flocs characteristics using before and after composite coagulants under different coagulation mechanisms. *Biochemical Engineering Journal*. 2017. Vol. 121. P. 107–117. DOI: 10.1016/j.bej.2017.01.020.
4. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод: монография. М., 2005. 571 с.  
Draginsky V.L., Alekseeva L.P., Getmantsev S.V. Coagulation in technology of purification of natural waters: monograph. M., 2005. 571 p. (in Russian).
5. Jack Lin, Sara Couperthwaite, Graeme J. Millar. Effectiveness of Aluminium Based Coagulants for Pre-Treatment of Coal Seam Water. *Separation and Purification Technology*. 2017. Vol. 177. P. 207–222. DOI: 10.1016/j.seppur.2017.01.010.
6. Коева А.К., Максимова С.В., Качалова Г.С. Обработка промывных вод станции водоподготовки города Курган на реке Тобол // *Современные наукоёмкие технологии*. 2014. № 5. С. 47–50.  
Koyeva A.K., Maximova S.V., Kachalova G.S. Processing of washing waters of the station of water treatment of the city of Kurgan on the Tobol River // *Modern high technologies*. 2014. № 5. P. 47–50 (in Russian).
7. Качалова Г.С. Использование современных коагулянтов и флокулянтов в процессе коагулирования сточных вод // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. № 2. С. 23–27.
8. Качалова Г.С. Use of modern coagulants and flocculant in the course of a koagulirovaniye of sewage // *International Journal of Applied and Fundamental research*. 2018. № 2. P. 23–27 (in Russian).
9. Теория применения флокулянтов. [Электронный ресурс]. URL: [http://floculant.ru/content/files/Teoriya\\_primeneniya.pdf](http://floculant.ru/content/files/Teoriya_primeneniya.pdf) (дата обращения: 05.05.2019).
10. Теория флокулянтов. [Электронный ресурс]. URL: [http://floculant.ru/content/files/Teoriya\\_primeneniya.pdf](http://floculant.ru/content/files/Teoriya_primeneniya.pdf) (date of access: 05.05.2019) (in Russian).
11. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 704 с.  
Voronov Yu.V., Yakovlev S.V. Water disposal and sewage treatment. M.: Publishing house of Association of construction higher education institutions, 2006. 704 p. (in Russian).
12. ГОСТ 18293-72. Вода питьевая. Методы определения содержания свинца, цинка, серебра. М.: Стандартинформ, 2010.

УДК 504.455:504.064

## ЭКСПЕРТИЗА ЭКОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ – ОЗЕРА СВЕТЛОЯР НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

**Козлов А.В., Маркова Д.С., Соколюк С.А., Тогузов В.И.**

*ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет  
имени Козьмы Минина», Нижний Новгород, e-mail: a.v.kozlov\_ecology@mail.ru*

В работе дана экспертная оценка эколого-гидрохимического состояния воды оз. Светлояр. Объект исследования обладает геологической и культурной уникальностью, входит в Единый государственный реестр объектов культурного наследия народов России, является составным элементом «Культурного ландшафтно-го комплекса «Озеро Светлояр и село Владимирское» и представляет собой государственный памятник природы федерального значения, единственный в Нижегородской области. Экспертизу воды озера проводили в осенний период 2018 г. и весной 2019 г.; пробы отбирали из четырех точек, равномерно удаленных друг от друга по периметру зеркала водоема, и в течение двух дней после отбора проводили лабораторные исследования. Анализ проводился на базе Эколого-аналитической лаборатории мониторинга и защиты окружающей среды при Мининском университете по базовым органолептическим, химическим и биохимическим показателям, типичным для пресных водоемов. Установлено соответствие объекта исследования категории пресных водоемов, практически не испытывающих антропогенных нагрузок. Воды озера характеризовались наилучшими органолептическими свойствами, ультрапресной минерализацией и минимальной жесткостью, а также нейтральной реакцией среды. Гидрохимия водоема определена наличием солей железа, а анионный состав представлен гидрокарбонатами, сульфатами и незначительным количеством хлоридов. Биогенные элементы были идентифицированы в воде в несущественном количестве, которое к весеннему периоду, как правило, было снижено. На основе динамики биохимических показателей установлено, что в водоеме с оптимальным качеством происходит деградация поступающего органического веществ и отсутствует тенденция его заболачивания. Для выявления наличия в озере геоэкологических барьеров, характерных для местной территории, необходимо продолжить изучение воды объекта с расширением спектра определяемых показателей в катионно-анионном составе воды.

**Ключевые слова:** вода озера Светлояр, памятник природы федерального значения, гидрохимия, гидробиология, экологическая экспертиза

## EXAMINATION OF ECOLOGY-HYDROCHEMICAL CONDITION OF NATURE SANCTUARY – THE LAKES SVETLOYAR OF THE NIZHNY NOVGOROD REGION

**Kozlov A.V., Markova D.S., Sokolyuk S.A., Toguzov V.I.**

*Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod,  
e-mail: a.v.kozlov\_ecology@mail.ru*

In work the ecology-hydrochemical condition of water of the lake Svetloyar is expertized. An object of a research has geological and cultural uniqueness, enters the Unified State register of objects of cultural heritage of the people of Russia, is a component «The cultural landscape complex «Lake Svetloyar and Village Vladimir» and represents the State nature sanctuary of Federal importance as only in the Nizhny Novgorod Region. Expertise of water of the lake was carried out during the autumn period of 2018 and spring of 2019; tests selected from four points evenly remote from each other on reservoir mirror perimeter, and within two days after selection conducted laboratory researches. The analysis was carried out on the basis of Ecology-analytical laboratory of monitoring and environment protection at the Mininsky university on the basic organoleptic, chemical and biochemical indicators typical for fresh reservoirs. Compliance of an object of a research of category of fresh reservoirs, almost not experiencing anthropogenic strain is established. Waters of the lake were characterized by the best organoleptic properties, an ultra fresh mineralization and the minimum rigidity and also neutral reaction of the environment. The hydrochemistry of a reservoir is defined by availability of salts of iron, and the anion structure is presented by hydro carbonates, sulfates and insignificant amount of chlorides. Biogenous elements were identified in water in insignificant quantity which by the spring period was, as a rule, reduced. On the basis of dynamics of biochemical indicators it is established that in a reservoir to optimum quality there is a degradation arriving organic substances and there is no trend of its bogging. For identification of existence in the lake of the geoecological barriers characteristic of the local territory, it is necessary to continue object water studying with expansion of a range of the defined indicators in a cationic and anionic composition of water.

**Keywords:** the lake «Svetloyar» water, nature sanctuary of Federal importance, hydrochemistry, hydrobiology, environmental assessment

Согласно основам экологической гидрохимии качество пресноводного водоема представляет собой интегральный комплекс факторов его физико-географического и гидрологического состояния как целостного природного (биоценотического) и/или водохозяйственного объ-

екта. В свою очередь, данные факторы непосредственно связаны с контролируемыми показателями состава и свойств водной среды, описывающими эколого-гидрохимический статус воды и ее ответственности действующим нормативным параметрам [1].

Под геохимическим фоном понимается среднее содержание химического элемента (вещества) в пределах однородной геоэкологической системы. С экологической точки зрения анализ геохимического фона ландшафта необходим для идентификации и характеристики условно эталонных территорий, не подверженных какому-либо антропогенному загрязнению, в том числе и за счет атмосферного воздуха как трансграничной динамической среды – переносчика поллютантов [1, 2].

Одним из известных природных водных объектов России, обладающих геологической, геоэкологической и культурной уникальностью, является озеро Светлояр. Озеро расположено на Заволжской территории в Нижегородской области на расстоянии в 130 км к северо-востоку от г. Нижнего Новгорода. Местность имеет южнотаежный восточноевропейский равнинный (низменный) ландшафт.

Территориально озеро расположено в междуречье рек Керженец и Ветлуга, в 1,5 км западнее села Владимирское Воскресенского района Нижегородской области. Озеро имеет форму овала (470×350 м) и аномально большую глубину, достигающую в южной точке 33,4 м. Объем котловины озера составляет около 1,5 км<sup>3</sup>, площадь зеркала воды – 14,83 га, мощность донных отложений – примерно 8 м. Воды озера гидрокарбонатно-кальциевого типа минерализации и питаются в основном за счет пластов грунтовых вод и подводных ключей. Небольшой ручей, отходящий к маловодной реке Люнда (0,5 км), является единственным оттоком воды из озера [3].

На основании постановления Правительства Нижегородской области № 17 от 20.01.2015 г. озеро является объектом культурного наследия (Единый государственный реестр объектов культурного наследия народов РФ), входит в состав Культурного ландшафтного комплекса «Озеро Светлояр и село Владимирское» и является единственным в Нижегородской области государственным памятником природы федерального значения [2].

Озеро получило широкую известность благодаря легенде о «невидимом граде Китеже», который, по преданию, опустился на дно от монгольских завоевателей и по праву называется «малой Русской Атлантидой». Более 250 лет Светлояр является предметом особого внимания геологов и гидрогеологов, а также местом массового религиозного паломничества [4, 5].

Согласно исследованиям [6, 7] котловина оз. Светлояр имеет импактное происхождение и представляет собой метеоритный кратер голоценового периода. Поскольку главным источником питания озера являются грунтовые и ключевые воды [7, 8], они как среда внутриглубинного метасоматоза пород и миграции вещества на дневную поверхность, определяют преимущественный геохимический фон водоема, что подлежит обязательному изучению для последующего описания региональной биогеохимической специализации территории.

В настоящее время природные водные объекты, в наименьшей степени подвергающиеся антропогенному влиянию, являются прототипами водной среды обитания естественных биогеоценотических систем, которые, в свою очередь, выполняют региональную функцию динамического равновесия в биогеохимических циклах превращения веществ [9, 10]. В связи с этим, экспертиза геоэкологического состояния таковых водных объектов относится к приоритетным направлениям регионального экологического мониторинга.

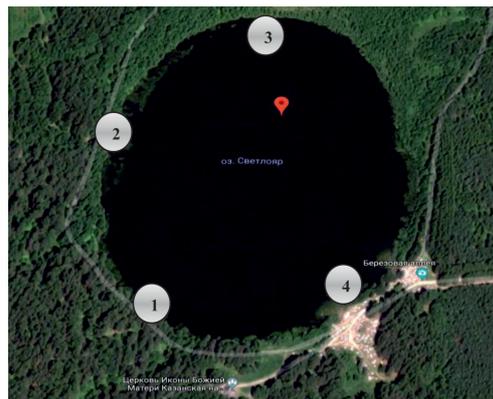
В призме современного повсеместного техногенного давления на компоненты окружающей среды, отмечаемые в научной литературе [11, 12, 13], методическим комплексом экспертной экологической оценки природных гидроэкотопов служит анализ вариабельности показателей, отражающих гидрохимический и гидробиологический статус водоема.

Цель исследования: экспертиза экологического состояния воды оз. Светлояр на основе базовых показателей гидрохимии и гидробиологии пресных водоемов.

#### **Материалы и методы исследования**

Отбор проб воды из оз. Светлояр проводился в ноябре 2018 г. и в апреле 2019 г. из четырех точек (рисунок) в полиэтиленовые емкости в соответствии с ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб» и ГОСТ 17.1.5.05-85 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков» с помощью батометра гидрологического БГ-1,0.

Пробы воды доставляли в лабораторию и анализировали в первые два дня после отбора. Анализ проводился в Эколого-аналитической лаборатории мониторинга и защиты окружающей среды при Мининском университете по основным органолептическим, гидро- и биохимическим показателям.



*Вид на озеро Светлояр и схема расположения точек отбора проб воды*

Определение органолептических показателей проб воды, жесткости, минерализации и кислотности проводили по общепринятым методам. Определение содержания в пробах воды соединений азота (нитратов и катиона аммония) – методами ионселективной ионометрии по РД 52.24.367-2010 и РД 52.24.324-2012 соответственно; содержание хлоридов – аргентометрией по ГОСТ 4245-72, содержание сульфатов – йодометрией по ГОСТ 31940-2012, содержание фосфатов и общего железа – спектрофотометрией по ГОСТ 18309-2014 и ПНД Ф 14.1:2:4.50-96 соответственно; суммарное содержание тяжелых металлов (Zn, Cd, Pb и Cu) в воде определяли методом инверсионной вольтамперометрии на вольтамперометре-полярографе TA-Lab по ПНД Ф 14.1:2:4.222-06.

Биохимическое состояние воды водоема оценивалось по содержанию растворенного кислорода методом йодометрического титрования по Винклеру (РД 52.24.419-2005); химическое потребление кислорода – по перманганатной окисляемости воды (ПНД Ф 14.1:2:4.154-99), биологическое (7-суточное) потребление кислорода – по РД 52.24.420-2006.

Статистическая обработка выполнялась с помощью вариационного анализа данных в программе MS Office Excel; аналитическая повторяемость измерений – трехкратная.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

В табл. 1 показана вариабельность органолептических и общих свойств воды оз. Светлояр. Установлено отсутствие запаха в пробах воды, который мог бы был замечен потребителем (1 балл), наивысшая степень прозрачности воды (60 см стол-

ба Снеллена) и, как следствие, отсутствие в ней примесей, оказывающих влияние на мутность. Данные свойства сохранялись при перезимовке озера и оказались неизменны к весеннему отбору.

Водородный показатель (рН) варьировал не более чем на 3–5 % по сезонам и находился в пределах нейтральных значений. Содержание сухого остатка в пробах (показатель общей минерализации) практически не имело вариации как между точками отбора проб, так и между периодами отбора, что явно свидетельствует о геохимической однородности воды в озере. Уровень показателя минерализации вод характеризует ее как ультрапресную, что также подтверждается показателем общей жесткости, который варьировал в пределах 10–12 % по акватории озера и не выходил за пределы категории мягкой воды.

Данные табл. 2 отражают уровень и степень изменения показателей катионно-анионного состава воды оз. Светлояр, что, как известно [14], является неотъемлемой характеристикой базовых гидроэкологических свойств пресных водоемов. Содержание неорганических соединений азота (аммиачной и нитратной форм) в воде в период после схода льда (весна 2019 г.) находилось на значительно более низком уровне по отношению к данным осеннего отбора, что может быть объяснено отсутствием поступления органического вещества с прибрежных фитоценозов в воду за счет перекрытия водоема толщиной льда, а также существенным замедлением процессов сапротрофной аммонификации и нитрификации органического вещества, пребывающего в самом водоеме. При этом уровень содержания полифосфатов, варьирующих в водах озера до 61 % в осен-

ний период и в два раза ниже – в весеннее время, находился на значительном уровне в апреле 2019 г. По-видимому, соединения фосфора имеют свойство усиления аккумуляции в воде непроточных водоемов

к весеннему времени за счет замедленного их потребления как носителя биогенного элемента гидробионтами и, в первую очередь, пелагическими организмами (планктоном), в зимний период.

**Таблица 1**  
Органолептические и обобщенные показатели качества воды озера Светлояр

Показатель	Значения по точкам отбора				M ± m	V, %	ПДК
	I	II	III	IV			
2018 г.							
Запах, балл	1	1	1	1	1	–	2
Цветность, °	10	10	10	10	10	–	20
Мутность, мг/л	0	0	0	0	0	–	1,5
Прозрачность, см	60	60	60	60	60	–	60
pH, ед. pH	7,4	7,3	7,3	6,9	7,2 ± 0,1	3	6,5–8,5
Сух. остаток, мг/л	145	135	135	133	137 ± 3	4	1000
Жесткость, мг-экв./л	1,50	1,25	1,30	1,60	1,41 ± 0,08	12	7,0
2019 г.							
Запах, балл	1	1	1	1	1	–	2
Цветность, °	10	10	10	10	10	–	20
Мутность, мг/л	0	0	0	0	0	–	1,5
Прозрачность, см	60	60	60	60	60	–	60
pH, ед. pH	6,4	7,1	7,0	7,0	6,9 ± 0,2	5	6,5–8,5
Сух. остаток, мг/л	132	125	121	128	127 ± 2	4	1000
Жесткость, мг-экв./л	1,50	1,25	1,25	1,25	1,31 ± 0,06	10	7,0

Примечание: M ± m (здесь и далее) – среднее арифметическое ± ошибка среднего значения; V, % – коэффициент вариации; ПДК (здесь и далее) – согласно ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования», ГН 2.1.5.2280-07 Дополнения и изменения № 1 к ГН 2.1.5.1315-03, ГН 2.1.5.2307-07 «Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

**Таблица 2**  
Базовый катионно-анионный состав воды озера Светлояр

Показатель	Значения по точкам отбора				M ± m	V, %	ПДК
	I	II	III	IV			
2018 г.							
Аммоний (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0,36	0,29	0,36	0,54	0,39 ± 0,05	28	1,9
Нитраты (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,52	0,57	0,60	0,93	0,66 ± 0,09	28	45
Фосфаты (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0,25	0,20	0,10	0,05	0,15 ± 0,05	61	3,5
Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	2,1	2,8	1,6	2,4	2,2 ± 0,3	23	500
Хлориды (Cl <sup>-</sup> )	2,5	10,1	2,3	4,9	4,9 ± 1,8	73	350
Железо (Fe <sub>общ</sub> )	0,32	0,26	0,17	0,34	0,27 ± 0,04	28	0,3
2019 г.							
Аммоний (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05 ± 0,01	16	1,9
Нитраты (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,07	0,08	0,09	0,09	0,08 ± 0,01	12	45
Фосфаты (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	2,48	1,41	1,44	1,42	1,69 ± 0,26	31	3,5
Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	2,8	2,4	2,7	2,5	2,6 ± 0,1	7	500
Хлориды (Cl <sup>-</sup> )	5,3	6,1	5,0	6,2	5,7 ± 0,3	10	350
Железо (Fe <sub>общ</sub> )	0,03	0,01	0,02	0,03	0,02 ± 0,01	43	0,3

Таблица 3

Показатели биохимического состояния воды озера Светлояр

Показатель	Значения по точкам отбора				M ± m	V, %	ПДК
	I	II	III	IV			
2018 г.							
Раств. O <sub>2</sub> , мг/л	8,0	7,9	7,0	10,0	8,2 ± 0,6	15	>4
ХПК <sub>ПЕРМАНГ.</sub> , мг/л	4,4	4,0	3,9	4,5	4,2 ± 0,2	7	5,0
БПК <sub>7</sub> , мг/л	8,2	7,9	7,9	8,0	8,0 ± 0,1	2	6,0
2019 г.							
Раств. O <sub>2</sub> , мг/л	4,6	7,8	8,2	8,3	7,2 ± 0,9	24	>4
ХПК <sub>ПЕРМАНГ.</sub> , мг/л	5,7	6,0	4,1	6,3	5,5 ± 0,5	18	5,0
БПК <sub>7</sub> , мг/л	6,8	6,8	6,1	7,1	6,7 ± 0,2	6	6,0

Содержание хлорид- и сульфат-анионов в водах практически по всем точкам отбора проб оказалось выше в весенний период, чем при отборе осенью. Аналогичным образом вела себя вариация данных показателей между точками пробоотбора: в диапазоне 7–10% весной и более чем на 20–70% в осеннее время. Высокий уровень варибельности показателей в поверхностных водах озера Светлояр, отобранных и проанализированных осенью, по-видимому, был обусловлен как жизнедеятельностью свободноплавающих гидробионтов, так и активизированными за теплое время биохимическими процессами в толще воды, которые, очевидно, не могут быть однородно протекаемыми на протяжении всей гидромассы.

Содержание общего (ионного) железа в воде озера варьировало значительно (до 28–43% в зависимости от сезона), по точкам I и IV превышало установленные экологические нормы за период осени, но было существенно снижено к весеннему времени (в среднем почти в 14 раз), что, вероятно, было обусловлено переводом ионных форм элемента в нерастворимые соединения в течение холодного времени года.

В табл. 3 представлены гидробиологические показатели воды водоема, отражающие интенсивность протекания различных биохимических процессов, обеспечиваемых жизнедеятельностью различных организмов и деградацией имеющегося в воде органического вещества [15]. Было установлено, что интенсивность минерализационных процессов в воде достаточно высока и однородна по акватории озера, поскольку биологическое потребление кислорода, затрачиваемое на сапротрофные процессы, оказалось выше установ-

ленных нормативов. Иными словами, воды озера обладают достаточным запасом пула микроорганизмов, обеспечивающих разложение поступающего естественного органического вещества.

Данный факт подтверждается наличием легкодоступного субстрата для питания, отраженного уровнем и варибельностью показателя химического потребления кислорода, методически расходуемого на минерализацию свободных органических компонентов мортмассы. Более того, к весеннему периоду ХПК незначительно превысило экологически допустимый уровень, что косвенно подтверждает активизацию накопления органических веществ в толще воды за счет медленного течения жизненных процессов в холодных условиях зимнего времени.

Несмотря на наличие в водах озера мертвой органической биомассы, воды обладают достаточно высоким запасом растворенного кислорода (II класс), что характеризует озеро с динамическим состоянием окислительно-восстановительных процессов и, как следствие, отсутствием тенденции его заболачивания. Подобный геохимический барьер чрезвычайно важен для замкнутого водоема, поскольку предотвращает избыточное накопление растительной биомассы в водах озера за счет баланса ее биохимической деструкции.

Табл. 4 отражает выявление содержания в водах озера следов тяжелых металлов – цинка, кадмия и меди. Показано, что в водах объекта исследования присутствовали данные элементы и, что важно, их встречаемость дважды выявлена в точке IV. Данная территория ежегодно испытывает рекреационную нагрузку со стороны местного и приежного населения, что, по-видимому, могло

быть этим обусловлено. С другой стороны, уровень концентраций обнаруженных в воде экотоксикантов достаточно мал и несущественно варьировал между сезонами отбора проб, что позволяет говорить о нем как о естественном геохимическом фоне, изначально присущем всем естественным водоемам. Здесь важно отметить наличие цинка, как часто встречающегося элемента в пресных водах, а также отсутствие меди, как элемента, редкого для грунтов климатических территорий подзолистых почв.

Содержание свинца в водах, отобранных с точки IV, превысило установленные экологические нормы в 4 раза в осеннее время, однако весной оказалось на порядок ниже ПДК. Такая тенденция явно свидетельствует о наличии временных антропогенных воздействий на состояние водоема, который, в свою очередь, за зимнее время переводит металл в нерастворимую форму и выводит в грунт своего дна.

Ранее (осенью 2016 г.) также проводилась эколого-гидрохимическая оценка одного из памятников природы регионального значения – оз. Ключик, расположенного в Павловском районе Нижегородской области [12]. При сравнении базового катионно-анионного состава данных объектов необходимо отметить, что схожим и достаточно низким уровнем концентраций в обоих водоемах характеризуются показатели содержания полифосфатов и общего железа, в то время как содержание хлоридов и сульфатов в водах оз. Ключик оказались много выше, чем в водах Светлояра. Следствием данных явлений явилась завышенная жест-

кость и общая минерализация вод Ключика, показатели которых выходили за пределы установленных экологических норм, чего, в свою очередь, нельзя сказать про воды оз. Светлояр. Показатели биохимического состояния обоих водоемов находились примерно на одном уровне, характеризующем воды с оптимальным содержанием растворенного кислорода и с приемлемым для природных объектов статусом самоочищения.

Разница в уровне концентраций некоторых абиогенных ионов в водах, по-видимому, обусловлена особенностями геологических пород, формирующих местные территории. Так, если Павловский район расположен преимущественно на территории отложений Четвертичной системы, то Воскресенский район – на образованиях верхнего отдела (Татарский ярус) Пермской системы [16]. Известно, что Четвертичные породы могут характеризоваться значительным содержанием соединений алюминия, кальция и магния, что, в свою очередь, может обуславливать высокий уровень минеральной насыщенности и карбонатной жесткости местных водоемов (как в нашем случае – воды оз. Ключик). В целом нужно отметить, что подобного рода различия в уровне содержания неорганических веществ в водах природных водоемов, испытывающих минимальную антропогенную нагрузку, обусловлены естественным геохимическим фоном, который формируется за счет вымывания компонентов из подстилающих пород конкретной территории.

**Таблица 4**

Содержание тяжелых металлов в воде озера Светлояр

Показатель	Значения по точкам отбора				Среднее	ПДК
	I	II	III	IV		
2018 г.						
Zn (суммарно)	0,0061744	н.п.о.	н.п.о.	0,0079430	0,003529	1,0
Cd (суммарно)	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	0,0004722	0,000118	0,001
Pb (суммарно)	0,0009716	н.п.о.	н.п.о.	0,0045336	0,001376	0,01
Cu (суммарно)	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	1,0
2019 г.						
Zn (суммарно)	0,0003450	н.п.о.	н.п.о.	0,0000119	0,000089	1,0
Cd (суммарно)	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	0,0002701	0,000068	0,001
Pb (суммарно)	н.п.о.	н.п.о.	0,0001631	0,0002602	0,000106	0,01
Cu (суммарно)	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	1,0

Примечание: н.п.о. – значение показателя оказалось ниже предела обнаружения в соответствии с используемой методикой количественного химического анализа проб воды.

### Заключение

В результате экспертизы эколого-гидрохимического состояния оз. Светлояр, являющегося памятником природы федерального значения, расположенного в Воскресенском районе Нижегородской области, установлено наличие типичных гидрохимических и гидробиологических свойств, характерных для пресного незаболачиваемого водоема в виде минимальных органолептических показателей его воды, ультрапресной степени ее минерализации, нейтральной реакции среды и мягкой категории общей жесткости.

Зафиксирована существенная однородность большинства показателей в водах озера между точками отбора как в каждом из периодов исследования, так и между ними. Относительно эколого-гидрохимических критериев воды водоема оцениваются как чистые, характеризуются наличием фоновых концентраций неорганических соединений основных (в том числе – биогенных) элементов, встречающихся в пресных водоемах, а также наличием определенной биологической активности в отношении жизнедеятельности сапротрофных гидробионтов, минерализующих естественное органическое вещество. Для определения геоэкологического статуса озера Светлояр необходимо проводить его дальнейшие исследования в виде длительного изучения геохимического фона воды и динамики концентраций базовых компонентов.

### Список литературы / References

1. Алексеенко В.А. Геоэкология: экологическая геохимия. Ростов н/Д.: Феникс, 2017. 685 с.

Alekseenko V.A. Geoeology: ecological geochemistry. Rostov n/D.: Feniks, 2017. 685 p. (in Russian).

2. Современные ландшафты Нижегородской области / Под ред. Б.И. Кочурова, Н.Ф. Винокуровой, О.В. Глебовой. Н. Новгород: НГПУ им. К. Минина, 2006. 370 с.

Modern landscapes of the Nizhny Novgorod Region / Pod redakcij B.I. Kochurova, N.F. Vinokurovoj, O.V. Glebovoj. N. Novgorod: NGPU im. K. Minina, 2006. 370 p. (in Russian).

3. Баянов Н.Г., Макеев И.С., Воденеева Е.Л. Фитопланктон и продукционно-деструкционные процессы в озере Светлояр // Вестник Мордовского университета. 2009. № 1. С. 218–229.

Bayanov N.G., Makeev I.S., Vodeneeva E.L. Phytoplankton and productional destruction processes in the lake Svetloyar // Vestnik Mordovskogo universiteta. 2009. № 1. P. 218–229 (in Russian).

4. Гладкова Е.В. Легенда о Китеже и концепция времени в романе-хронике С.Н. Дурнынина «Колокола» // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. 2013. Т. 19. № 4. С. 103–106.

Gladkova E.V. Legend of Kitezh and the concept of time in the novel chronicle by S.N. Durnynin of «Bell» // Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.A. Nekrasova. 2013. T. 19. № 4. P. 103–106 (in Russian).

5. Гроза А.Б. Музеефикация культурного ландшафта (на примере озера Светлояр и легенды о сокровенном граде Китеже) // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2008. № 70–1. С. 156–159.

Groza A.B. Museumification of a cultural landscape (on the example of the lake Svetloyar and a legend of an intimate hail Kitezh) // Izvestiya Rossijskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gercena. 2008. № 70–1. P. 156–159 (in Russian).

6. Енгальчев С.Ю. Озеро Светлояр – голоценовый метеоритный кратер на востоке Нижегородской области // Региональная геология и металлогения. 2009. № 37. С. 40–50.

Engalychev S.Yu. The lake Svetloyar is a golotsenovy meteoric crater in the east of the Nizhny Novgorod Region // Regional'naya geologiya i metallogeniya. 2009. № 37. P. 40–50 (in Russian).

7. Енгальчев С.Ю. «Светлояр» – новая импактная структура на территории Европейской России // Разведка и охрана недр. 2009. № 8. С. 3–7.

Engalychev S.Yu. Svetloyar is new impaktny structure in the territory of the European Russia // Razvedka i ohrana neдр. 2009. № 8. P. 3–7 (in Russian).

8. Баянов Н.Г. Гидрохимические показатели оз. Светлояр и их межсезонная динамика // Известия Русского географического общества. 2008. Т. 140. № 2. С. 28–41.

Bayanov N.G. Hydrochemical indicators of the Lake Svetloyar and their interseasonal dynamics // Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva. 2008. T. 140. № 2. P. 28–41 (in Russian).

9. Алимova Г.С., Токарева А.Ю. Гидрохимия озера Иримное // Успехи современного естествознания. 2018. № 11. С. 79–84.

Alimova G.S., Tokareva A.Yu. Lake Irimnoye hydrochemistry // Advances in current natural sciences. 2018. № 11. P. 79–84 (in Russian).

10. Дмитриев В.В., Боброва О.Н., Грачева И.В., Колодкин П.А., Примак Е.А., Седова С.А., Четвергова А.А. Мониторинг и моделирование продукционно-деструкционных отношений в водных экосистемах // Успехи современного естествознания. 2019. № 1. С. 82–87.

Dmitriev V.V., Bobrova O.N., Gracheva I.V., Kolodkin P.A., Primak E.A., Sedova S.A., Chetvergova A.A. Monitoring and modeling productional and destructional the relations in water ecosystems // Advances in current natural sciences. 2019. № 1. P. 82–87 (in Russian).

11. Аничкина Н.В., Повх Т.В. Ландшафтно-экологические особенности бассейна среднего течения реки Воронеж // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 4. С. 387–391.

Anichkina N.V., Povh T.V. Landscape and ecological features of pool of average watercourse Voronezh // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovaniy. 2017. № 4. P. 387–391 (in Russian).

12. Козлов А.В., Тарасов И.А., Дедык В.Е. Эколого-гидрохимическая характеристика акватории озера «Ключик» Павловского района Нижегородской области // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=25909> (дата обращения: 25.05.2019).

Kozlov A.V., Tarasov I.A., Dedyk V.E. Ecological and hydrochemical characteristic of area water the lake «Key» of the Pavlovsk district of the Nizhny Novgorod Region // Modern problems of science and education. 2017. № 1. [Electronic resource]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=25909> (date of access: 25.05.2019) (in Russian).

13. Усманова Л.И. Характеристика химического состава речных вод на территории и в окрестностях города Читы // Успехи современного естествознания. 2018. № 7. С. 200–208.

Usmanova L.I. Characteristic of the chemical composition of river waters in the territory and in the neighborhood of the city of Chita // *Advances in current natural sciences*. 2018. № 7. P. 200–208 (in Russian).

14. Трофимова Т.П., Собакина И.Г. Гидрохимические и гидробиологические условия озер бассейна реки Яна // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 2. С. 146–150.

Trofimova T.P., Sobakina I.G. Hydrochemical and hydrobiological conditions of lakes of a river basin of Yana // *Advances in current natural sciences*. 2018. № 2. P. 146–150 (in Russian).

15. Никитина А.В., Сухинова Т.Г., Проценко С.В., Семенякина А.А., Бедная Т.А. Эколого-гидрофизическое обоснование влияния коэффициента вертикального турбулентного обмена на содержание растворенного кислорода

в придонном слое мелководного водоема // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 1. С. 115–119.

Nikitina A.V., Suhinova T.G., Procenko S.V., Semenyakina A.A., Bednaya T.A. Ecology-gidrophysical justification of influence of coefficient of vertical turbulent exchange for the content of dissolved oxygen in a benthonic layer of a shallow reservoir // *Advances in current natural sciences*. 2018. № 1. P. 115–119 (in Russian).

16. Природа Горьковской области / Под ред. Н.В. Кузнецова. Горький: Волго-Вятское книжное издательство, 1974. 416 с.

The nature of Gorky area / Under the ed. of N.V. Kuznetsov. Gorky: Volga-Vyatka book publ. house, 1974. 416 p. (in Russian).

УДК 504.53:631.45

## НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ БАСЕЙНА РЕКИ ОСА (ВЕРХНЕЕ ПРИАНГАРЬЕ)

Лопатина Д.Н.

ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН, Иркутск, e-mail: daryaneu@mail.ru

В данной работе рассмотрены некоторые свойства почв интересного района исследования – бассейна реки Оса. Изучение этой территории было подробно проведено в диссертационной работе автора. В продолжение данного исследования посчитан новый показатель – коэффициент биологического поглощения для изучаемой территории. Физико-географические условия изучаемой территории являются довольно специфическими (особенности рельефа, климата, наличие карбонатных пород и т.д.), что создало благоприятные условия для формирования типов почв, которые не являются характерными для таежной зоны (черноземы и темногумусовые почвы под лугово-степной и степной растительностью). В работе приведены результаты по исследованию содержания в почвах тяжелых металлов, картографическое отображение их пространственного распределения по территории исследования, зависимость важного показателя плодородия почв – биохимической активности почв – от содержания тяжелых металлов. К тяжелым металлам относятся: свинец, медь, никель, кобальт, хром, ртуть и другие. В небольших количествах некоторые из них необходимы для роста растений и функционирования живых организмов. Однако превышение допустимого их содержания в почвах опасно и приводит к токсичности почвы и накоплению тяжелых элементов в растениях. Нами рассматривался такой важный показатель плодородия, как биохимическая активность почв. Биохимическая активность почв зависит от многих факторов: содержания гумуса в почве, содержания основных элементов питания растений – азота, фосфора и калия, доли агрономически ценных почвенных агрегатов. Хорошие свойства почвы повышают биохимическую активность. Содержание тяжелых металлов также оказывает влияние на биохимическую активность почв – чем выше содержание тяжелых металлов в почве, тем ниже ее биохимическая активность. Исследован такой важный показатель, как коэффициент биологического поглощения. В целом почвы бассейна реки Оса являются слабозагрязненными и, по большей части, залежными, а потому имеют хороший агрономический потенциал, так как в залежном состоянии свойства почв, нарушенные в процессе интенсивного использования в сельском хозяйстве, восстанавливаются.

**Ключевые слова:** почвы, зола растений, накопление тяжелых металлов, биохимическая активность почв, коэффициент биологического поглощения, бассейн реки Оса, Верхнее Приангарье

## ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN SOILS AND PLANTS OF OSA RIVER BASIN (TOP ANGARA REGION)

Lopatina D.N.

V.B. Sochava Institute of geography of SB RAS, Irkutsk, e-mail: daryaneu@mail.ru

In this work some properties of soils of the interesting area of a research – Osa river basin are considered. Studying of this territory was carried in detail out in dissertation work of the author. Throughout this research the new indicator – coefficient of biological absorption for the studied territory is counted. Physiographic conditions of the studied territory are quite specific (features of a relief, climate, existence of carbonate breeds, etc.), it created favorable conditions for formation of types of soils which are not characteristic of a taiga zone (chernozems and dark-humic soils under meadow and steppe and steppe vegetation). In work results on a contents research are given in soils of heavy metals, cartographic display of their spatial distribution on territories of a research, dependence of an important indicator of fertility of soils – biochemical activity of soils – from the content of heavy metals. Treat heavy metals: lead, copper, nickel, cobalt, chrome, mercury and others. In small amounts some of them are necessary for growth of plants and functioning of live organisms. However excess of their admissible contents in soils is dangerous and results in toxicity of the soil and accumulation of heavy elements in plants. Such important indicator of fertility as biochemical activity of soils was considered by us. The biochemical activity of soils depends on many factors – the maintenance of humus in the soil, the maintenance of basic elements of food of plants – nitrogen, phosphorus and potassium, a share agronomical of valuable soil units. Good properties of the soil increase biochemical activity. Content of heavy metals also has an impact on biochemical activity of soils – the content of heavy metals in the soil, the lower it biochemical activity is higher. Such important indicator as coefficient of biological absorption is investigated. In general soils of Osa river basin are poorly polluted and, mostly, deposit, and therefore have the good agronomical potential as in a deposit condition of property of soils, broken in the course of intensive use in agriculture, are restored.

**Keywords:** soils, ashes of plants, accumulation of heavy metals, biochemical activity of soils, coefficient of biological absorption, Osa river basin, Top Angara region

Район исследования – бассейн реки Оса, природа которого является интересным объектом для изучения. Рельеф изучаемой территории в основном пологий, имеющий небольшие уклоны. Такие формы рельефа удобны для сельскохозяйственного использования, потому в этом районе расположен

большой процент пашни (в основном под степной растительностью) [1]. На южных пологих склонах, хорошо обогреваемых, преобладают черноземы и темногумусовые почвы под степной и лугово-степной растительностью [1]. Растительный покров исследуемой территории представлен сочета-

нием лесов, зарослей кустарников, степей, лугов и заболоченных участков. Согласно геоботаническому районированию территории относят к Ольхонско-Приангарскому сосново-лесостепному геоботаническому округу, Унгинско-Осинскому подокругу.

Изучено содержание тяжелых элементов в почвах на территории бассейна реки Оса, которые в небольших концентрациях присутствуют в почве и необходимы для роста растений и существования живых организмов. Однако превышение их допустимого содержания в почвах опасно и может привести к токсичности – растения начинают поглощать тяжелые металлы в избыточном количестве, что в дальнейшем негативно отражается и на живых организмах. Медь иногда содержится в удобрениях. В малых количествах она необходима для нормального функционирования растений [1]. Однако повышение концентрации меди в почве приведет к замедлению роста растений и снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Высокая концентрация меди в почве может появиться из-за антропогенного загрязнения. Свинец является наиболее токсичным элементом. Большое количество свинца в прошлом попадало в воздух с выхлопными газами автомобилей. Загрязнение свинцом почв, расположенных вдоль автомобильных дорог, распространяется на расстояние до двухсот метров. Свинец очень токсичен для человека, его попадание в организм через сельскохозяйственные продукты может привести к поражению центральной нервной системы и внутренних органов. Марганец также является очень важным микроэлементом для питания растений. В условиях недостатка марганца в почве растения могут заболеть, а также снижается урожайность различных культур [1]. Однако, при возникновении в почве большой концентрации марганца, быстро возникает его переизбыток, что вызывает токсичность почвы. Кобальт не имеет слишком широкого распространения в природе, но он также необходим для функционирования растений. Этот элемент входит в состав некоторых минеральных удобрений. Однако, большое количество кобальта в составе удобрений может оказать токсичное воздействие на многие сельскохозяйственные культуры. Стронций может присутствовать в составе фосфорных удобрений. В малом количестве он не является опасным, но его переизбыток может сделать почву токсичной и создать препятствия ее плодородию. Хром иногда

входит в состав фосфорных удобрений. Из этого следует, что, безусловно, тяжелые элементы присутствуют в природе и в малых количествах полезны для растений, но как их недостаток, так и переизбыток в почве имеют не очень хорошие последствия.

Цель исследования: выявить агрогенные и постагрогенные изменения свойств почв на территории бассейна реки Оса. В данной работе был рассчитан коэффициент биологического поглощения, чтобы определить, какие элементы наиболее сильно накапливаются в растениях на изучаемой территории, а какие – наименее.

#### **Материалы и методы исследования**

Валовое содержание макро- и микроэлементов в почвах установлено количественным спектральным методом на спектрографе ДФС-8 и атомно-эмиссионным методом на приборе Optima 2000 DV (фирмы Perkin Elmer) в сертифицированном химико-аналитическом центре Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. Для определения биохимической активности почв был использован экспресс-метод Т.В. Аристовской, М.В. Чугуновой [2]. Суть метода в том, чтобы определить скорость (в часах) изменения рН от выделяемого аммиака при разложении карбамида, как суммарный результат биохимической деятельности почвенной микрофлоры и отчасти растительности. Таким образом, чем меньше количество часов, регистрирующих скорость реакции, тем выше биохимическая активность почвы.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Нами определено, что почвы сельскохозяйственных угодий вблизи свалок и населенных пунктов бассейна реки Оса загрязнены следующими элементами: V, Pb, Cr, Cu, Co, Ni, Sr – валовое содержание которых в некоторых образцах имеет превышение регионального фона этих элементов для Прибайкалья от 1,5 до 8 раз. Концентрации свинца и никеля в некоторых образцах превышают ПДК и ОДК в 1,1–1,5 раз [1, 3, 4]. Высокое содержание Sr, Cr и Ni установлено и в почвообразующих породах исследуемой территории, что связано с их естественным состоянием, но в некоторых случаях имеет место антропогенное воздействие [1].

На рис. 1 и 3 отобрано пространственное распределение валового содержания свинца и кобальта в поверхностном слое почвы на изучаемой территории. Выявлена

одна ключевая площадка с превышением ПДК концентрацией свинца, что в данном случае может быть связано с близким расположением дороги и населенного пункта.

Нами рассматривался такой важный показатель плодородия, как биохимическая активность почв [2]. Биохимическая активность почв зависит от многих факторов – содержания гумуса в почве, содержания основных элементов питания растений – азота, фосфора и калия, доли агрономически ценных почвенных агрегатов и других показателей. Почва с хорошими показателями, перечисленными выше, имеет, как правило, высокую биохимическую активность. Повышенные содержания тяжелых металлов оказывают токсичное влияние на почву, а значит, отражаются на биохимической активности почв – чем выше содержание тяжелых металлов в почве, тем ниже ее биохимическая активность. Это подтверждается графиками зависимости для свинца и кобальта (рис. 2, 4).

Для полученных нами результатов содержания тяжелых металлов в почвах и золе растений на исследуемой территории нами был посчитан важный показатель – коэффициент биологического погло-

щения. Химические элементы выборочно и с различной интенсивностью поглощаются и накапливаются растениями. Именно поэтому содержания многих элементов в золе растений отличаются от их среднего содержания в земной коре или почве – так как элементы избирательно поглощаются растениями. Б.Б. Полюновым был предложен показатель, который характеризует интенсивность поглощения элементов, он рассчитывается как отношение количества элемента в золе растений к его количеству в почве. А.И. Перельман [6] дал этому коэффициенту название – коэффициент биологического поглощения ( $A_x$ ). В зависимости от величины этого коэффициента химические элементы делятся на элементы биологического накопления ( $A_x > 1$ ) и биологического захвата ( $A_x < 1$ ).

Согласно проведенным исследованиям и расчетам, не все элементы накапливаются в растениях. Согласно коэффициенту биологического поглощения (таблица), лучше всего накапливаются в растениях марганец и медь. Стронций и барий в отдельных образцах также накапливаются. Коэффициент, превышающий 1, выделен жирным шрифтом.

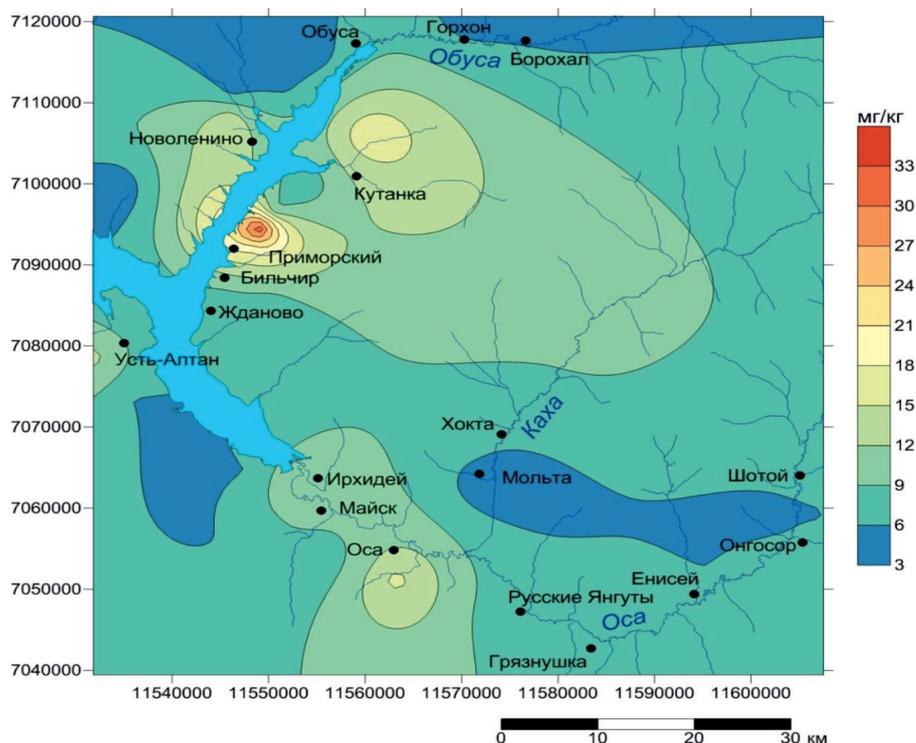


Рис. 1. Валовое содержание свинца в поверхностном слое почв бассейна реки Оса (0–10 см): ПДК (по валовому содержанию) – 32 мг/кг; Фон региональный для Прибайкалья – 10 мг/кг; Фон для бассейна реки Оса – 9 мг/кг [1, 4, 5]

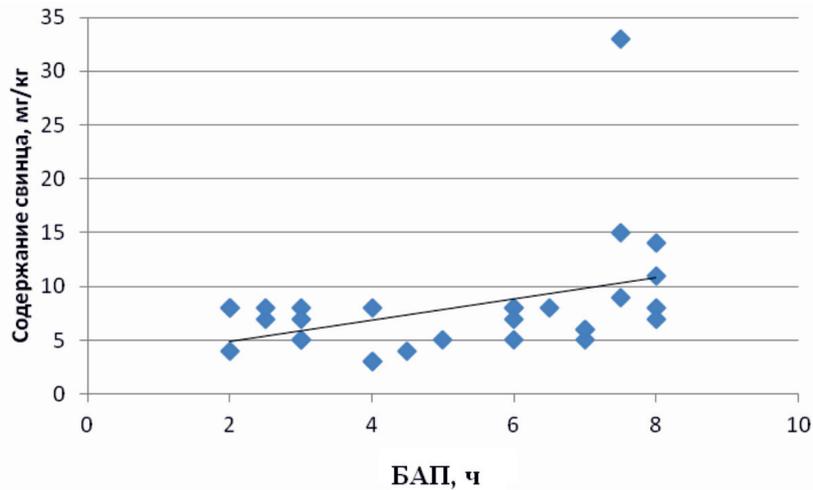


Рис. 2. Биохимическая активность почв (скорость деструкции мочевины до рН = 8,5, ч) в зависимости от валового содержания свинца

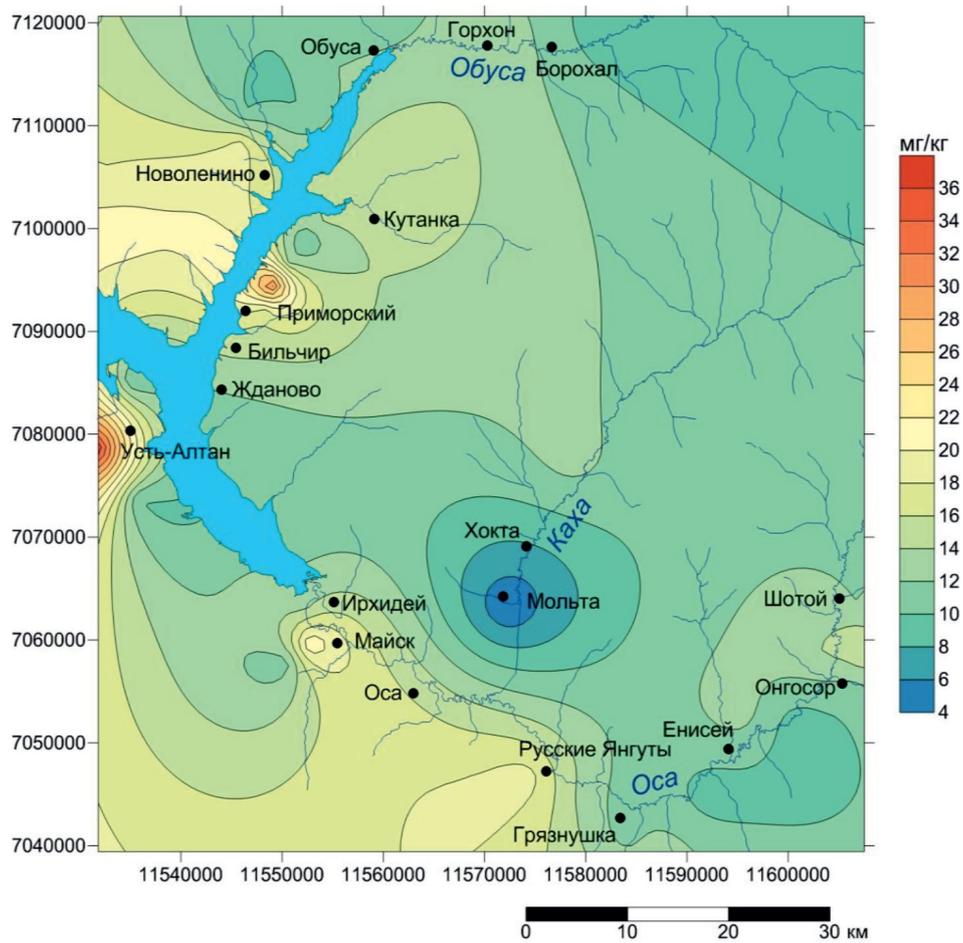


Рис. 3. Валовое содержание кобальта в поверхностном слое почв бассейна реки Оса (0–10 см):  
 Кларк литосферы по Виноградову – 18 мг/кг; Фон региональный для Прибайкалья – 17 мг/кг;  
 Фон для бассейна реки Оса – 14 мг/кг [1, 5]

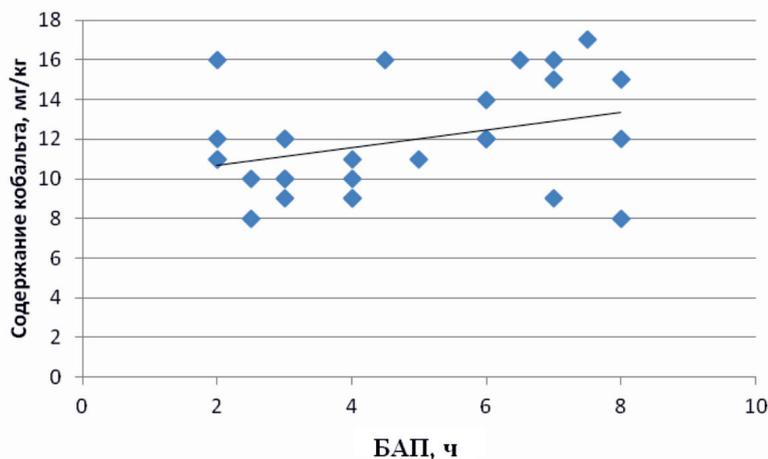


Рис. 4. Биохимическая активность почв (скорость деградации мочевины до рН = 8,5, ч) в зависимости от валового содержания свинца

#### Коэффициент биологического поглощения

№ обр.	Использование	Cr	Ni	Ba	V	Sr	Co	Cu	Mn	Ti
29	2,5 км от п. Унгин (Улей), пашня	0,05	0,59	0,19	0,05	0,01	0,11	<b>4,69</b>	<b>1,54</b>	0,05
42	600 м от п. Кутанка, пашня	0,06	0,44	0,72	0,04	<b>5,70</b>	0,15	<b>2,79</b>	0,96	0,05
74	2 км до п. Шотой, залежь 15–20 лет, пастбище	0,07	0,25	0,99	0,10	0,04	0,20	<b>1,56</b>	<b>1,43</b>	0,08
81	1 км до п. Шотой, условный фон	0,18	0,13	0,88	0,15	0,86	0,10	<b>1,95</b>	0,75	0,13
83	1,5 км от п. Шотой, залежь 15 лет, сенокос	0,60	0,66	<b>2,76</b>	0,68	0,03	0,58	<b>1,73</b>	<b>1,11</b>	0,42
84	1,5 км от п. Шотой, пашня	0,06	<b>1,03</b>	0,38	0,05	0,03	0,20	<b>3,01</b>	<b>1,72</b>	0,05
85	Около п. Онгосор, терраса р. Оса, сенокос	0,07	0,24	0,77	0,05	0,03	0,22	<b>2,12</b>	0,96	0,11
90	Около п. Бурятские Янгуты, пастбище	0,48	0,43	0,80	0,41	0,91	0,56	<b>2,42</b>	<b>1,31</b>	0,37
95	0,5 км от п. Марковка, пастбище, залежь 15–20 лет	0,60	0,44	<b>1,43</b>	0,58	<b>2,06</b>	0,31	0,74	<b>1,41</b>	0,42
96	около д. Грязнушка, пастбище, залежь 10–15 лет	0,70	0,57	<b>1,62</b>	0,58	<b>4,55</b>	0,51	<b>3,01</b>	<b>1,32</b>	0,65
97	2 км от п. Оса, пашня	0,52	0,35	0,79	0,41	0,01	0,39	<b>5,68</b>	0,97	0,32
103	Русские Янгуты, пашня	0,79	0,63	<b>1,30</b>	0,97	0,98	0,55	<b>2,39</b>	<b>1,44</b>	0,55
112	Вблизи п. Хокта, зарастающая лесом залежь 20 лет	0,27	0,24	0,37	0,16	0,51	0,24	<b>4,12</b>	<b>1,81</b>	0,16
126	Обуса, залежь 15–20 лет, пастбище	0,34	0,27	<b>1,86</b>	0,36	<b>1,99</b>	0,47	<b>2,20</b>	<b>1,42</b>	0,32
128	д. Хайга, пашня	0,45	0,66	<b>1,59</b>	0,76	0,01	0,42	<b>2,95</b>	<b>1,23</b>	0,30
130	за д. Усть-Алтан, залежь 15 лет	0,71	0,67	<b>2,44</b>	0,88	<b>2,00</b>	0,92	<b>3,76</b>	<b>1,28</b>	0,90
133	Вблизи д. Усть-Алтан, залежь 15–20 лет	0,66	0,53	<b>1,87</b>	0,82	0,74	0,83	<b>3,49</b>	<b>1,74</b>	0,40
136	Между Усть-Алтан и Майск, пастбище, залежь 17–20 лет	0,90	0,55	<b>1,01</b>	0,99	0,02	0,64	<b>2,99</b>	<b>1,09</b>	0,50

#### Заключение

Благодаря проведенным исследованиям, можно сделать вывод, что содержание тяжелых элементов на территории бассейна р. Оса лишь в отдельных образцах превышает ПДК и ОДК, а благодаря расчету коэффициента биологического поглощения было прослежено, как накапливаются в растениях тяжелые элементы.

В целом почвы бассейна реки Оса являются слабозагрязненными [2], а также, благодаря тому, что в данное время большин-

ство земель являются залежными, район исследования имеет хороший агрономический потенциал для будущего использования в сельском хозяйстве, поскольку в залежном состоянии почва восстанавливает свойства, связанные с плодородием, которые были нарушены в процессе интенсивного сельскохозяйственного использования.

#### Список литературы / References

1. Лопатина Д.Н. Пространственное распределение почв Верхнего Приангарья и их агрогенная трансформация (на примере бассейна реки Оса): дис. ... канд. геогр. наук. Иркутск, 2018. 245 с.

Lopatina D.N. Spatial distribution of soils of the Upper Angara region and their agrogene transformation (on the example of Osa river basin): dis. ... kand. geogr. nauk. Irkutsk, 2018. 245 p. (in Russian).

2. Напрасникова Е.В., Лопатина Д.Н. Экологические особенности почв Верхнего Приангарья в системе природопользования // Успехи современного естествознания. 2017. № 2. С. 128–132.

Naprasnikova E.V., Lopatina D.N. Ecological features of soils of the Upper Angara region in the system of environmental management // Advances in current natural sciences. 2017. № 2. P. 128–132 (in Russian).

3. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/4293850511.pdf> (дата обращения: 08.02.2019).

The Threshold Limit Values (TLV) of chemicals in the soil: Hygienic standards. [Electronic resource]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/4293850511.pdf> (date of access: 08.02.2019) (in Russian).

4. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. [Электронный ресурс]. URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4293850/4293850510.pdf> (дата обращения: 08.02.2019).

The Approximately Admissible Concentration (AAC) of chemicals in the soil. Hygienic standards. [Electronic resource]. URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4293850/4293850510.pdf> (date of access: 08.02.2019) (in Russian).

5. Гребенщикова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А., Ломоносов И.С. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон). Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2008. 234 с.

Grebenshchikova V.I., Lustenberg E.E., Kitayev N.A., Lomonosov I.S. Geokhimiya of the environment of Baikal region (Baikal geoeological ground). Novosibirsk: Akademicheskoe izdatel'stvo «Geo», 2008. 234 p. (in Russian).

6. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. 582 с.

Perelman A.I. Geochemistry. M.: Vysshaya shkola, 1989. 582 p. (in Russian).

УДК 551.242.11:552.5:54

## РЕЗУЛЬТАТЫ U–Pb ДАТИРОВАНИЯ ОБЛОМОЧНЫХ ЦИРКОНОВ ИЗ КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНО-САХАЛИНСКОГО ТЕРРЕЙНА И ИХ ВОЗМОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Малиновский А.И.

*ФГБУН «Дальневосточный геологический институт» Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, e-mail: malinovsky@fegi.ru*

В статье рассматриваются результаты U–Pb изотопного датирования обломочных цирконов из песчаных пород нижней и верхней частей разреза кайнозойских отложений Западно-Сахалинского террейна. Целью исследования было выяснение возраста и возможного положения магматических комплексов источников питания, поставивших обломочный материал в его седиментационные бассейны. Установлено, что песчаники террейна содержат обломочные цирконы с конкордантными U–Pb изотопными возрастными, варьирующими от докембрия до эоцена. Полученные данные позволяют говорить о существовании в кайнозое в источниках сноса широкого возрастного спектра пород. Возрасте основной популяции цирконов с палеоцен-эоценовыми (48–64 млн лет) и маастрихт-альбскими (65–106 млн лет) датировками свидетельствует о том, что основными поставщиками обломочного материала в седиментационные бассейны Западно-Сахалинского террейна, располагавшиеся в кайнозое вдоль края Азиатского континента, вероятнее всего, были гранитоиды богопольского, приморского и татибинского комплексов Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса. Обломочные цирконы с юрскими (155–199 млн лет), триасовыми (203–216 млн лет), пермскими (265–288 млн лет) и силурийскими (412–423 млн лет) датировками являются, по всей видимости, продуктами разрушения многочисленных разновозрастных гранитных массивов Ханкайского террейна западного Приморья. Источниками же самых древних цирконов с докембрийскими возрастными (1224–2420 млн лет) могут рассматриваться гранитно-метаморфические комплексы Сино-Корейского либо Сибирского кратонов, вынос материала с последнего мог осуществляться Палео-Амуром. Небольшое количество цирконов с раннемезозойскими, палеозойскими и докембрийскими возрастными позволяет предполагать, что гранитно-метаморфические комплексы, служившие их источниками, располагались на значительном расстоянии от бассейнов седиментации либо были уже полностью размыты и на осадконакопление влияли незначительно. На основании полученных данных можно говорить, что формирование отложений Западно-Сахалинского террейна происходило непосредственно вдоль края Азиатского континента в бассейне, связанном со сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам.

**Ключевые слова:** Западно-Сахалинский терреин, кайнозой, цирконы, U–Pb изотопное датирование

## THE RESULTS OF U-Pb DATING OF DETRITAL ZIRCONS FROM CENOZOIC DEPOSITS OF THE WEST SAKHALIN TERRANE AND THEIR POSSIBLE SOURCES

Malinovskiy A.I.

*Far East Geological Institute Far East Branch Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: malinovsky@fegi.ru*

The results of U–Pb isotopic dating of detrital zircons contained in the sandstones rocks of the lower and upper sectional parts of Cenozoic deposits from the West Sakhalin Terrane are studied in this article. The purpose of the research was establishing the age and possible location of magmatic complexes of source area, distributing clastic material into sedimentation basins. The sandstones of the terrain proved to contain detrital zircons with concordant U–Pb isotopic ages varying from the Precambrian to Eocene. The obtained data allow speaking about existence in the Cenozoic sources of demolition wide age a range of rocks. Age of the main population of zircons about a Palaeocene–Eocene (48–64 Ma) and Maastrichtia–Albian (65–106 Ma) datings demonstrate that granitoids of Bogopolsky, Primorsky and Tatibinsky complexes of the East Sikhote-Alin volcanic belt were the main suppliers of detrital material in the sedimentation basins of the West Sakhalin terrane which were located in the Cenozoic along edge of the Asian continent, most likely. Detrital zircons with Jurassic (155–199 Ma), Triassic (203–216 Ma), Permian (265–288 Ma) and Silurian (412–423 Ma) datings are most likely to be the failure products of numerous differently aged granite massifs of Khankaisky terrane of West Primorye. The granite-metamorphic complexes of Sino-Korean or Siberian cratons can be considered the sources of the most ancient zircons with the Precambrian ages (1224–2420 Ma) with the bearing out of the material being able to be accomplished by Paleo-Amur. A small amount of zircons with early Mesozoic, Paleozoic and Precambrian age allows to assume that the granite-metamorphic complexes which were their sources were located at considerable distance from sedimentary basins or were already completely indistinct and influenced sedimentation slightly. The data obtained permits us to claim that the formation of deposits of the West Sakhalin terrane took place directly at the margins of Asian continent in the basin connected with the shear dislocation having transform faults.

**Keywords:** West Sakhalin terrane, Cenozoic, zircons, U–Pb-isotopic dating

Одним из актуальнейших направлений литологического изучения террейнов, расположенных на восточной окраине Азиатского континента, является выяснение геодинамических обстановок формирования

слагающих их отложений, а также определение породного состава и возраста их областей питания.

Западно-Сахалинский терреин, расположенный на восточной границе Евразийской

плиты и входящий в состав мезозойско-кайнозойского Сахалинско-Камчатского орогенного пояса, имеет ключевое значение для понимания процессов эволюции зоны перехода от Тихого океана к Азиатскому континенту [1]. В результате проведенных с последние годы исследований были установлены геодинамические обстановки формирования отложений террейна, а также намечены основные источники питания, поставлявшие обломочный материал в его седиментационные бассейны [2, 3].

Целью исследований является уточнение возраста и возможного расположения размывавшихся источников питания на основании U-Pb изотопного датирования обломочных цирконов из кайнозойских терригенных отложений Западно-Сахалинского террейна. В сочетании с результатами традиционных литологических и биостратиграфических исследований полученные данные позволят в дальнейшем полнее расшифровать историю формирования его осадочных бассейнов [4].

#### Материалы и методы исследования

Для геохронологического изучения обломочных цирконов были отобраны две пробы песчаников: образец Н-20 из отложений эоценовой каменной свиты, обнажающейся в правом борту р. Августовки ( $49^{\circ}40'06.9''$  с.ш. и  $142^{\circ}14'12.0''$  в.д.), и образец Н-64 из отложений миоценовой верхнедуйской свиты, развитой в береговых обнажениях Татарского пролива у пос. Дуэ ( $50^{\circ}49'22,9''$  с.ш. и  $142^{\circ}05'25.1''$  в.д.) (рис. 1). Предварительная пробоподготовка и выделение обломочных цирконов из песчаных пород проведены в лаборатории региональной геологии и тектоники ДВГИ ДВО РАН. Цирконы из пород извлекались с помощью тяжелой жидкости (бромформ) после их дробления до 0,25 мм, а окончательный их отбор осуществлялся вручную под биноклем. U-Pb изотопные определения возрастов цирконов выполнены в лаборатории аналитической химии Аналитического центра (ЦКП) ДВГИ ДВО РАН методом LA-ICP-MS на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7500с, комбинированном с приставкой для лазерной абляции NWR-213.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Западно-Сахалинский террейн представляет собой тектонический блок, протягивающийся вдоль побережья Татарского

пролива более чем на 650 км (рис. 1). Границами его служат две системы разломов – Западно-Сахалинская и Тымь-Поронайская. Южным продолжением террейна на о. Хоккайдо является пояс Сорачи-Йезо [1].

Кайнозойские отложения террейна мощностью до 12000 м представлены прибрежно-морскими и континентальными часто угленосными терригенными и вулканогенными породами: песчаниками, алевролитами, аргиллитами, гравелитами, конгломератами, туфами, туффитами, базальтами, углями. Породы в различной степени дислоцированы и с размывом, но без углового несогласия перекрывают меловые отложения. Следует отметить, что отложения, расположенные к северу и югу от широты г. Углегорска ( $49^{\circ}$  с.ш.), различаются по мощностям и фаціальным обстановкам осадконакопления [2; 3, 5]. Кратко остановимся на характеристике каменной и верхнедуйской свит, из которых были отобраны пробы для U-Pb изотопного датирования обломочных цирконов. Залегающая в основании разреза кайнозойских отложений северной части террейна эоценовая каменная свита (мощностью до 250 м) представлена континентальными, преимущественно грубообломочными, терригенными отложениями. В нижней ее части преобладают конгломераты и гравелиты, в средней – грубозернистые песчаники и алевролиты, а в верхней – вновь доминируют конгломераты с прослоями и линзами песчаников, алевролитов и углей. Угленосная миоценовая верхнедуйская свита (мощностью до 600 м) с размывом перекрывает все более древние отложения. В основании обычны горизонты базальных конгломератов. Выше свита состоит из переслаивания песчаников, алевролитов и аргиллитов, содержащих многочисленные пласты и линзы угля, мощностью 2–4 м.

Для U-Pb изотопного датирования цирконов были использованы наиболее типичные по своим вещественным параметрам песчаные пород [3, 6]. Песчаники обеих изученных свит средне- и крупнозернистые со средней либо хорошей степенью окатанности и сортированности обломочного материала. По пороодообразующим компонентам они относятся к кварц-полевошпатовым и полевошпатово-кварцевым грауваккам. Обломочная часть представлена кварцем (24–33%), полевыми шпатами (23–33%) и обломками пород (33–51%), среди которых отмечаются кремнистые, вулканические и терригенные породы, кварциты и сланцы. Среди тяжелых обломочных ми-

нералов резко преобладает циркон, в отдельных пробах его содержание достигает 78%. С цирконом находятся в ассоциации другие типичные представители гранитно-метаморфических пород – гранат (до 17%), турмалин (до 12%), апатит (до 8%). Кроме того, в заметных количествах присутствуют магнетит (до 42%), амфибол (до 11%), лейкоксен (до 8%) и хромит (до 7%). Реконструируемые по вещественному составу

песчаников обстановки осадконакопления соответствуют бассейнам активных континентальных окраин, осложненным сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам. Отложения формировались главным образом за счет размыва сиалической суши, сложенной древними гранитно-метаморфическими и осадочными породами, а также вулканитов энсиалической дуги, аккрецированной к краю континента [3, 6].

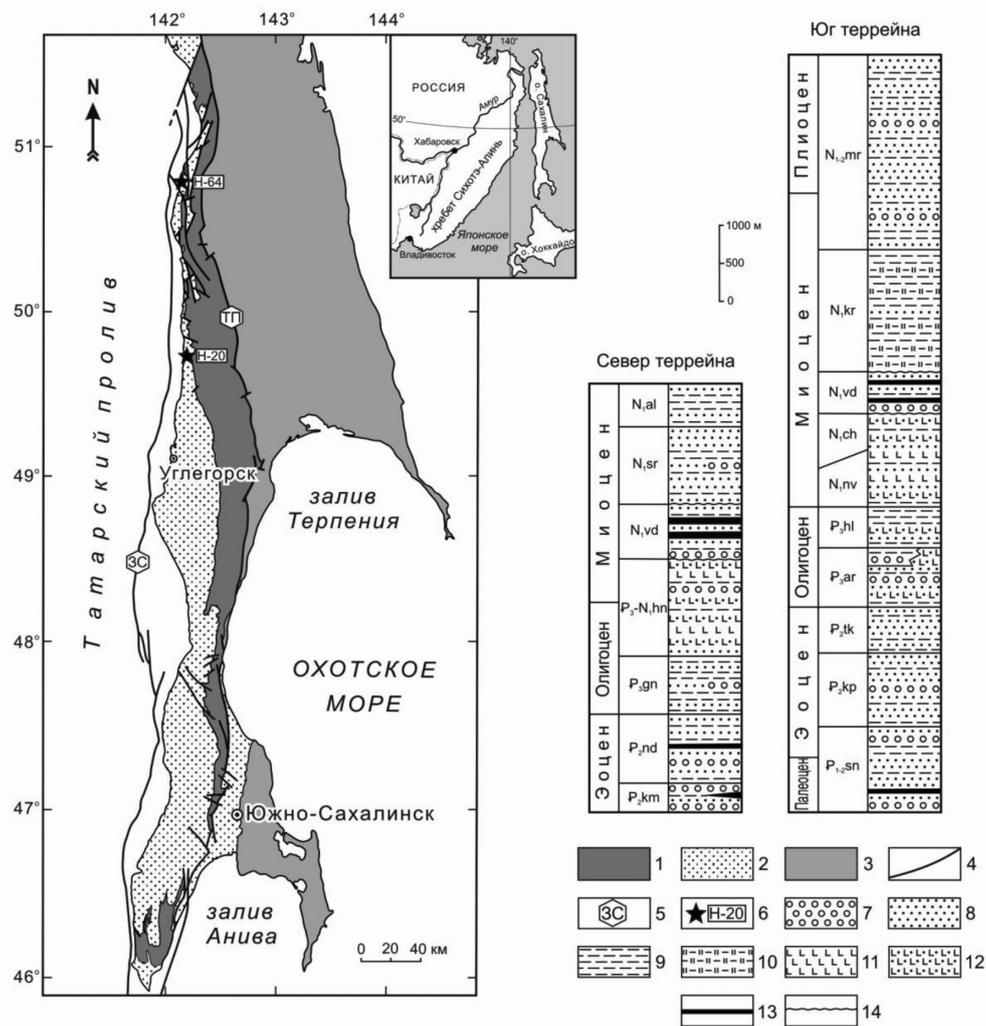


Рис. 1. Схематическая геологическая карта и стратиграфические колонки кайнозойских отложений южной и северной частей Западно-Сахалинского террейна. Для карты: 1 – меловые терригенные образования; 2 – палеоцен-плиоценовые терригенные и вулканогенные образования; 3 – террейны и перекрывающие комплексы Восточного Сахалина; 4 – разломы; 5 – системы разломов: ЗС – Западно-Сахалинская, ТП – Тымь-Поронайская; 6 – места отбора пробы и их номер. Для колонок: 7 – конгломераты и гравелиты; 8 – песчаники; 9 – алевролиты и аргиллиты; 10 – кремнисто-глинистые породы; 11 – базальты; 12 – туфы и туффиты; 13 – угли; 14 – стратиграфические несогласия. Индексы свит: P<sub>1-2</sub>sn – снежинкинская, P<sub>2</sub>km – каменская, P<sub>2</sub>nd – нижнедуйская, P<sub>2</sub>kp – краснопольевская, P<sub>2</sub>tk – такарадайская, P<sub>3</sub>ar – аракайская, P<sub>3</sub>hl – холмская, P<sub>3</sub>gn – геннойшинская, P<sub>3</sub>-N<sub>1</sub>hn – хойнджинская, N<sub>1</sub>nv – невельская, N<sub>1</sub>ch – чеховская; N<sub>1</sub>vd – верхнедуйская, N<sub>1</sub>sr – сертунайская, N<sub>1</sub>kr – курасийская, N<sub>1</sub>al – александровская; N<sub>1-2</sub>tr – маруямская

Определение U-Pb изотопных возрастов обломочных цирконов из песчаников позволяет получить новые данные, детализирующие состав и возраст основных источников питания, поставивших материал в кайнозойские седиментационные бассейны Западно-Сахалинского террейна.

Выделенные из песчаников зерна циркона представлены в основном бесцветными или слабоокрашенными розовыми кристаллами с короткопризматическими и дипирамидальными очертаниями с коэффициентом удлинения 1,5–2,5. Вершины и ребра кристаллов часто сглажены либо слабо окатаны. В катодоллюминесцентном изображении (рис. 2) у большинства зерен наблюдается хорошо выраженная тонкая концентрическая зональность. В некоторых зернах присутствуют мелкие газовой-жидкие включения. Описанная группа цирконов имеет в основном мезо-кайнозойский возраст. Более древние зерна, как правило, средне или хорошо окатаны и не имеют четко выраженной зональности.

Результаты U-Pb датирования приведены на гистограммах и графиках плотности вероятности возрастов (рис. 3). Из 20 детритовых цирконов, изученных в песчаниках эоценовой каменной свиты (обр. Н-20), конкордантными оказались датировки лишь 14 зерен (дискордантность  $|D| \leq 10\%$ ).

Проведенные исследования показали, что в изученных песчаниках присутствуют цирконы преимущественно палеоцен-эоценового (54–65 млн лет, 50% зерен) и мелового (69–99 млн лет, 36% зерен) возраста.

В резко подчиненном количестве (по одному зерну) встречаются цирконы юрского (166 млн лет) и позднедокембрийского (1375 млн лет) возраста. Обращает на себя внимание, что возраст самых «молодых» цирконов (54 и 55 млн лет) хорошо согласуется с биостратиграфическим возрастом свиты [5]. Среди 61 датированного обломочного циркона из песчаников миоценовой верхнедуйской свиты (обр. Н-64) конкордантными оказались 44 зерна. Большая часть из них также имеет палеоцен-эоценовый (46–64 млн лет, 25% зерен) и меловой (69–106 млн лет, 30%) возраст. Кроме того, часть зерен циркона характеризуется юрским (155–199 млн лет, 11%), триасовым (203–216 млн лет, 7%), пермским (265–288 млн лет, 7%) и силурийским (412–423 млн лет, 4%) возрастными. Остальные зерна образуют совокупность, имеющую широкий диапазон докембрийских возрастов (1224–2420 млн лет, 16%). Следует отметить, что очень близкие результаты были получены при U-Pb исследованиях возрастов цирконов из миоценовых отложений южной части Западно-Сахалинского террейна [7]. В обоих случаях на диаграммах вероятности распределения U-Pb изотопных возрастов цирконы образуют сходные возрастные совокупности, характеризующиеся преобладанием палеогеновой и меловой возрастных групп и подчиненными пермско-юрской, раннепалеозойской и докембрийской группами.

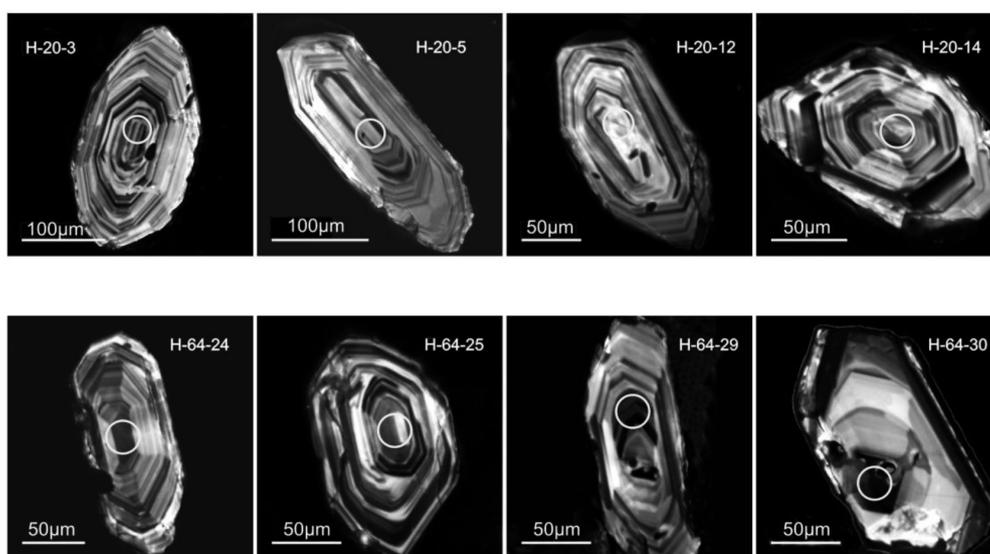


Рис. 2. Катодоллюминесцентные изображения обломочных цирконов с конкордантными U-Pb возрастными из песчаников каменной (проба Н-20) и верхнедуйской (проба Н-64) свит

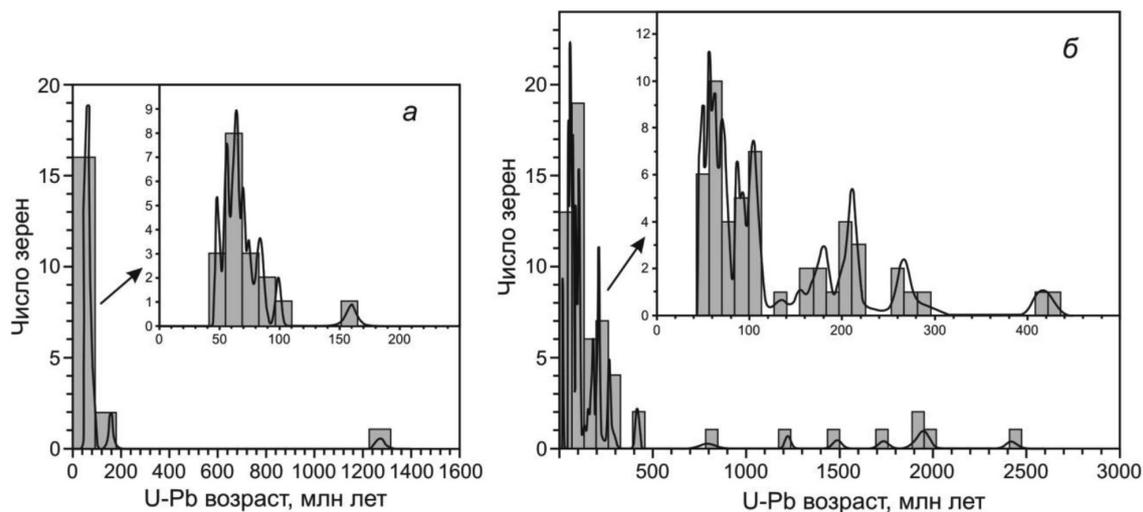


Рис. 3. Гистограммы и графики плотности вероятности распределения U-Pb изотопных возрастов обломочных цирконов из песчаных пород: а – каменской (проба Н-20) и б – верхнеудайской (проба Н-64) свит

Полученные данные по U-Pb датированию обломочных цирконов свидетельствуют, что область питания, поставившая обломочный материал в седиментационные бассейны Западно-Сахалинского террейна, в кайнозой объединяла в себе широкий возрастной спектр гранитно-метаморфических пород, слагавших зрелую континентальную кору восточной окраины Азиатского континента. Источниками двух самых многочисленных популяций цирконов с палеоцен-эоценовыми и маастрихт-альбскими датировками (48–64 и 65–106 млн лет), вероятнее всего, были гранитоиды богопольского, а также приморского и татибинского комплексов соответственно, широко распространенных в Восточно-Сихотэ-Алинском вулканическом поясе (Приморье) [8]. В качестве источников цирконов с возрастом 155–423 млн лет могут рассматриваться многочисленные раннепалеозойские-раннемезозойские гранитные массивы Ханкайского террейна Приморья, а наиболее древних (1224–2420 млн лет) – гранитно-метаморфические комплексы Сино-Корейского либо Сибирского кратонов [1], вынос материала с которого мог осуществляться Палео-Амуром.

Таким образом, данные U-Pb изотопного датирования обломочных цирконов из песчаников кайнозоя Западно-Сахалинского террейна позволяют установить главные и второстепенные источники обломочного материала, выполняющего его осадочные

бассейны. Главными источниками материала при формировании кайнозойских отложений послужили вовлеченные в область денудации палеоцен-эоценовые и маастрихт-альбские гранитоиды восточной части хребта Сихотэ-Алинь. Небольшая доля зерен с раннемезозойскими, палеозойскими и докембрийскими возрастными позволяет предполагать, что гранитно-метаморфические комплексы, служившие их источниками, располагались на значительном расстоянии от бассейнов седиментации либо были уже полностью размывы и на осадконакопление влияли в значительно меньшей мере.

Следует отметить, что полученные данные о возрасте обломочных цирконов и их вероятных магматических источниках подтверждают существующее мнение о формировании кайнозойских отложений Западно-Сахалинского террейна непосредственно вдоль края Азиатского континента в бассейне, связанном с крупномасштабными сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам [2, 6, 7], а не в преддуге бассейне океанической островной дуги.

### Заключение

С целью выяснения возраста и возможного положения источников питания, поставивших обломочный материал в кайнозойские седиментационные бассейны Западно-Сахалинского террейна, было проведено U-Pb изотопное датирование обломочных цирконов из песчаных пород

нижней и верхней частей его разреза. Исследованиями были обнаружены цирконы широкого возрастного диапазона. Большая часть из них имеет палеоцен-эоценовый и меловой возраст, что свидетельствует об их происхождении из гранитоидов богпольского, приморского и татибинского комплексов Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса. Источниками цирконов с юрскими, триасовыми, пермскими и силурийскими возрастными могут рассматриваться гранитные массивы Ханкайского террейна Приморья, а наиболее древних, докембрийских, гранитно-метаморфические комплексы Сино-Корейского либо Сибирского кратонов.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-05-00857-а.*

#### Список литературы / References

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Под ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.  
Geodynamics, Magmatism and Metallogeny of the Russian East / Ed. A.I. Khanchuk. Vladivostok: Dalnauka, 2006. Book 1. 572 p. (in Russian).
2. Голозубов В.В., Касаткин С.А., Гранник В.М., Нечаюк А.Е. Деформации позднемеловых и кайнозойских комплексов Западно-Сахалинского террейна // Геотектоника. 2012. № 5. С. 22–44.  
Golozubov V.V., Kasatkin S.A., Grannik V.M., Nechaev A.E. Deformation of the Upper Cretaceous and Cenozoic complexes of the West Sakhalin terrane // Geotectonics. 2012. vol. 46. no. 5. P. 333–351. DOI: 10.1134/S0016852112050020.
3. Малиновский А.И. Геохимия и палеогеодинамические обстановки формирования кайнозойских отложений Западно-Сахалинского террейна // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2018. Т. 93. № 2. С. 54–70.  
Malinovsky A.I. Geochemistry and paleogeodynamic settings of the formation of Cenozoic deposits of the West Sakhalin Terrane // Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelej prirody. Otdel geologicheskij. 2018. V. 93. № 2. P. 54–70 (in Russian).
4. Маслов А.В., Мизенс Г.А., Вовна Г.М., Киселёв В.И., Ронкин Ю.Л. Обломочные цирконы из песчаников нижнего триаса Бельской впадины Предуральского прогиба: LA-ICP-MS U-Pb изотопные возраста и распределение редких и рассеянных элементов // Литосфера. 2016. № 1. С. 7–28.  
Maslov A.V., Mizens G.A., Vovna G.M., Kiselev V.I., Ronkin Yu.L. Detrital zircons from Lower Triassic sandstones, Belsky depression, Pre-Uralian foredeep: LA-ICP-MS U-Pb isotopic ages and distribution of rare and trace elements // Lithosphere. 2016. № 1. P. 7–28 (in Russian).
5. Гладенков Ю.Б., Баженова О.К., Гречин В.И., Маргулис Л.С., Сальников Б.А. Кайнозой Сахалина и его нефтегазоносность. М.: ГЕОС, 2002. 225 с.  
Gladenkov Yu.B., Bazhenova O.K., Grechin V.I., Margulis L.S., Salnikov B.F. The Cenozoic geology and gas presence in Sakhalin. M.: GEOS, 2002. 225 p. (in Russian).
6. Малиновский А.И. Состав и геодинамическая природа песчаников кайнозоя юга Западно-Сахалинского прогиба // Успехи современного естествознания. 2016. № 3. С. 171–176.  
Malinovsky A.I. Composition and geodynamic nature of the Cenozoic sandstones in the south of the West Sakhalin basin // Advancer in current natural sciences. 2016. № 3. P. 171–176 (in Russian).
7. Zhao P., Li J.-j., Alexandrov I., Ivin V., Jahn B.-m. Involvement of old crustal materials during formation of the Sakhalin Island (Russian Far East) and its paleogeographic implication: Constraints from detrital zircon ages of modern river sand and Miocene sandstone // J. Asian Earth Sci. 2017. V. 146. P. 412–430. DOI: 10.1016/j.jseae.2017.06.031.
8. Гребенников А.В., Попов В.К., Ханчук А.И. Опыт петрохимической типизации кислых вулканических пород различных геодинамических обстановок // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32. № 3. С. 68–73.  
Grebennikov A.V., Popov V.K., Khanchuk A.I. Experience of petrochemical typification of acid volcanic rocks from different geodynamic settings // Russian Journal of Pacific Geology. 2013. Vol. 7. № 3. P. 212–216. DOI: 10.1134/S1819714013030044.

УДК 911.2

## ПРИНЦИП ПРЕДЕЛЬНОСТИ И АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОГРАФИИ

<sup>1,2</sup>Напрасников А.Т.

<sup>1</sup>*Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск;*

<sup>2</sup>*Иркутский государственный университет, Иркутск, e-mail: r.kodar@mail.ru*

Раскрыт сценарий формирования природных и хозяйственных систем как фактор их предельного состояния. В геосистемах пределом завершается развитие (адаптация к внешним воздействиям), достижение полной гармонии с климатом (оптимального состояния), следует последующая деградация или обновление. Любые природные системы характеризуются предельными размерами и максимальной интенсивностью. На этих положениях обосновывается их предельное состояние и потенциал хозяйственного освоения. Данные положения были дополнены законом физико-географического процесса и принципом дополнителности. Подобный подход обеспечил анализ и синтез природных и хозяйственных систем как завершающий цикл, свойственный их развитию. В целом для биологической сферы (131,4 млн км<sup>2</sup>) предел составил 32,4 млн км<sup>2</sup>. Это предел освоения крупных природных комплексов. Их суммарная величина значительно больше. Пределом обосновываются также и масса-энергетические балансы обрабатываемых земель. Поэтому возможно рассматривать географический предел как максимальную функцию взаимодействия отдельных ландшафтов с климатом. В конечном итоге достигается их эквифинальное состояние. В конце XX в. площади ряда использованных и резервных земель планеты уже превысили географический предел (34,81 млн км<sup>2</sup>). Например, орошение земель в конце XX в. достигло 1,11 млн км<sup>2</sup>, равное орошению субтропических пустынных земель – 1,06 млн км<sup>2</sup>. Эти ландшафты уже освоены человеком и полностью преобразованы. В остальных системах проявилось полиномиальное сокращение орошаемых площадей относительно их размеров. Последующее расширение орошаемых земель нежелательно. Они затронут трудно осваиваемые переувлажненные и пустынные земли. В связи с этим возникает необходимость повышения продуктивности уже имеющихся пахотнопригодных земель. Далее анализируется необходимость не только теоретических, но и практических исследований рационального землепользования.

**Ключевые слова:** географический предел, сукцессия, климаксовое состояние ландшафта, физико-географический процесс, кризисное состояние, пахотнопригодные земли

## THE LIMITATION PRINCIPLE AND CURRENT PROBLEMS IN MODERN GEOGRAPHY

<sup>1,2</sup>Naprasnikov A.T.

<sup>1</sup>*V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk;*

<sup>2</sup>*Irkutsk State University, Irkutsk, e-mail: r.kodar@mail.ru*

This paper outlines the formation scenario for natural and economic systems as the factor of their limit condition. Any natural conditions are characterized by limiting dimensions and by maximal intensity. In geosystems, their adaptation to external effects and development end in the limit, and the attainment of a full harmony with the climate is followed by the degradation or renewal. These statements serve as the substantiation of their limit condition and the potential of economic development. They were complemented by the law of the physical-geographical process and the principle of complementarity. Such an approach was successfully used in analyzing the natural and economic systems as the final cycle characteristic for their development. On the whole, for the biological sphere (131.4 mil. km<sup>2</sup>) the limit was assessed at 32.4 mil. km<sup>2</sup>. It is the limit of development of large natural complexes. Their total value is considerably larger. The limit also substantiates the mass and energy balances of lands under cultivation. Therefore, the geographical limit can be treated as a maximal function of the interaction of separate landscapes with the climate. Eventually their equifinal state is reached. In the late 20<sup>th</sup> century, the areas of a number of cultivated and reserve lands on the globe have already exceeded the geographical limit (34.81 mil. km<sup>2</sup>). For instance, the lands under irrigation in the late 20<sup>th</sup> century reached 1.11 mil. km<sup>2</sup>, which is equal to irrigation of subtropical desert lands, 1.06 mil. km<sup>2</sup>. These landscapes have now been developed by man and are totally transformed. The other systems showed a polynomial reduction in irrigated areas relative to their size. A further expansion of irrigated lands is undesirable. They will affect hard-to-develop waterlogged and desert lands. This dictates a need to improve productivity of the existing cultivable lands. Further, an analysis is mad of not only theoretical but also practical research on sustainable land management.

**Keywords:** geographical limit, succession, climax state of landscape, physical-geographical process, cultivable lands

Понятие предела прослеживается в ряде естественных наук в виде определений фаз зрелости, оптимальной интенсивности, критических величин массы, энергии и площадей ландшафтов. В физической география в конце XX в. было обосновано «феноменологическое представление об иерархической организации территории, о статистической

связи компонентов ландшафта, о соотношениях характерного пространства и времени процессов» [1]. Однако предел данных явлений до сих пор не раскрыт. В этой связи в работе была поставлена цель: осуществить анализ и обоснование пределов развития природных и хозяйственных систем и потенциала их использования.

### Результаты исследования и их обсуждение

Впервые положение ограничивающего (лимитирующего) фактора обосновано в законе толерантности В.Э. Шелфорда, так называемого закона минимума Либиха. Его признаки имеются в принципе дополнителности Н. Бора, оптимуме физико-географического процесса А.А. Григорьева, в геосистемах В.Б. Сочавы. Эти разрозненные положения в биологии, географии и физике оказались едиными в познании взаимодействий ландшафта с внешними ресурсами окружающей среды, с хозяйственной деятельностью человека. В экологии правило В.Э. Шелфорда является универсальным законом толерантности. Диапазон толерантности по каждому фактору ограничен минимальными и максимальными состояниями [2]. Максимальное состояние рассматривается как высшая, кульминационная точка, за которой следует затухание. Выражен процесс колоколообразной формой с максимумом оптимального, завершающего развития. В геологические периоды такие явления имели место, когда возникала необходимость сохранения организмов в замкнутых (рефугиумах) пространствах, переживая неблагоприятный для них период [3]. Подобные проявления характерны для распределения разных групп фаций в определенных площадях географических систем [4]. Анализ современного природопользования в России позволил выявить пределы экологического риска и новые экологические угрозы [5]. В географии был обоснован оптимум физико-географического процесса как вершина его развития в условиях равенства атмосферных осадков водному эквиваленту радиационного баланса (испаряемости). В почвах при нем формируется оптимальное увлажнение, равное наименьшей влагоёмкости. В этих условиях биологическая продукция достигает максимальных величин. Данные критерии послужили основой определения мелиоративных норм орошения и осушения – отличное научное достижение, внедренное в практику хозяйственной деятельности человека.

Развитие физико-географического процесса подтверждается сукцессией, отражающей последовательную смену состояний ландшафта. Содержание процесса логично дополняется климаксовым состоянием ландшафта с высшей стадией развития ландшафта, соответствующей полному единству с климатом. Кульминация подоб-

ного развития определяется как «эквивалентное состояние».

Реализация принципа предельности в гидрологии прослеживается на примере низкого стока рек бассейна Колымы. Модуль минимального стока возрастает до 12 л/с. км<sup>2</sup> при нарастании водосборной площади до 100–1000 км<sup>2</sup>. Последующий рост площадей резко сокращает летнюю межень. Это происходит, когда водный режим гор сменяется равнинным. За этим следует увеличение площади водосбора, занятой растительностью, и, следовательно, повышение испарения. В гидрологии условия формирования стока рек осуществляются по сценарию физико-географического процесса. В определенные периоды водные потоки приобретают многоводный и маловодный режимы, отражают проявления предельных состояний [6].

Во всех изложенных формулировках присутствуют признаки оптимума и предела развития природных систем. Они соответствуют общему представлению о физико-географическом процессе, включающим развитие (адаптацию к внешним воздействиям), достижение зрелости (оптимума) – географического предела и последующую деградацию всей системы. Данные положения полностью реализуются в современной мелиорации, при создании совершенных мелиоративных систем. Так, эквивалентное равенство тепла и влаги обеспечивает наименьшую влагоемкость почв и, соответственно, оптимальную продуктивность.

#### *Принцип предельности и дополнителности в географии и геоэкологии*

Б.М. Ишмуратов впервые применил принцип дополнителности Н. Бора при анализе географических проблем [7]. Автор предложил расширить известную концепцию единством предельных и экстремальных явлений в физической и экономической географии. Общее определение принципа дополнителности в географии сформулировано следующим образом. Многие природные процессы представляют собой предельные, несовместимые и исключают друг друга явления. Лишь совместные взаимодействия могут сформировать единый завершающий процесс.

Наглядным примером может быть обоснование единства водного и теплового балансов. Современные достижения науки обеспечили их объединение введением в структуру водного эквивалента радиаци-

онного баланса – максимально возможного радиационного испарения и параметра  $n$ , определяющего их материальное и энергетическое единство. Данное единство объединяет коэффициент увлажнения – отношение атмосферных осадков к максимально возможному испарению  $\beta = X/E_m$ .

Вторым примером может быть единство мелиорации с экологией. Мелиорация, повышающая продуктивность земель, трансформирует их, а экология призвана сохранять. Эти противоречия преодолеваются посредством третьего дополнительного фактора – балансом равноценных затрат на сохранение экосистем и обеспечение мелиорацией максимальной биологической продукции.

*Реализация принципа предельности в географии, геоэкологии и мелиорации*

Доказательной базой изложенных положений послужили данные Г.В. Добровольского, И.С. Урусевской [8], представленные в виде модели рациональной структуры земельных угодий. Эти данные для современной действительности несколько устарели. Но они являются единственной информацией, которая обеспечивает баланс связей между разными типами ландшафтов и составляющими хозяйственной деятельности человека. Исходная информация была проверена, исправлена и дополнена данными из других литературных источников [9].

На планете площади пахотнопригодных земель в конце прошлого столетия составили 32,78 млн км<sup>2</sup>, 22% от размеров суши

(149 млн км<sup>2</sup>) или от биологической сферы (133,4 млн км<sup>2</sup>) – 24,6%. Географический предел определяется типом и рангом природной системы.

*Региональный анализ* используемых и резервных площадей пашен характеризуется графиками (рис. 1, А). Наивысшая точка тренда ( $y_1$ ) во влажных и засушливых тропических системах представлена предельной площадью используемых и резервных земель – 6,3 млн км<sup>2</sup>. За гранью предела 6,3 млн км<sup>2</sup> еще в конце XX в. оказались почвы влажных тропических почв с пониженными размерами почв – 6,1 млн км<sup>2</sup>. Последующее снижение тренда ( $y_1$ ) указывает на меньшую интенсивность развития этой системы. К данному пределу приблизились тропические засушливые земли с размерами 5,9 млн км<sup>2</sup> на площади 17,1 млн км<sup>2</sup>.

*Зональный анализ* больших почвенных групп пахотнопригодных земель осуществлялся по площадям тундр, пустынных почв, черноземов, красноземов и желтоземов, пепельно-вулканических, каменистых, песчаных и других почвенных комплексов. Результаты представлены корреляциями (рис. 1, Б).

Во влажных биоклиматических комплексах с площадью 39 млн км<sup>2</sup> географический предел пашен составил 12,24 млн км<sup>2</sup>. В сухих и неудобных землях используется 4,3 млн км<sup>2</sup> в пределах 21,8 млн км<sup>2</sup> географических систем. Имеется возможность расширять площади и использовать, но, видимо, данный подход является неэффективным.

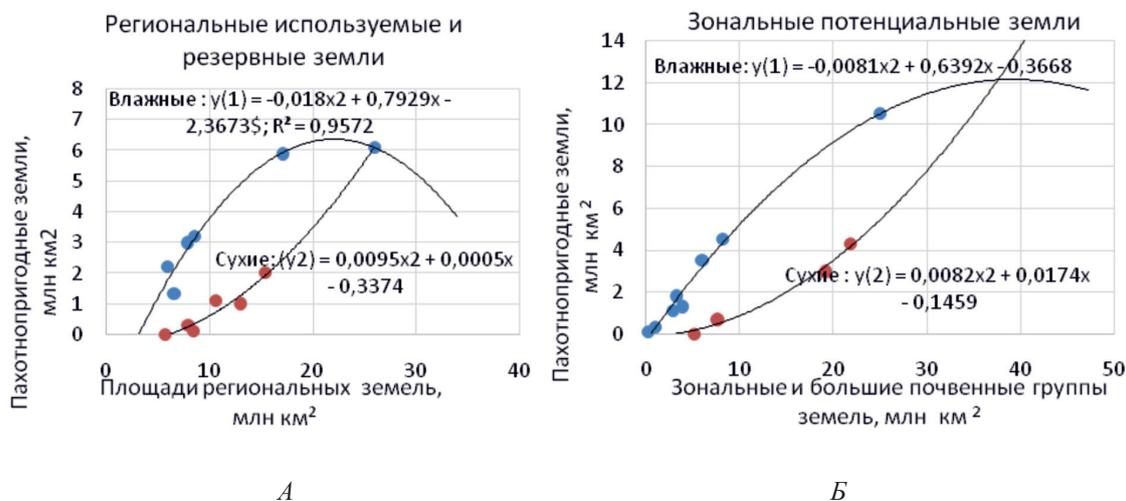


Рис. 1. Изменения площадей пашен в региональных и зонально-планетарных системах

Планетарный анализ зональных и больших почвенных групп земель осуществлялся с привлечением площадей биосферы – 131,5 млн км<sup>2</sup> и потенциала пахотнопригодных земель – 31,9 млн км<sup>2</sup>. Был определен их географический предел – 32,4 млн км<sup>2</sup>. В конце XX в. под пашнями было 32,78 млн км<sup>2</sup>. Моделью рациональной структуры земельных угодий суши предусматривалась возможность расширения площадей обрабатываемых земель до 26,78 млн км<sup>2</sup> [10]. Таким образом, по разным методам в конце прошлого столетия должно быть освоено земель, соответствующие площадям географического предела – 32,4 млн км<sup>2</sup>. Но это в основном соответствовало освоению тропических влажных и засушливых земель. Практически ещё в прошлом веке потенциальный предел освоения пахотнопригодных земель был завершен. Пашни сухих и климатически непригодных земель составили 4,7 млн км<sup>2</sup> на площади биоклиматических комплексов 8,6 млн км<sup>2</sup>. Здесь потенциальный резерв освоения огромный, но явно нерентабельный. По утверждению Г.В. Добровольского, площади в таких биоклиматических комплексах трудно осваиваемые.

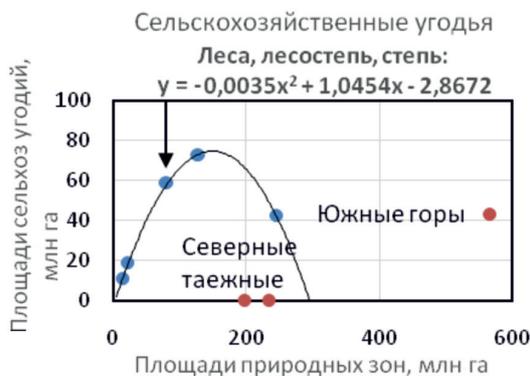
*Анализ зональных и больших почвенных групп земель России*

В России прослеживается зонально-региональная дифференциация сельскохозяйственных угодий (рис. 2, А). Это равнинные леса, лесостепи и степи. Обособленно выделяются площади лесов северной тайги и южных гор. Первые характеризуются избытком влаги и недостатком тепла, слабо заселенными землями с минимальными пло-

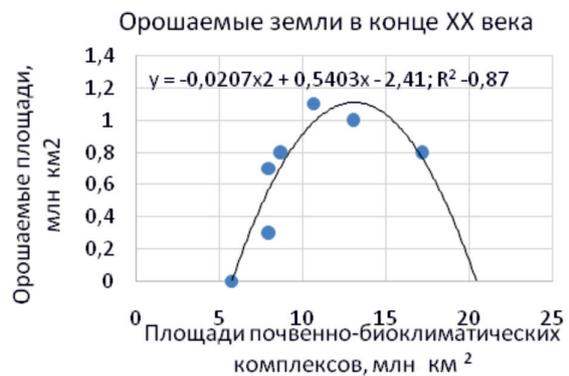
щадями сельхозугодий – 0,06–0,12 млн га. Вторые обеспечены теплом и влагой, сформированы интенсивным (гидрологическим) сбросом избытка влаги в горах. При данных условиях формируется наименьшая влагоёмкость горных почв в пределах 43 млн га, при общей площади горных систем – 565,4 млн га. Эти условия обеспечивают высокую продуктивность культурных растений.

Площади сельскохозяйственных угодий равнин России являются функцией размеров природных зон (рис. 2, А). Здесь в природных комплексах, размером 149 млн га, максимальный географический предел сельскохозяйственных угодий составляет 75,2 млн га. К данному пределу близка хозяйственная деятельность в лесостепи. В ней распаханные земли составляют 72,8 млн га на 127,3 млн га геосистем. Лесостепь практически вся освоена хозяйственной деятельностью.

Частично освоены южные части лесов и тайги – южно-таежные и южно-лесные ландшафты. Они трансформировались в локальные природно-технические, урбанизированные и аграрные системы. Их состояние обеспечивается взаимодействием с окружающей средой и контролируется деятельностью человека. Однако здесь антропогенные ландшафты окружены слабо измененными лесами и тайгой. Подобный «симбиоз» городских и сельскохозяйственных конгломераций в окружении естественных лесов возможно отнести к землям России с благоприятными условиями для проживания человека. Они являются и резервом их последующего освоения.



А



Б

Рис. 2. Пахотнопригодные земли России и орошаемые земли планеты

В других природных системах площади сельхозугодий России наименьшие по сравнению с географическим пределом (79 млн га). В лесостепи они равны 72,8 млн га, в умеренно влажных степях – 58,9 млн га, в сухих степях – 19 млн га, полупустынях – 11,2 млн га. Таким образом, в России еще имеется значительный резерв возможного освоения целинных земель. Но в целях их рационального использования необходимы соответствующие ландшафтные, экологические и мелиоративные исследования.

#### *Мелиорация земель и предел их освоения*

В конце XX в. в природных системах планеты с площадью 13 млн км<sup>2</sup> предел орошаемых земель достиг 1,11 млн км<sup>2</sup> (рис. 2, Б). Это предел орошения оказался равным орошению субтропических пустынных земель – 1,06 млн км<sup>2</sup>. Ландшафты освоены человеком и полностью преобразились. Данный предел, как бы «позволен» природой и соответствующими экономическими затратами.

В остальных ландшафтах прослеживается единая тенденция – с увеличением геосистем орошаемые земли возрастают. Но только до географического предела 1,11 млн га. При последующем росте площадей ландшафтов размеры орошаемых земель сокращаются. Данный географический предел превышен в засушливых тропических комплексах с площадями 17,1 млн км<sup>2</sup> и с орошаемыми землями 0,8 млн км<sup>2</sup>. К нему приближаются тропические пустынные земли с площадями 1,06 млн км<sup>2</sup> и с орошаемыми землями 1,1 млн км<sup>2</sup>. В остальных системах проявляется полиномиальное сокращение орошаемых площадей относительно их размеров. Все это отлично фиксирует корреляцией тренда графика (рис. 2, Б). Дальнейшее расширение орошаемых земель нежелательно. В связи с этим необходимо повышать продуктивность уже имеющихся пахотнопригодных земель.

Во всем изложенном следует подчеркнуть особенность географического предела. При полной согласованности ландшафтных и климатических ресурсов они достигают максимальных величин. Хорошо известно, что данный процесс усиливается антропогенной деятельностью [9]. Практически любые изменения составляющих ландшафтов сопровождаются накоплением в них тепла. Возможно предположить, что источником современного

глобального потепления являются территории государств с существенно преобразованными промышленностью и сельским хозяйством ландшафтами: США, Китай, Индия. В них следует ожидать макрорегиональные повышения температуры атмосферы, а ее распространение посредством северо-западной атлантической и муссонной тихоокеанской циркуляции воздушных масс, возможно, обеспечивает глобальное потепление климата.

#### **Заключение**

Обоснован географический предел природных систем – региональный, зональный и планетарный. Это в основном понятие физико-географическое. Здесь подразумевается эквифинальное состояние, к которому стремится на определенном эволюционном этапе природная система. Географический предел отражает высшую стадию развития, соответствующую наиболее полному единству с ресурсами климата. За этим следует ослабление устойчивости географической системы, ее полная деградация или преобразование в иную форму. Таким образом, географический предел завершает формирование размеров природных систем, достижение ими оптимальной интенсивности (естественной и хозяйственной) и максимальной биологической продуктивности.

В целом на планете еще в конце XX в. наступил предел использования земель под пашни и появились признаки критического состояния природных систем. Продолжилось освоение территорий, неудобных для земледелия, которые потребовали повышения экономических затрат. Наступил момент учитывать равнозначность затрат на сохранение природной среды и создание эффективных хозяйственных систем, безвредных для природы и человека.

Деградирующие и видоизмененные человеком природные системы накопили значительные масса-энергетические ресурсы и влияют на климат обратным интерактивным воздействием. В зависимости от сценария данного взаимодействия, возможно ожидать формирование глобального потепления или наступающего ледникового периода. Ведущая роль в данном процессе принадлежит географическим системам, контролируемым антропогенной деятельностью. Данное утверждение может являться альтернативой множеству гипотез, объясняющих иные климатические изменения на планете.

**Список литературы / References**

1. Пузаченко Ю.Г. Методические основы измерения сложности ландшафта // Известия РАН. Серия география. 1995. № 4. С. 30–50.
- Puzachenko Yu.G. Methodical basis for measuring the complexity of the landscape // *Izvestiya RAN. Seriya geografiya*. 1995. № 4. P. 30–50 (in Russian).
2. Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология: Общеэкологическая концепция биосферы и экономические рычаги преодоления глобального экологического кризиса; обзор современных принципов и методов защиты биосферы: учебник для вузов. Томск: ТПУ, 2014. 327 с.
- Panin V.F., Sechin A.I., Fedosova V.D. Ecology: The general ecological concept of the biosphere and economic levers of overcoming the global environmental crisis; review of modern principles and methods of protection of the biosphere: A textbook for universities. Tomsk: TPU, 2014. 327 p. (in Russian).
3. Чепинога В.В., Протопопова М.В., Павличенко В.В. Выявление вероятных плейстоценовых микрорефугиумов на северном макросклоне хребта Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье) // Сибирский экологический журнал. 2017. Т. 24. № 1. С. 44–50. DOI: 10.15372/SEJ20170105.
- Chepinoga V.V., Protopopova M.V., Pavlichenko V.V. Detection of the most probable Pleistocene microrefugia on the northern macroslope of the Khamar-Daban Ridge (Southern Prebaikalia) // *Contemporary Problems of Ecology*. 2017. V. 10. № 1. P. 38–42. DOI: 10.1134/S1995425517010036.
4. Фролов А.А. Геоинформационное картографирование изменчивости ландшафтов (на примере Южного Прибайкалья) // География и природ. ресурсы. 2015. № 1. С. 156–166.
- Frolov A.A. Geoinformational mapping of landscape variability (Exemplified by Southern Cisbaikalia) // *Geography and Natural Resources*. 2015. V. 36. № 1. P.156–166. DOI: 10.1134/S187537281501014X.
5. Клюев Н.Н. Современные тенденции природопользования в России: новые экологические угрозы // Экологический риск. Материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием. Иркутск, 18–21 апреля 2017 г. Иркутск: Изд. Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2017. С. 31–33.
- Klyuev N.N. Modern trends in environmental management in Russia: new environmental threats // *Environmental risk. Materials of the IV All-Russian Scientific Conference with international participation*. Irkutsk, April 18–21, 2017 Irkutsk: Izd. Instituta geografii im. V.B. Sochavy SO RAN, 2017. P. 31–33 (in Russian).
6. Кичигина Н.В., Воропай Н.Н. Экстремальные гидроклиматические события в Байкальском регионе в период современных климатических изменений // Экологический риск. Материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием. Иркутск, 18–21 апреля 2017 г. Иркутск: Изд. института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2017. С. 172–174.
- Kichigina N.V., Voropai N.N. Extreme hydroclimatic events in the Baikal region in the period of modern climate change // *Environmental risk. Materials of the IV All-Russian Scientific Conference with international participation*. Irkutsk, April 18–21, 2017 Irkutsk: Izd. Instituta geografii im. V.B. Sochavy SO RAN, 2017. P. 172–174 (in Russian).
7. Ишмуратов Б.М. Принцип дополнителности и современная география // Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока. 1973. Вып. 40. С. 74–84.
- Ishmuratov B.M. The complementarity principle and modern geography // *Doklady Instituta geografii Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 1973. Vyp. 40. P. 74–84 (in Russian).
8. Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. М.: Изд. МГУ, 2004. 460 с.
- Dobrovolsky G.V., Urusevskaya I.S. Soil geography. M.: Izd. MGU, 2004. 460 p. (in Russian).
9. Напрасников А.Т. Геоинформационная и цифровая мелиорация: учебно-методическое пособие. Иркутск: Изд. ИГУ, 2018. 288 с.
- Naprasnikov A.T. Geoinformation and digital melioration: a teaching aid. Irkutsk: Izd. IGU, 2018. 288 p. (in Russian).
10. Белов А.В., Владимиров И.В., Соколова Л.Н. Картографическая оценка состояния современной растительности Предбайкалья для оптимизации природопользования // География и природные ресурсы. 2016. № 2. С. 62–68.
- Belov A.V., Vladimirov I.V., Sokolova L.N. Cartographic assessment of the present status of vegetation in Prebaikalia for water use optimization // *Geography and Natural Resources*. 2016. V. 37 № 2. P. 62–68. DOI: 10.1134/S1875372816020062.

УДК 551.509.32:551.515.4

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗА КОНВЕКТИВНЫХ ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПО КОМПЛЕКСУ СПУТНИКОВЫХ И АЭРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

<sup>1</sup>Неижмак А.Н., <sup>2</sup>Расторгуев И.П.

<sup>1</sup>ФГКВОВУ ВО «Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков  
имени Героя Советского Союза А.К. Серова», Краснодар, e-mail: kubanec@inbox.ru;

<sup>2</sup>ФГКВОВУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная  
академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»»,  
Воронеж, e-mail: iprastor@yandex.ru

В статье приводятся результаты работы, проведенной авторами по решению задачи сверхкраткосрочного прогнозирования и мониторинга опасных явлений погоды, сопровождающих кучево-дождевую облачность. Задача возникла в рамках оперативного метеорологического обеспечения авиации Вооруженных Сил. Проведенный анализ используемых определений позволил остановиться на терминах, используемых Росгидрометом. Выполнен поиск существующих подобных методик, определены их недостатки в рамках решаемой задачи. Определены наиболее подходящие исходные данные. В частности, выделены результаты космического зондирования поверхности планеты. В работе используется информация о радиационной температуре и отражательной способности (альбедо) верхней границы кучево-дождевой облачности. В качестве метода исследования рассматривается инструмент математической статистики – дискриминантный анализ. Описана полученная архивная выборка, обосновано использование в исследовании конкретных исходных признаков. Детально разобрана процедура отбора предикторов для построения прогностического правила со ссылкой на нормативные документы. Приведены этапы построения решающего правила со строгим обоснованием выполняемых шагов. Выделение из исходных данных контрольного массива позволило объективно оценить успешность полученной прогностической функции. Показатели, по которым проводилась оценка эффективности, и их критерии, взяты из руководящего документа. Осуществлено испытание прогностической функции на независимом материале, сделаны выводы. Предложена методика сверхкраткосрочного прогноза и мониторинга опасных явлений погоды, генерируемых кучево-дождевой облачностью. Она базируется на разработанной прогностической функции. Анализ результатов позволил выделить положительные и отрицательные стороны. Также даны рекомендации по применению полученной методики в практической деятельности метеорологических подразделений авиации Вооруженных Сил.

**Ключевые слова:** кучево-дождевая облачность, опасное явление погоды, спутниковые данные, прогноз, успешность, методика

## THE METHODOLOGY FOR FORECASTING CONVECTIVE WEATHER HAZARDS ON THE COMPLEX OF SATELLITE AND AEROLOGICAL DATA

<sup>1</sup>Neizhmak A.N., <sup>2</sup>Rastorguev I.P.

<sup>1</sup>Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov,  
Krasnodar; e-mail: kubanec@inbox.ru;

<sup>2</sup>Military Training and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor  
N.E. Zhukovskij and Yu.A. Gagarin», Voronezh, e-mail: iprastor@yandex.ru

The article presents the results of the work carried out by the authors to solve the problem of short-term forecasting and monitoring of dangerous weather phenomena accompanying cumulonimbus clouds. The task arose in the framework of operational meteorological support of aviation of the Armed Forces. The analysis of the definitions used allowed us to dwell on the terms used by Roshydromet. The search for existing similar methods was performed, their shortcomings within the framework of the problem being solved were identified. The most suitable initial data are determined. In particular, the results of space sensing of the planet's surface are highlighted. The paper uses information about radiation temperature and reflectivity (albedo) of the upper boundary of cumulonimbus clouds. As a method of research, we consider the classical tool of mathematical statistics – discriminant analysis. The obtained archive sampling is described, the use of specific initial features in the study is justified. The procedure of selection of predictors for building a prognostic rule with reference to normative documents is analyzed in detail. Stages of construction of the decision rule with strict justification of the performed steps are given. The selection of the control array from the initial data allowed to objectively assess the success of the obtained prognostic function. The indicators for which the performance was assessed and their criteria are taken from the guidance document. The test of prognostic function on independent material is carried out, conclusions are drawn. The technique of short-term forecast and monitoring of dangerous weather phenomena generated by cumulonimbus clouds is proposed. It is based on the developed prognostic function. Analysis of the results allowed to identify the positive and negative sides. Recommendations on the application of the resulting methods in practical activities of the meteorological units of aviation of the Armed Forces.

**Keywords:** cumulonimbus, dangerous weather, satellite data, forecast, success, methods

Прогностические алгоритмы, применяемые специалистами метеорологической службы, в настоящее время позволяют с до-

статочной точностью предсказывать динамику развития синоптических процессов крупного и регионального масштабов. В то

же время локальные проявления погоды, такие как порывы ветра в приземном слое, аномальное количество осадков, град, грозовая деятельность как в зоне атмосферных фронтов, так и внутри воздушной массы, не всегда успешно прогнозируются. Кроме того, вследствие дискретности сети метеорологических станций указанные мезомасштабные явления в некоторых случаях не фиксируются [1]. Однако данные явления обладают существенным разрушительным потенциалом и наносят значительный ущерб инфраструктуре военных объектов, оказывают влияние на безопасность жизнедеятельности войск, а также причиняют существенный материальный урон многим другим областям человеческой деятельности.

Опасные явления погоды, вызывающие разрушения на земле, еще большую опасность представляют для воздушных судов, находящихся в воздухе, поэтому авиационная отрасль во многом является наиболее чувствительной к метеорологическим условиям. В основном это обусловлено опасностью грозовой деятельности, ветра большой скорости, интенсивными осадками, турбулентностью, обледенением воздушного судна [2].

Кучево-дождевая облачность, достигшая в своем развитии максимальной стадии, способна к генерации подавляющего большинства опасных явлений погоды. Явления погоды конвективного происхождения, связанные с кучево-дождевой облачностью, зачастую представляют опасность не только для полетов авиации, но и практически для всех сфер жизнедеятельности. Указанные явления погоды локальны, кратковременны, внезапно возникают, несут с собой огромный разрушительный потенциал и, кроме того, механизм их образования очень сложен. Вышеперечисленное требует особого внимания к прогнозированию этих явлений, благодаря чему возможно снижение потерь и ущербов, связанных с ними, и повышение качества метеорологического обеспечения авиации.

Современный эффективный метод прогноза опасных метеорологических явлений, доступный при метеорологическом обеспечении авиации, окажет существенную помощь специалистам-синоптикам при мониторинге указанных явлений. Данный факт, очевидно, обусловит повышение качества рассматриваемого вида обеспечения, что, в свою очередь, будет способствовать минимизации ущерба воздушным судам и инфраструктуре аэродрома.

### Материалы и методы исследования

Определение и критерии опасных метеорологических явлений указаны в [3], оно и будет применяться в работе, обозначенное как ОЯ.

Вероятность возникновения и развития кучево-дождевой облачности главным образом связана с наличием влажного и теплого неустойчивого воздуха. Его подъем в атмосфере в результате конвекции и приводит к образованию мощной облачности вертикального развития. Физическая сущность данного процесса описана моделями конвекции [4].

Также в развитии кучево-дождевых облаков большую роль играет вертикальный градиент температуры в окружающей атмосфере. Охлаждение воздуха с высотой обуславливает контраст температур между окружающим и поднимающимся облачным воздухом, что приводит к возникновению силы плавучести. Температура внутри развивающегося облака выше температуры окружающего безоблачного воздуха благодаря выделению скрытой теплоты конденсации.

В реальной атмосфере процесс образования кучево-дождевых облаков еще более сложен, что связано с непрерывным перемешиванием поднимающегося теплого облачного воздуха с окружающим сухим более холодным воздухом окружающей атмосферы.

Анализ существующих подходов к прогнозу ОЯ конвективного происхождения, описанных в научных трудах, позволил выделить некоторые из них.

В Гидрометцентре А.А. Алексеевой разработана «Методика прогноза опасных и стихийных конвективных явлений погоды, а также их совокупности, приносящих значительный ущерб отраслям экономики» [5]. Кроме того известен полученный А.А. Алексеевой и Н.И. Глушковой «Способ прогноза стихийных гидрометеорологических явлений теплого полугодия» [6].

Неудобство обоих описанных подходов заключается в необходимости использования исходных данных, получаемых в ходе сложных расчетов. Поэтому их не всегда можно применить в оперативной практике метеорологических подразделений низового звена.

Для устранения данной сложности необходимо поиск новых путей прогнозирования опасных конвективных явлений погоды с рассмотрением в качестве исходных данных информации, доступной в деятельности метеорологических подразделений.

В рамках поставленной задачи целесообразно рассмотреть информацию космического зондирования, поступающую в метеорологические подразделения Вооруженных Сил. Данный вид информации позволяет по косвенным признакам оценивать интенсивность развития кучево-дождевой облачности, а соответственно, и явлений, генерируемых ею. Кроме того спутниковая информация регулярна, оперативна, охватывает большие территории, не ограничиваясь государственной принадлежностью или поверхностью суши. А цифровой формат получаемой информации дает возможность применения различных математических подходов к анализу структуры зондируемой поверхности [7].

Таким образом, видится целесообразность рассмотрения результатов зондирования с метеорологических космических аппаратов (КА) в качестве входных параметров при разработке способа прогноза ОЯ конвективного происхождения.

Вместе с тем, учитывая физику образования конвективных облаков, было принято решение об использовании в качестве предикторов аэрологических данных.

В ходе исследования была сформирована выборка исходных данных, в которой фактам наличия и отсутствия конвективных ОЯ были соотнесены значения температуры воздуха, дефицита точки росы, параметров ветра на изобарических поверхностях 850, 700, 500 гПа и информация о радиояростной температуре и альбедо на верхней границе кучево-дождевой облачности, обусловившей генерацию ОЯ.

Данные наблюдений из космоса представлены результатами измерений радиометра AVHRR спутников орбитальной группировки NOAA. Рассогласование по времени между фактами наблюдения ОЯ и зондированием с метеорологических КА не превышало 2–3 ч.

Полученный массив данных содержит 30% случаев с наличием ОЯ, остальные – с отсутствием, то есть конвективные явления наблюдались, но не достигали критериев, указанных в [3].

С целью последующей оценки устойчивости результатов работы прогностического правила из выборки выделили фрагмент, который затем использовался как контрольный материал.

Вследствие необходимости получения прогностических заключений в категоричной альтернативной форме воспользовались инструментом дискриминантного анализа.

После вычисления критерия Махаланобиса, используемого в качестве показателя разделяемости классов, и коэффициентов корреляции между предикторами была реализована процедура отбора предикторов, и из предварительного перечня были отсеяны исходные признаки с малыми значениями критерия Махаланобиса и из групп сильно связанных предикторов оставили по одному.

В окончательный список входных параметров вошли 6 предикторов: меридиональная составляющая вектора ветра  $V_{500}$  и дефицит точки росы  $D_{500}$  на поверхности 500 гПа, радиационная температура в четвертом спектральном канале  $T_4$  и альбедо в первом  $A_1$  и третьем  $A_3$  каналах радиометра AVHRR, измеренные на верхней границе облачности, а также дефицит точки росы  $D_{850}$  на поверхности 850 гПа.

Однако включение в прогностическую схему всех шести предикторов не позволит получить эффективный алгоритм, поэтому была реализована процедура просеивания [4].

Согласно [8] успешность прогностических алгоритмов оценивается при помощи различных показателей. Для оценки качества альтернативных прогностических методик в числе прочих используется показатель  $(U_+ + P_+)$ , представляющий собой сумму повторяемости оправдавшихся прогнозов на наличие явления по отношению к общему числу случаев прогноза наличия явления и предупреденность о случаях с явлением. Критериальным значением данного показателя в [8] указана величина 130%, при превышении которого качество прогностического алгоритма считается удовлетворительным.

По результатам отбора предикторов были составлены дискриминантные функции и оценена их эффективность по контрольной выборке. Результаты представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что включение в прогностическую схему даже пяти предикторов ведет к ухудшению качества (уменьшению прогностической информации), то есть наиболее эффективно использование четырех предикторов, входящих в выражение

$$L = -14,31 - 0,17T_4 + 0,06A_1 + 0,04A_3 - 0,16D_{850}.$$

Данный набор исходных признаков представляет собой оптимальное сочетание первичной совокупности, позволяющей наилучшим образом осуществить альтернативный прогноз ОЯ конвективного происхождения. Если значение прогностической функции положительное, в прогнозе сле-

дует указывать образование конвективных ОЯ, иначе следует ожидать возникновение конвективных явлений, но не достигающих критериев ОЯ.

Физический смысл включения в прогностическую схему указанных предикторов заключается в следующем:

- малое значение дефицита точки росы в нижнем слое тропосферы характеризует высокое влагосодержание, что через теплоту конденсации определяет энергетику конвективного облака. Кроме того, характеристики влагосодержания сильно коррелируют с интенсивностью выпадающих осадков;

- низкие значения радиационной температуры на вершине конвективного облака обуславливаются высотой ее расположения, то есть вертикальной мощностью;

- альbedo вершины кучево-дождевой облачности обусловлено в числе прочего высотой развития облака и микрофизической структурой.

Вошедшие в прогностическое правило предикторы отражают в большей степени состояние кучево-дождевой облачности, способной к генерации конвективных ОЯ, чем прогноз ее развития до такого состояния, то есть полученная дискриминантная функция предназначена для мониторинга ОЯ конвективного происхождения и их сверхкраткосрочного прогнозирования.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В целях оценки эффективности полученной дискриминантной функции были проведены ее испытания на контрольной выборке и определены указанные в [8] показатели успешности: общая оправдываемость U, оправдываемость на наличие U<sub>+</sub> и отсутствие явления U<sub>-</sub>, критерии Обухова Q и Багрова Н, предупреденности о случаях с явлением П<sub>+</sub> и без явления П<sub>-</sub>, а также критерий качества Пирси – Обухова Т. Результаты расчета представлены в табл. 2.

Результаты испытаний позволяют говорить о практической значимости и надежности разработанной методики прогноза конвективных ОЯ. Провести сравнение полученной методики с существующими на данном этапе не представляется возможным ввиду ограниченности архивной выборки по набору исходных признаков.

Анализ полученных результатов испытаний разработанной методики прогноза ОЯ конвективного происхождения свидетельствует о соответствии ее требованиям руководящих документов. Данный факт, в свою очередь, обосновывает возможность использования в оперативной деятельности метеорологических подразделений в качестве вспомогательных.

Реализация предлагаемой методики возможна по схеме, представленной на рисунке.

#### Заключение

Таким образом, в представленной работе получена методика, позволяющая специалисту метеорологической службы осуществлять сверхкраткосрочное прогнозирование и мониторинг опасных метеорологических явлений конвективного происхождения. Данная методика дает возможность предсказывать факт возникновения ОЯ, генерируемых кучево-дождевой облачностью и приводящих к катастрофическим последствиям, с заблаговременностью до трех часов.

Таблица 1

Результаты расчета показателя успешности «лучших» прогностических уравнений на каждом шаге отбора по значениям контрольной выборки

Прогностическое уравнение	Значение показателя успешности
$L = -9,42 - 0,19T4$	110
$L = -11,40 - 0,18T4 + 0,03A1$	111
$L = -14,92 - 0,17T4 + 0,06A1 + 0,04A3$	125
$L = -14,31 - 0,17T4 + 0,06A1 + 0,04A3 - 0,16D850$	135
$L = -14,49 - 0,17T4 + 0,05A1 + 0,04A3 - 0,16D850 - 0,03D500$	120

Таблица 2

Показатели успешности разработанной методики прогноза конвективных ОЯ

Показатель успешности	U	U <sub>+</sub>	U <sub>-</sub>	Q	Н	П <sub>+</sub>	П <sub>-</sub>	T
Значение	80	53	94	0,47	0,51	82	79	0,61

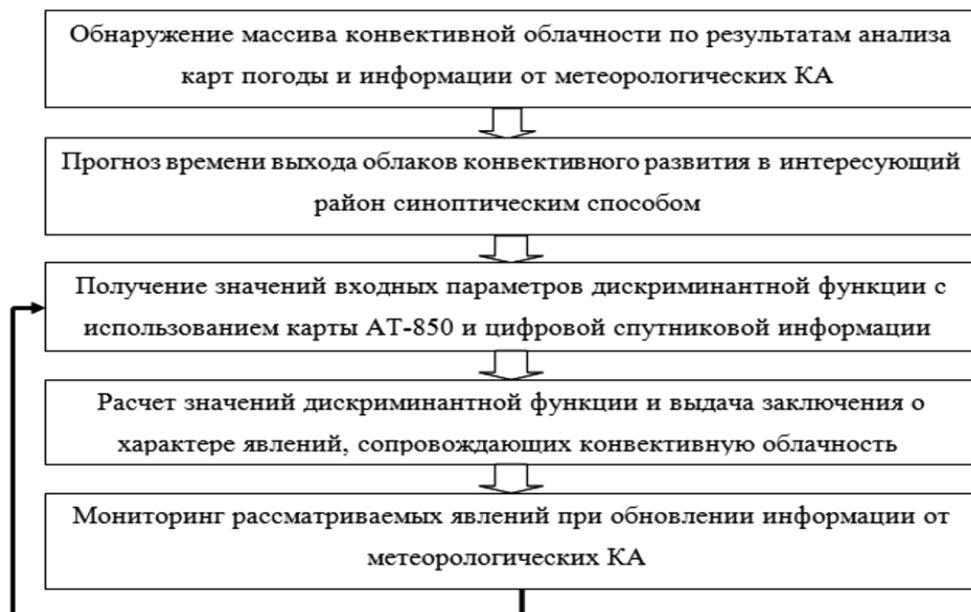


Схема реализации методики прогноза конвективных ОЯ

Выполненная оценка эффективности показала, что полученная методика прогноза ОЯ конвективного происхождения удовлетворяет требованиям руководящих документов, что свидетельствует о возможности ее применения в оперативной деятельности метеорологических подразделений в качестве вспомогательной.

#### Список литературы / References

1. Акимов Л.М., Расторгуев И.П., Неижмак А.Н., Мухина Т.А. Особенности прогнозирования опасных для авиации конвективных явлений погоды над юго-востоком Африки // Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология. 2018. № 2. С. 103–110.
2. Akimov L.M., Rastorguev I.P., Neizhmak A.N., Mueykina T.A. Features of forecasting dangerous for aviation convective weather phenomena over South-East Africa // Bulletin of Voronezh state University. Series Geography. Geoecology. 2018. № 2. P. 103–110 (in Russian).
3. Шакина Н.П., Иванова А.Р. Прогнозирование метеорологических условий для авиации. М.: Триада лтд, 2016. 312 с.
4. Shakina N.P., Ivanova A.R. Forecasting meteorological conditions for aviation. M.: Triada ltd, 2016. 312 p. (in Russian).
5. РД 52.27.724 – 2009. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2009. 66 с.
6. Скирда И.А., Ульшин И.И., Мартышкин А.Б. Авиационные прогнозы погоды. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2014. 477 с.

Skirda I.A., Ulshin I.I., Martyashkin A.B. Aviation weather forecasts. Voronezh: VUNC VVS «VVA», 2014. 477 p. (in Russian).

5. Алексеева А.А. Методика прогноза опасных и стихийных конвективных явлений погоды, а также их совокупности, приносящих значительный ущерб отраслям экономики / Методический кабинет Гидрометцентра. [Электронный ресурс]. URL: <http://method.meteorf.ru/danger/economy/economy.html> (дата обращения: 14.02.2019).

Alekseeva A.A. Methods of forecasting dangerous and natural convective weather events, as well as their combination, causing significant damage to the economy / Methodical office Hydrometeorological Center. [Electronic resource]. URL: <http://method.meteorf.ru/danger/economy/economy.html> (date of access: 14.02.2019) (in Russian).

6. Алексеева А.А., Глушкова Н.И. Способ прогноза стихийных конвективных гидрометеорологических явлений теплого полугодия // Патент РФ № 2162237. Патентообладатель Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации. 2001. Бюл. № 2.

Alekseeva A.A., Glushkova N.I. Method of forecasting natural convective hydrometeorological phenomena of the warm half of the year // Patent RU № 2162237. Patent holder Hydrometeorological research center of the Russian Federation. 2001. Bul. № 2 (in Russian).

7. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2013. 592 с.

Shovengerdt R.A. Remote sensing. Models and methods of image processing. M.: Tehnosfera, 2013. 592 p. (in Russian).

8. РД 52.27.284–91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. СПб.: Гидрометеоздат, 1991. 150 с.

УДК 502.7:669.018.674

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ  
ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ****Скрипко Т.В., Мальгина И.Л.***ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», Омск,  
e-mail: t.v.scripko@yandex.ru, i.malgina@yandex.ru*

К числу факторов, загрязняющих почвы, относятся тяжелые металлы. Попадание в почву тяжелых металлов связано с деятельностью ряда отраслей промышленности. Омская область представляет уникальное для России явление, так как г. Омск практически один формирует все загрязнения области. Доля Омска в выбросах от стационарных источников всей области составляет 89%. Специфика городских земель – несельскохозяйственное использование, меньше размеры землепользования, высокое технологическое воздействие промышленных предприятий, влияние транспорта. Город насыщен промышленными и автотранспортными предприятиями, складскими зонами и транспортными магистралями. В связи с преобладанием ветра юго-западного направления экологической опасности подвергаются Советский, Кировский, Центральный округа. Почва не только накапливает загрязнения, в том числе и металлические, но и выступает как природный переносчик химических токсикантов и в атмосферу, и в гидросферу, и в живое вещество. Ионы тяжелых металлов способны специфически адсорбироваться почвами с образованием относительно прочных связей координационного типа. Перемещаясь по пищевым цепям, включаясь в метаболические циклы, тяжелые металлы вызывают различные физиологические и генетические нарушения. В ходе исследования установлена корреляция между pH почвы и окислительно-восстановительным потенциалом. В составе обменных катионов почвы содержатся кальций и магний, при этом преобладает кальций. Методом спектроскопии в почве выявлены металлы Co, Al, Cr, Cu, Fe, Hf, Mn, Mo, Ni, Pb, Ti, V, Zr с превышением допустимого остаточного содержания по Mn, Mo, Pb, V, Zr, Co, Cr, Cu. pH водных вытяжек проб почв, в основном слабощелочной. Почвы Омского лесхоза (фоновая территория) – слабокислые. Тяжелые металлы опасны тем, что слабо выводятся из почвы. Данные исследования могут лечь в основу мониторинговых исследований почв г. Омска.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, допустимое остаточное содержание, комплексные соединения, токсичность, ферменты, промышленные выбросы

**ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF SOIL POLLUTION BY HEAVY METALS****Skripko T.V., Malgina I.L.***Omsk State Technical University, Omsk, e-mail: t.v.scripko@yandex.ru, i.malgina@yandex.ru*

Among the factors polluting the soil are heavy metals. The ingress of heavy metals into the soil is associated with the activities of a number of industries. Omsk region is a unique phenomenon for Russia, as the city of Omsk almost one forms all the pollution of the region. The share of Omsk in emissions from stationary sources throughout the region is 89%. The specifics of urban land – non-agricultural use, less land use, high technological impact of industrial enterprises, the impact of transport. The city is full of industrial and motor transport enterprises, storage areas and highways. Due to the predominance of wind in the South-Western direction of the environmental danger exposed to the Soviet, Kirov, Central district. The soil not only accumulates pollution, including metal, but also acts as a natural carrier of chemical toxicants in the atmosphere, and in the hydrosphere, and in living matter. Heavy metal ions are capable of specifically adsorbed by the soil with the formation of relatively strong bonds of the coordinating type. Moving along the food chain, including in metabolic cycles, heavy metals cause various physiological and genetic disorders. The study established a correlation between soil pH and redox potential. The composition of the soil exchange cations contain calcium and magnesium, with calcium predominates. Metals Co, Al, Cr, Cu, Fe, Hf, Mn, Mo, Ni, Pb, Ti, V, Zr with excess of permissible residual content of Mn, Mo, Pb, V, Zr, Co, Cr, Cu were detected in soil by spectroscopy. pH of aqueous extracts of soil samples is mainly slightly alkaline. Soil Omsk forestry (background area) – slightly acidic. Heavy metals are dangerous because they are poorly removed from the soil. These studies can form the basis of monitoring studies of the soils of the city of Omsk.

**Keywords:** heavy metals, permissible residual content, complex compounds, toxicity, enzymes, industrial emissions

В почвах содержатся элементы техногенного происхождения. Повышение содержания элементов обусловлено бытовыми отходами, выбросами промышленных предприятий, влиянием транспорта, накоплением остаточных количеств минеральных удобрений. Для ответа на вопрос о возможных последствиях антропогенной нагрузки на почвенный покров важно знать состояние почвы в настоящих условиях, определить изменения в ней в результате влияния кон-

кретных антропогенных факторов. В городе естественный почвенный профиль видоизменён. Городские земли имеют специфику несельскохозяйственного использования. Размеры землевладения и землепользования малы. Степень техногенного воздействия высокая.

Цель исследования: проведение анализа почвы одного из административных округов мегаполиса по физическим и химическим показателям. Особое внимание уделено со-

держанию тяжелых металлов, трансформации их в почве, формированию процессов «металлогенеза».

### Материалы и методы исследования

На предприятиях Ленинского административного округа города Омска были отобраны пробы почв. Проблемные предприятия: ОАО «Техуглерод», ТЭЦ-2 – структурного подразделения омского филиала «Территориальная генерирующая компания № 11», депо «Московка», железнодорожный путь. Фоновая территория – Омский лесхоз в 20 км от города. Согласно ГОСТ 17.4.3.01-83 точечные пробы отбирали равномерно в пределах каждого элементарного участка по маршрутному ходу через равные интервалы. Почву отбирали не глубже 10 см. Из точечных проб, отобранных с элементарного участка, составляли объединенную пробу. Пробу высушивали и готовили водную вытяжку почвы в соотношении почвы к воде 1:3. Определяли рН и ЭДС водной вытяжки почв на приборе «АНИОН 4100»; содержание сухого остатка, ионов кальция, магния, общую кислотность, щелочность.

Методом спектроскопии определены металлы в почвенном покрове. Использовали спектрограф СТЭ-1 с многоканальным анализатором эмиссионных спектров (МАЭС). Обработка результатов проводилась с помощью программы «Атом-3». Атом – гибкий инструмент проведения расчетов для атомно-эмиссионного спектрального анализа. Условия анализа: возбуждение спектров проводилось в дуге постоянного тока, горячей между угольными электродами диаметром 5 мм; дуговой разряд 10А, продолжительность испарения – 120 с. За результат

определения принимали среднее арифметическое двух параллельных измерений [1].

### Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальные данные представлены в табл. 1, 2.

Экологический мониторинг почв особо актуален для промышленных районов мегаполиса как основной путь аккумуляции и транзита загрязняющих веществ. Устойчивость различных форм миграции элементов, а также развитие и жизнедеятельность растений зависит от рН среды. По результатам химических показателей значение рН водных вытяжек проб почв в местах отбора проб слабощелочное, на территории лесхоза слабокислотное. Приведенные данные по ЭДС отражают только возможные в почвах окислительно-восстановительные процессы. Наблюдается корреляция по данным рН и окислительно-восстановительным потенциалам. Чем выше рН почвы, тем меньше величина окислительно-восстановительного потенциала [2]. Подкисление почвы вызывает повышение потенциала. Данные по сухому остатку указывают на содержание минеральных и органических составляющих, температура кипения которых не превышает 105 °С. При данной температуре составляющие не разлагаются. Естественная кислотность почв формируется из насыщенных соединений, гуминовых и других слабых органических кислот. При этом рН среды не бывает ниже 4,5. Щелочность создают все катионы, которые уравновешены гидроксильными ионами, анионами слабых кислот. Так как рН не превышает 8,3, то щелочность вызвана гидрокарбонатами щелочных металлов.

Таблица 1

Результаты физических показателей и химического анализа водных вытяжек почв

Показатели	Место отбора проб почвы				
	ОАО «Техуглерод»	ТЭЦ-2	Депо «Московка»	Железнодорожный путь	Омский лесхоз
1	2	3	4	5	6
рН	7,78	7,60	7,67	7,50	6,81
Е, в	-0,027	-0,032	-0,034	-0,027	+0,013
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	113	113	123	136	93
Общая кислотность, ммоль/дм <sup>3</sup>	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
Общая щелочность, ммоль/дм <sup>3</sup>	0,5	0,35	0,5	0,3	0,65
n(Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> ), ммоль-экв/дм <sup>3</sup>	5	4,5	6,5	8	7,5
Ca <sup>2+</sup> , ммоль-экв/дм <sup>3</sup>	1,5	2	5,5	3	5
Mg <sup>2+</sup> , ммоль-экв/дм <sup>3</sup>	3,5	2,5	1	5	2,5
Ca <sup>2+</sup> , мг/100г почвы	30,06	40,08	110,22	60,12	100,2
Mg <sup>2+</sup> , мг/100г почвы	42,56	30,04	12,16	60,8	30,04

**Таблица 2**

Концентрация тяжелых металлов в почве (мг/кг)

Металлы	Место отбора проб почвы					ДОС (допустимое остаточное содержание) металлов
	ОАО «Техуглерод»	ТЭЦ-2	Депо «Московка»	Железнодорожный путь	Омский лесхоз	
1	2	3	4	5	6	7
Co	39,7	53,7	58,4	67,5	28,06	50
Al	46,3	63,7	83,5	63,9	28,14	100
Cr	59,9	151,9	115,5	38,5	65,7	100
Cu	90,3	123,09	90,6	83,2	97,9	100
Fe	35,57	82,14	67,05	50,35	21,6	200
Hf	2,63	5,6	0,47	1,5	3,5	200
Mn	1847,6	2844,3	2970,8	2519,3	1068,3	1500
Mo	5,6	8,33	14,3	18,3	2,07	5
Ni	26,5	48,26	4,3	18,4	29,4	50
Pb	39,5	52,3	76,9	103,1	21,3	100
Ti	3,246	5,04	6,1	4,7	2,0676	10
V	182,7	234,6	319,7	232,8	100,4	150
Zr	318,1	395,5	129,3	134,2	235,5	200

**Таблица 3**

Превышение содержания тяжелых металлов в почве (мг/кг)

Металлы	Место отбора проб почвы				
	ОАО «Техуглерод»	ТЭЦ-2	Депо «Московка»	Железнодорожный путь	Омский лесхоз
Co	–	1,07	1,17	1,35	–
Cr	–	1,52	1,15	–	–
Cu	–	1,23	–	–	–
Mn	1,23	1,89	1,98	1,68	–
Mo	1,12	1,67	2,86	3,66	–
Pb	–	–	–	1,03	–
V	1,22	1,56	2,13	1,55	–
Zr	1,59	1,98	–	–	1,17

Исследуемые почвы в составе обменных катионов содержат кальций и магний; чаще преобладает кальций. На территории ОАО «Техуглерод» закономерность обратная; на территории железнодорожного пути содержание ионов кальция и магния приблизительно одинаково. Видоизменённый почвенный профиль представлен толщей наслоений, которые не являются почвой с её физической и химической структурой, с горизонтальным сложением. Изменяется водно-солевой режим почв, нарушается естественное сложение почв в городской среде [3].

Выявлено превышение допустимых остаточных содержаний (ДОС) в почвах (табл. 3).

Содержание кобальта превышает от 1,07 до 1,35 ДОС, хрома – от 1,15 до 1,52; широкий спектр превышения марганца (1,23–1,98 ДОС) и молибдена – от 1,12 до 3,66 раз. В районе железнодорожного пути

обнаружен свинец (1,03 ДОС). В пробах присутствует ванадий с превышением ДОС с 1,22 до 2,13 раз; цирконий на территориях ОАО «Техуглерод» (1,59 ДОС), ТЭЦ-2 (1,98 ДОС) и лесхоза (1,17 ДОС). На предприятии ТЭЦ-2 обнаружено превышение меди в 2,13 раза.

Аккумуляция в почве тяжёлых металлов зависит от мощности теплоэлектростанции с учётом качества органического топлива, степени очистки отходов. Важный фактор – утилизация отходов. Основным видом топлива для ТЭЦ-2 является кузнецкий уголь. Принцип сжигания угля – факельное сжигание в пылевидном состоянии, от сжигания образуются тонны золошлаковых отходов. Площадь золоотвалов ТЭЦ-2 более 25 га. В табл. 4 представлены данные по содержанию микроэлементов в золошлаковых материалах ТЭЦ-2 [4].

Таблица 4

Содержание микроэлементов (г/т) в золе, шлаке ТЭЦ-2.  
Кузнецкий уголь (В.В. Саломатов, 2008)

Микроэлемент	Наименование пробы			
	Уголь	Зола	Шлак	Зола с золоотвала
I	2	3	4	5
I	476	207	Не обнаружен	–
Cl	1324	–	–	–
Hg	0,33	–	–	–
Ni	63	60	47,7	103,2
Cu	13	200,2	87	70,2
Pb	26	76,8	110,7	326,9
Zn	116	146,3	87	410,9
Cr	44,3	87	59	29,48
Mn	491	900	873	493
Co	37	29,9	59,6	75,7
Be	14	10,2	4,2	–
Li	83	51,9	56,3	29,9
Sr	67	260,1	129,7	241
As	–	96,9	96,7	–
V	205	174,1	60	–
Mo	41	26,1	37,6	43,5

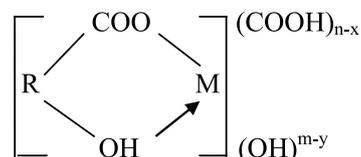
Железнодорожный транспорт включает многопрофильные производственные мощности. Локомотивные и вагонные депо, пункты подготовки подвижного состава, котельные, станция промыво-пропарочная – многопрофильные производственные мощности железнодорожного транспорта. 80% выброса загрязняющих веществ приходится на долю энергетических теплоагрегатов котельных; около 10% на кузнечные, нагревательные печи, сушильные установки (агрегаты энерготехнического профиля). Отходы 1–5 класса опасности.

ОАО «Техуглерод» – одно из пяти крупных предприятий химической промышленности оказывает разнообразное воздействие на природную среду в виде промышленных выбросов, сточных вод и промышленных отходов. Ведомственный экологический контроль осуществляется почти по 100 ингредиентам в промышленных выбросах, сбросах, отходах и окружающей среде северо-восточной зоны. Обнаружено твёрдых веществ в выбросах до 3%. Жидкие и газообразные продукты составляют 97% [3].

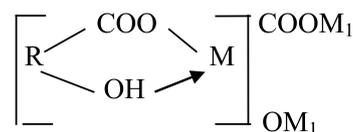
Металлы в почве сорбируются органическими веществами, глинистыми минералами. Чем меньше частицы почвы, тем больше их способность удерживать воду и химические вещества. Металлы-токсиканты, поступая в грунтовые воды, поглощаются растениями, двигаются по трофическим цепям, активизируются микробиологической составляющей почвы, вызывая определённые негативные последствия. Ак-

тивная микробиологическая жизнь почвы способствует трансформации посторонних веществ в почву.

Гуминовые вещества почвы обладают ярко выраженной способностью образовывать комплексные соединения. Металл входит в анионную часть молекулы комплексно-гетерополярной соли, образуя соединение типа



Здесь М может быть представлен  $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ , а также аналогичными частицами другого состава, например, с участием алюминия, свинца, кадмия и так далее. Такие комплексные соединения могут иметь свободные карбоксильные и фенольные группы и образовывать простые гетерополярные соли других металлов:



Здесь  $\text{M}_1$  – катионы сильных оснований:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ . В этой же позиции могут находиться также ионы кальция, магния, алюминия, свинца и других металлов, которые могут свободно мигрировать в ландшафте или накапливаться в отдельных горизонтах почвенного профиля.

Таблица 5

Тяжелые металлы, входящие в состав некоторых энзимов, и последствия их замены (Williams, 1967)

Энзимы	Первичный металл	Металлы, которые могут замещать первичный металл, и наблюдаемая при этом эффективность фермента	
		Уменьшение	Полное прекращение
Декарбоксилаза	Mn	Mg	Co, Ni, Zn
Энолаза	Mn	Mg, Zn, Fe, Co, Ni	Be, Cu
АТФ-азы	Mn	Mg, Ni, Zn	Cu, Hg, Pb
Аргининаза	Mn	Co, Ni	Cu
Карбоксилаза	Zn	Co, Ni, Mn	Cu, Cd, Hg
Пептидаза	–	–	Pb
Дегидрогеназа	Zn	Co, Ni, Mn	Cu, Cd, Hg
Трансфераза	Fe	–	Cu, Cr, Mn

Практически неподвижны в почвенном профиле соединения, относящиеся к адсорбционным комплексам. Для адсорбционных комплексов характерны межмолекулярные, ионные и координационные связи. В этой форме в почвенном профиле закрепляются и накапливаются органические вещества (гумусовые), но в этой же форме могут аккумулироваться загрязняющие вещества как органической (пестициды, углеводороды, детергенты), так и неорганической (тяжелые металлы) природы [5].

Активность металлов в почвенной среде зависит от растений, от pH почвенного раствора. Минимальное поступление тяжёлых металлов в растения происходит при pH 6,5. Тяжёлые металлы вмешиваются в метаболический цикл живых организмов, но биохимическому разложению не подвергаются. Они способны вступать в химические реакции с неметаллами и друг с другом. Входят в состав органоминеральной составляющей и в таком виде мигрируют. Соединения тяжёлых металлов подвергаются многочисленным превращениям: осаждению/растворению; десорбции/адсорбции. Возможно формирование новой поглощающей поверхности с увеличением адсорбционной способности металлов [6].

Металлы-токсиканты оказывают как прямое, так и косвенное воздействие на реакции с участием ферментов почвенного покрова. В первом случае наблюдается блокировка реакции с участием фермента. Происходит уменьшение (возможно и прекращение) его каталитического действия (табл. 5).

Определяют почвенное плодородие и здоровье ферменты, такие как пероксидазы, нитрогеназы, нитратредуктазы и др. Азотный режим почвы, доступность

элементов питания, способность почвы к детоксикации различных поллютантов – основная роль ферментов в почвенном покрове. Почва – своеобразный склад ферментов. Оказывая косвенное воздействие, тяжёлые металлы способны переводить питательные вещества в недоступное состояние, в «голодную среду».

Тяжёлые металлы опасны слабым выведением из почвы. Включение в метаболические циклы ведет к различным физиологическим и генетическим нарушениям [7].

Тяжёлые металлы способны отравлять организм человека и механически засорять его, оседая на стенках тончайших систем организма – почечных каналов, каналов печени. Фильтрационная способность организма снижается. Биоты почвы обезвреживают многие патогены и токсиканты, увеличивая самоочищающую способность почвы.

### Заключение

Одной из важных характеристик химического состава почв является реакция её среды – кислотность почвы. В среднем pH исследуемых почв близок к нейтральному значению 6,81–7,78. В составе обменных катионов определены ионы кальция и магния с преобладанием ионов кальция. В процессе работы в почвах выявлено превышение допустимого остаточного содержания ионов Mn, Mo, Pb, V, Zr, Co, Cr, Cu. Загрязнение почв тяжёлыми металлами – достаточно специфичное явление с далеко не всегда предсказуемыми последствиями.

В данном исследовании сделан акцент на предприятиях только одного административного округа города. По государственному контракту с Министерством природных ресурсов и экологии Омской области в горо-

де проводится обследование почв на содержание тяжёлых металлов. Данные о содержании тяжёлых металлов в почве являются собственностью Министерства природных ресурсов и экологии Омской области. По результатам анализа загрязнения почв выявляются участки территории города, где есть превышение ПДК по содержанию тяжёлых металлов. Предприятиям выдаются рекомендации по устранению загрязнений. Результаты анализа почв также передаются в управление Росприроднадзора по Омской области.

#### Список литературы / References

1. Струнин В.И., Струнина Н.Н., Байсова Б.Т. Атомная спектроскопия: учебно-методическое пособие. Омск: Изд-во Омского гос. ун-та, 2013. 104 с.  
Strunin V.I., Strunina N.N., Basova B.T. Atomic spectroscopy: educational and methodical grant. Omsk: Izd-vo Omskogo gos. un-ta, 2013. 104 p. (in Russian).
2. Галактионова Л.В., Достова Т.М. Химия почв: практикум. Оренбург: ОГУ, 2013. 144 с.  
Galaktionova L.V., Dostava T.M. Chemistry of soils: workshop. Orenburg: OGU, 2013. 144 p. (in Russian).
3. Скрипко Т.В., Меньших С.А., Струнина Н.Н., Байсова Б.Т. Исследование влияния металлического компонента в почвенном покрове городской территории // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. № 2. С. 217–220.  
Skripko T.V., Menshikh S.A., Strunina N.N., Baisova B.T. Investigation of the influence of the metal component in the soil cover of the urban area // *Dinamika sistem, mexanizmov i mashin*. 2016. № 2. P. 217–220 (in Russian).
4. Саломатов В.В. Золошлаковые отходы ТЭЦ на кузнецких углях и пути их масштабной утилизации // ЭКО-бюллетень ИнЭКА. 2008. № 5 (130). С. 33–35.  
Salomatov V.V. Zoloshlakovy waste of combined heat and power plant on the Kuznetsk coals and a way of their large-scale utilization // *ECO-Bulletin of InEca*. 2008. № 5 (130). P. 33–35 (in Russian).
5. Уваров Г.И. Экологические функции почв: учебное пособие. 2-е изд., доп. СПб.: Лань, 2017. 296 с.  
Uvarov G.I. Ecological functions of soils: textbook. 2nd ed., additional. SPb.: LAN, 2017. 296 p. (in Russian).
6. Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Адсорбция тяжелых металлов почвами и горными породами. Характеристики сорбента, условия, параметры и механизмы адсорбции. Аналитический обзор. Серия «Экология». Вып. 90. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2009. 155 с.  
Putilina V.S., Galitskaya I.V., Yuganova T.I. Adsorption of heavy metals by soils and rocks. Characteristics of the sorbent, conditions, parameters, and mechanisms of adsorption = adsorption of Heavy metals by soils and rocks. Analyt. review. Ecology series. Issue 90. Novosibirsk: GPNTB SO RAN, 2009. 155 p. (in Russian).
7. Герасименко В.П. Практикум по агроэкологии: учебное пособие для студентов с.-х. вузов по специальности 110102 «Агроэкология». СПб.: Лань, 2009. 427 с.  
Gerasimenko V.P. Workshop on agroecology: the manual for students of agricultural higher education institutions in 110102 Agroekologiya. SPb.: LAN, 2009. 427 p. (in Russian).

УДК 504.3:57.045

## ОЦЕНКА БИОТРОПНОСТИ ВНУТРИСУТОЧНЫХ ГРАДИЕНТОВ ВЕСОВОГО СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ, АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТЕРРИТОРИИ ХМАО-ЮГРЫ

**Соколов С.В.**

*БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский государственный университет», Сургут,  
e-mail: ccv121@rambler.ru*

Проведён анализ временных рядов величины внутрисуточной изменчивости температуры атмосферного воздуха, атмосферного давления и весового содержания кислорода в атмосферном воздухе для населённых пунктов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. В качестве исходных данных использовали базы срочных данных климатических данных ВНИИГМИ МЦД за 1998–2018 гг. с определением величины весового содержания кислорода в атмосферном воздухе. Для оценки биотропности внутрисуточной изменчивости перечисленных биоклиматических показателей применялись критерии физиолого-гигиенического подхода оценки степени комфортности окружающей среды. В работе изложена процедура вычисления среднемесячного и среднемноголетнего суммарного коэффициента биотропности для населённых пунктов. Среднемноголетняя величина биотропности внутрисуточной изменчивости рассматриваемых показателей для всех населённых пунктов соответствует умеренному биотропному эффекту. Доля индифферентного типа погоды не превышает 20%. Распределение биотропности перечисленных биоклиматических показателей неоднородно на территории ХМАО-Югры, имеет определённые временные особенности и формирует дискомфортные условия, что подтверждается результатами их оценки. Годовая оценка величины ВСИ этих показателей указывает на их биотропность, в сочетании они формируют гипоксический (июнь – август, февраль – март) и спастический типы погоды (ноябрь – январь, апрель – май) за счёт быстро меняющегося аэродинамического режима на территории округа. Предложенная комплексная оценка биоклиматического режима территории может быть использована как информационная составляющая в комплексном экологическом мониторинге территории и в здравоохранении для проведения профилактики метеозависимости, а также при разработке программ развития туризма в регионе и при планировании и проектировании зон отдыха.

**Ключевые слова:** биотропность внутрисуточной изменчивости, атмосферное давление, температура атмосферного воздуха, весовое содержание кислорода в атмосферном воздухе

## ASSESSMENT OF THE BIOTROPIC INTRADAY GRADIENTS OF THE WEIGHT CONTENT OF OXYGEN IN ATMOSPHERIC AIR, ATMOSPHERIC PRESSURE AND TEMPERATURE IN THE TERRITORY OF KHANTY-MANSIYSK AUTONOMOUS DISTRICT – YUGRA

**Sokolov S.V.**

*Surgut State University, Surgut, e-mail: ccv121@rambler.ru*

The analysis of time series values inside the daily variability in ambient air temperature, atmospheric pressure and weighing the oxygen content of the ambient air for settlements of Khanty-Mansi district -Yugra. As the initial data base used for urgent data climatic data of FSBI «RIHMI – WDC» for the period 1998-2018 years with determination of magnitude of weighing the oxygen content of the ambient air. For the evaluation of biotroponosti inside the daily variability of bioclimatic indicators listed criteria were applied to the physiological-hygienic evaluation of environmental comfort degree approach Wednesday. In the work procedure for the calculation of the average monthly and cumulative average coefficient biotroponosti for human settlements. Average annual value of biotroponosti within daily variability are discussed for all human settlements indicators correspond to mild biotroponomu effect. The proportion of indifferent weather type does not exceed 20%. Biotroponosti bioclimatic indicators listed distribution is not uniform on the territory of Khanty-Mansi district-Yugra, has certain temporary features and creates uncomfortable conditions, as evidenced by the results of their evaluation. Annual assessment values of all these indicators points to their biotroponost, which when combined form a hypoxic (June-August, February-March) and spastic weather types (November-January, April-May) due to the rapidly changing aerodynamic regime within the County. The proposed integrated evaluation of bioclimatic mode area can be used as an information component in the integrated environmental monitoring and healthcare for prevention, as well as meteozaavisimosti, when designing programmes of development of tourism in the region and the planning and design of recreational areas.

**Keywords:** biotroponost within daily variability, atmospheric pressure, air temperature, weighted oxygen concentration in ambient air

Комплексная оценка параметров экологической ниши и, в частности, оценка неспецифических факторов среды и степени их влияния – составная часть комплексного экологического мониторинга территории, являющегося инструментом управления качеством окружающей среды и уровнем здоровья насе-

ления. Она предопределяет установление положительных и отрицательных воздействий различных климатических факторов и их комплексов на живой организм, определяющих биоклиматическую комфортность. Величина реакции живого организма на изменчивость климатических факторов и его состояние

определяется биотропностью климатических характеристик, которые влияют на живой организм как добавочный стресс, являясь переменной возмущения, на которую живой организм должен реагировать так, чтобы поддерживать его гомеостаз на должном уровне. Биотропность климатических факторов не причина, а только толчок для острых метеотропных реакций, так как метеотропность – одно из свойств организма.

Неблагоприятное воздействие на адаптационные механизмы живого организма оказывают сочетание отдельные метеорологические характеристики и градиент их временной изменчивости. Особое внимание при оценке биотропности климатических факторов на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (ХМАО-Югры) следует уделять их внутрисуточной (ВСИ) изменчивости, обусловленной прохождением атмосферных фронтов и контрастной сменой погоды.

ВСИ проявляется в изменении метеорологических параметров в течение суток. Особое внимание следует обращать на метеорологические характеристики, изменчивость которых в комплексе приводит к обострению заболеваний сердечно-сосудистой системы, болезням органов дыхания, изменению психосоматического статуса. Ранее проведённые медико-метеорологические исследования [1–3] позволили выявить наиболее биотропные биоклиматические факторы, определяющие вышеперечисленные заболевания – температура атмосферного воздуха (Т.ав), атмосферное давление (Ад), весовое содержание кислорода в атмосферном воздухе (ВСК.ав) [4, 5]. Применяя физиолого-гигиенический подход в оценке биоклиматических факторов, можно оценить степени биоклиматической комфортности окружающей среды, провести оценку их патогенности для здоровья [6, 7]. Расширение методологии биотропизма внутрисуточной изменчивости биоклиматических показателей применительно к медико-экологической оценке реакции организма человека на изменчивость этих факторов позволяет выявить причинно-следственные связи возникновения и обострения метеобусловленных заболеваний.

Цель исследования: отработка методологии комплексной оценки величины биотропности ВСИ изменчивости ряда биоклиматических характеристик, приводящих к обострению сердечно-сосудистых заболеваний, заболеваний органов дыхания, психосоматических заболеваний. Основная

задача исследования – апробация существующего методологического подхода к биоклиматической оценке и территориальная дифференциация биоклиматических условий применительно к климатическим условиям ХМАО-Югры по биотропности комплекса климатических факторов, оценка их комфортности для проживания населения на данной территории.

#### Материалы и методы исследования

Основой методологии настоящего исследования является использование основных принципов и методов, применяемых в прикладной климатологии, биометеорологии, медико-метеорологических исследованиях для выявления наиболее биотропных факторов погоды и критериев оценки их патогенности для здоровья.

В основу исследований положены результаты обработки срочных метеорологических данных многолетних наблюдений (1998–2018 г.) для сети станций, расположенных на территории Сургутского и Нижневартовского районов ХМАО-Югры базы данных Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации Мирового центра данных г. Обнинска [8] дополненные из архива ООО «Расписание Погоды», Санкт-Петербург [9], Срочные метеорологические данные в полном объёме для этих территорий ранее 1998 г. отсутствуют.

В настоящем исследовании впервые был проведён анализ биотропности сочетанной ВСИ ВСК.ав, Ад и Т.ав на территории районов ХМАО-Югры. ВСК.ав по срокам наблюдения вычислялось по методике В.Ф. Овчаровой [4].

Для оценки биотропности ВСИ перечисленных биоклиматических показателей использовали критерии физиолого-гигиенического подхода оценки степени комфортности окружающей среды [6,10], приведённые в табл. 1.

Первый этап оценки степени биотропности предусматривал определение средне-взвешенных величин повторяемости групп критериев по месяцам (среднемесячное значение) и за весь период (среднемноголетнее значение) по каждому населённому пункту ХМАО-Югры.

На втором этапе с учётом рассчитанных средне-взвешенных значений повторяемости по группам степени биотропности и величины коэффициента биотропности для каждой группы был вычислен средне-месячный и среднемноголетний суммарный

коэффициент биотропности для каждого населённого пункта ( $\sum K_b$ ) по формуле:

$$\sum K_b_n = \sum (M_{V_{1in}} * K_{b_{1in}} + M_{V_{2in}} * K_{b_{2in}} + M_{V_{3in}} * K_{b_{3in}} + M_{V_{4in}} * K_{b_{4in}} + M_{V_{5in}} * K_{b_{5in}}),$$

где  $n$  – номер населённого пункта,  $M_v$  – средневзвешенное значение, доли,  $i$  – биоклиматический показатель, 1–5 – группы степени биотропности,  $K_b$  – коэффициент биотропности.

Статистическая обработка данных проведена с использованием пакета программ Statistica 6.0 методами описательной статистики, определения достоверности различий суммарного значения коэффициента биотропности между рассматриваемыми населёнными пунктами ХМАО-Югры по Стьюденту. Статистически значимыми считали результаты при  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение**

Анализ величины ВСИ ВСК.ав, Ад и Т.ав по срочным данным позволил определить закономерность их месячной динамики по населённым пунктам Сургутского и Нижневартовского районов ХМАО-Югры и их величину биотропности.

Прослеживается сезонная динамика величины ВСИ ВСК.ав (рис. 1). Наибольшее значение этот показатель принимает в период февраль – март, что соответствует умеренному биотропному эффекту градиента ВСИ ВСК.ав, выражающийся в погодной гипоксии и обострении заболеваний органов дыхания. Минимальное значение градиента ВСИ ВСК.ав, соответствующее слабому биотропному эффекту, отмечается в сентябре – ноябре.

**Таблица 1**

Сводные показатели критериев оценки степени биотропности погоды по величине ВСИ Т.ав, Ад и ВСК.ав и коэффициента биотропности ( $K_b$ )

№ группы	Степень биотропности (тип погоды)	ВСИ Т.ав, град		ВСИ Ад, гПа		ВСИ ВСК.ав, г/м3	
		Интервал амплитуды	$K_b$ , отн. ед.	Интервал амплитуды	$K_b$ , отн. ед.	Интервал амплитуды	$K_b$ , отн. ед.
1	индифферентная	0–4,0	0	0–2,5	0	0–2,5	0
2	слабая	4,1–8,0	0,2	2,6–5,0	0,4	2,6–5,0	0,4
3	умеренная	8,1–12,0	0,6	5,1–10,0	0,8	5,1–10,0	0,8
4	резкая	12,1–16,0	1	10,1–20,0	1,2	10,1–40,0	1,2
5	чрезмерно резкая	более 16,1	1,4	более 20,1	1,6	более 40,1	1,6

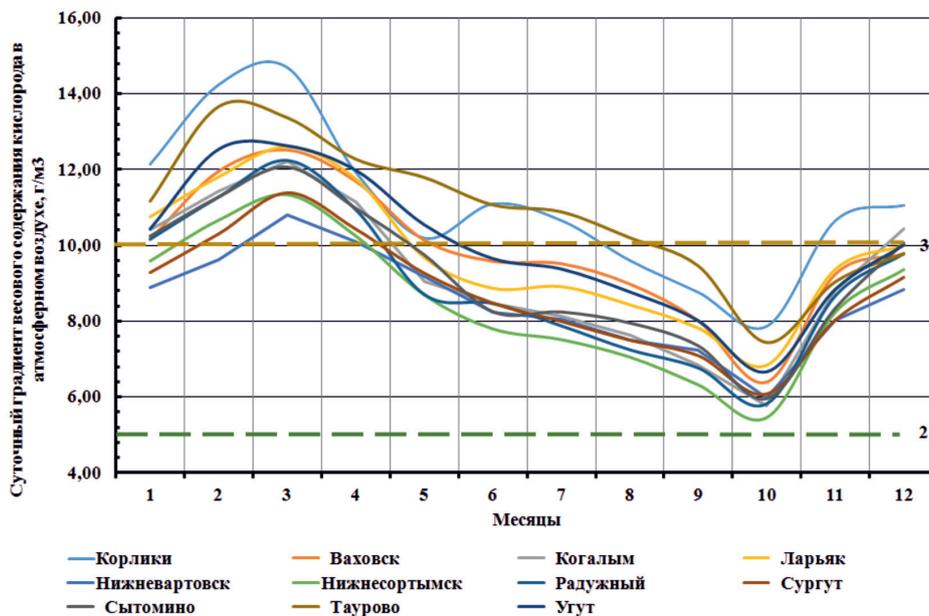


Рис. 1. Среднемесячная величина ВСИ весового содержания кислорода в атмосферном воздухе по населённым пунктам ХМАО-Югры. Цифрами 2 и 3 показана граница группы степени биотропности (табл. 1) данного биоклиматического показателя

Таблица 2

Среднегодовое значение суммарной биотропности ВСИ Т.ав, Ад и ВСК.ав по населённым пунктам ХМАО-Югры

Населённый пункт	Биотропность ВСИ Т.ав	Биотропность ВСИ Ад	Биотропность ВСИ ВСК.ав
Корлики	0,514	0,569	0,906
Ваховск	0,426	0,584	0,876
Когалым	0,367	0,581	0,828
Ларьяк	0,415	0,593	0,877
Нижневартовск	0,332	0,557	0,802
Нижнесорттымск	0,333	0,545	0,786
Радужный	0,363	0,548	0,811
Сургут	0,318	0,582	0,809
Сытомино	0,507	0,567	0,930
Таурово	0,517	0,561	0,906
Угут	0,441	0,587	0,881

Территориальный анализ среднегодовых значений биотропности градиента ВСИ ВСК.ав для рассмотренных населённых пунктов указывает на умеренный уровень комфортности по этому биоклиматическому показателю (табл. 2). Следует отметить достоверное различие величины градиента ВСИ ВСК.ав для населённых пунктов Нижневартовского района, расположенных на востоке и западе района (Нижневартовск, Корлики), также населённых пунктов Сургутского района, расположенных на севере и юге района (Нижнесорттымск, Таурово). Анализ повторяемости градаций биотропности ВСИ ВСК.ав показал, что на индифферентный тип погоды приходится 7% годового периода, на погоды со слабым биотропным эффектом – 20%, на погоды с умеренным и выраженным биотропным эффектом – 73% (табл. 3). Преобладание погод с умеренной и выраженной биотропностью ВСИ ВСК.ав определяет повышенный риск возникновения погодной гипоксии и ухудшении состояния здоровья населения, проживающего на этой территории.

Сезонность динамика величины ВСИ Ад (рис. 2) зависит от циклональной активности. Наибольшее значение этот показатель принимает в периоды март – апрель и октябрь – декабрь, а минимальное – в период июнь – август, что соответствует слабому биотропному эффекту градиента ВСИ Ад.

Среднегодовое значение биотропности градиента ВСИ Ад для всех населённых пунктов соответствует слабому биотропному эффекту этого биоклиматического показателя (табл. 2). Достоверных различий величины градиента ВСИ Ад для населённых пунктов Нижневартовского и Сургутского районов не выявлено. Ана-

лиз повторяемости градаций биотропности ВСИ Ад показал, что на индифферентный тип погоды приходится 25% годового периода, на погоды со слабым биотропным эффектом – 31%, на погоды с умеренным и резко выраженным биотропным эффектом – 44% (табл. 3). Приведённые данные указывают на возможное возникновение метеотропных реакций северян в связи с изменением атмосферного давления в течение суток с долей вероятности 44%.

Прослеживается сезонная динамика величины ВСИ Т.ав (рис. 3). Наибольшее значение этот показатель принимает в период март – июль, что соответствует умеренному биотропному эффекту градиента ВСИ Т.ав., выражающемуся в дополнительной нагрузке на систему терморегуляции. Минимальное значение градиента ВСИ Т.ав, соответствующее слабому биотропному эффекту, отмечается в сентябре – ноябре.

Территориальный анализ среднегодовых значений биотропности градиента ВСИ Т.ав для всех населённых пунктов указывает на умеренный биотропный эффект этого показателя (табл. 2). Установлено достоверное различие величины градиента ВСИ Т.ав для населённых пунктов Нижневартовского района, расположенных на востоке и западе района (Нижневартовск, Корлики) и населённых пунктов Сургутского района, расположенных на севере и юге района (Нижнесорттымск, Таурово). Анализ повторяемости градаций биотропного эффекта ВСИ Т.ав показал, что на индифферентный тип погоды приходится 22% годового периода, на погоды со слабым биотропным эффектом – 35%, на погоды с умеренным и резко выраженным биотропным эффектом – 43% (табл. 3). Приведённые данные указывают на

возможное возникновение дополнительной нагрузки на систему терморегуляции у северян в связи с изменением температуры атмосферного воздуха в течение суток с долей вероятности 43%.

Рассмотренные неспецифические биоклиматические факторы среды обитания (температура атмосферного воздуха, атмосферное давление, весовое содержание кислорода в атмосферном воздухе) и их ВСИ оказывают влияние на организм человека. По данным ряда исследователей [4, 10] биотроп-

ное их воздействие определяется пороговой чувствительностью человека на ВСИ этих биоклиматических показателей: для температуры атмосферного воздуха она составляет 6 град. С, для атмосферного давления – 5 гПа, для весового содержания кислорода в атмосферном воздухе – 5 г/м<sup>3</sup>. Приведённая величина изменчивости соответствует индифферентному типу погоды. В годовом балансе для территории ХМАО-Югры она составляет 28, 25 и 8% случаев соответственно перечисленным биоклиматическим показателям.

**Таблица 3**

Величина средневзвешенных значений повторяемости коэффициентов биотропности ВСИ Т.ав, Ад и ВСК.ав за период с 1998 по 2018 г. по населённым пунктам ХМАО-Югры

Населённые пункты	Доля степени биотропности ВСИ Т.ав по группам степени биотропности, %					Доля степени биотропности ВСИ Ад по группам степени биотропности, %					Доля ВСИ ВСК.ав по группам степени биотропности, %			
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4
Корлики	19,7	30,5	23,0	15,0	11,8	22,7	30,0	30,9	15,1	1,2	4,6	13,8	32,4	49,1
Ваховск	20,6	34,7	27,1	13,0	4,6	21,1	29,9	32,2	15,5	1,3	4,3	14,0	40,0	41,6
Когалым	24,5	37,7	25,0	9,3	3,5	21,7	29,4	32,5	14,9	1,6	5,6	17,3	41,5	35,6
Ларьяк	19,5	37,1	26,3	12,4	4,1	20,6	29,6	32,2	16,4	1,3	2,9	15,6	40,8	40,6
Нижневартовск	26,2	39,5	24,4	8,2	1,8	23,5	29,4	31,2	14,3	1,2	6,0	18,5	43,2	31,9
Нижнесорттымск	28,2	38,1	22,7	8,3	2,7	23,8	31,0	31,2	12,8	1,2	7,5	20,2	40,8	31,5
Радужный	26,7	36,3	23,8	9,6	3,6	24,6	29,6	31,2	13,6	1,1	6,5	19,1	39,7	34,7
Сургут	26,4	25,8	24,9	8,5	2,3	20,9	30,3	32,8	14,5	1,5	6,7	17,6	42,6	33,1
Сытомино	15,6	32,7	27,0	16,4	8,3	22,4	30,3	32,1	13,8	1,5	2,9	11,4	36,3	49,4
Таурово	19,5	29,4	24,3	15,7	11,1	22,7	30,7	31,3	14,1	1,1	5,1	12,9	32,6	49,4
Угут	19,2	35,5	26,1	13,9	5,3	21,3	28,8	33,4	15,3	1,3	3,9	15,1	38,1	42,9

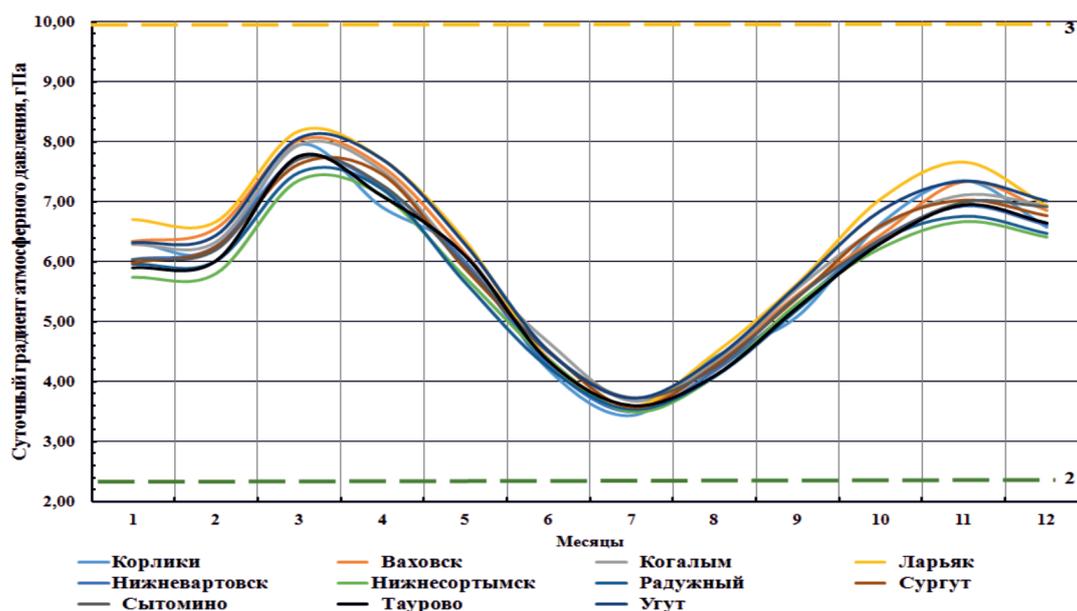


Рис. 2. Среднемесячная величина ВСИ атмосферного давления по населённым пунктам ХМАО-Югры. Цифрами 2 и 3 показана граница группы степени биотропности (табл. 1) данного биоклиматического показателя

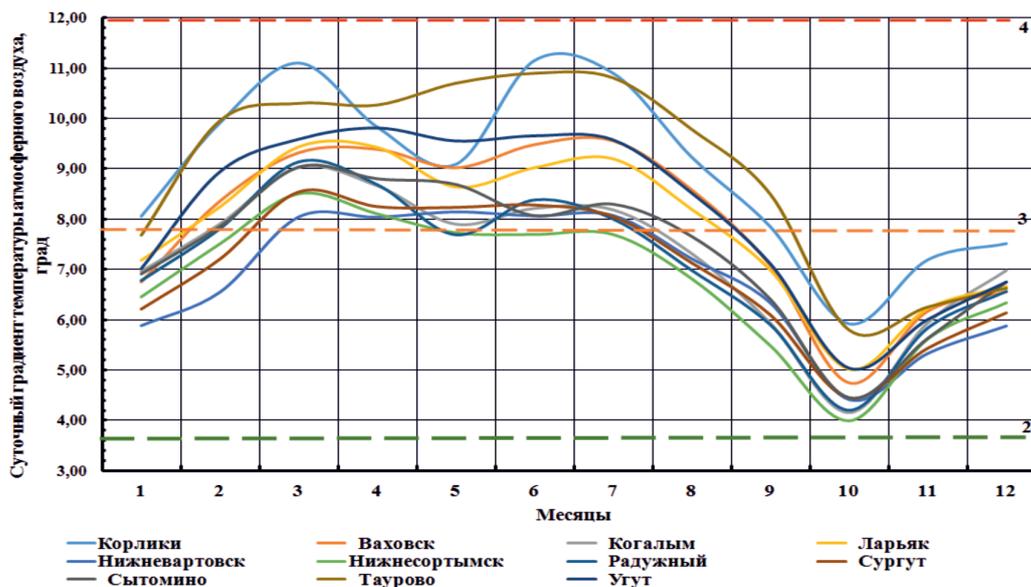


Рис. 3. Среднемесячная величина ВСИ температуры атмосферного воздуха по населённым пунктам ХМАО-Югры. Цифрами 2, 3 и 4 показана граница группы степени биотропности (табл. 1) данного биоклиматического показателя

Годовая оценка величины ВСИ этих показателей указывает на их биотропность, которые в сочетании формируют гипоксический (июнь – август, февраль – март) и спастический типы погоды (ноябрь – январь, апрель – май) за счёт быстро меняющегося аэродинамического режима на территории ХМАО-Югры.

Для населённых пунктов ХМАО-Югры, расположенных в северном, южном, западном и восточном районах, определены достоверные различия величины биотропности весового содержания кислорода в атмосферном воздухе и температуры атмосферного воздуха, что указывает на отличие аэродинамических режимов в этих районах.

Сравнение результатов ранее проведённых исследований по оценке биотропности биоклиматических показателей [1, 2, 6] и результатов собственных исследований позволяет констатировать выраженный биотропный эффект внутрисуточной изменчивости рассмотренных биоклиматических показателей в северном регионе, дополняя и уточняя методические принципы применения актуальных методов оценки внутрисуточной изменчивости биоклиматических показателей, используемых для оценки комфортности погоды и определения рисков возникновения или обострения метеобусловленных заболеваний.

## Выводы

Таким образом, проведённые исследования позволили оценить особенности биотропности внутрисуточной изменчивости биоклиматических показателей в населённых пунктах ХМАО-Югры и проанализировать пространственно-временное распределение степени биотропности градиента внутрисуточной изменчивости температуры атмосферного воздуха, атмосферного давления и весового содержания кислорода в атмосферном воздухе на этой территории.

Установлено, что распределение биотропности внутрисуточной изменчивости перечисленных биоклиматических показателей неоднородно на территории ХМАО-Югры, имеет определённые временные и территориальные особенности, формирует дискомфортные условия, что подтверждается результатами их оценки.

Использованные при оценке биотропности внутрисуточной изменчивости биоклиматические показатели и принцип территориальности и интегрированной оценки позволяют выявлять районы повышенного риска для заболеваний, связанных с влиянием климата.

Результаты проведённых исследований являются частью общей задачи медико-экологической оценки риска возникновения или обострения метеобусловленных забо-

леваный. Предложенная комплексная оценка биоклиматического режима территории может быть использована как информационная составляющая в комплексном экологическом мониторинге территории и в здравоохранении для проведения профилактики метеозависимости, а также при разработке программ развития туризма в регионе и при планировании и проектировании зон отдыха.

### Список литературы / References

1. Трубина М.А., Хассо Л.А., Дячко Ж.К. Методы биоклиматической оценки Северо-Западного региона России // Ученые записки Российского гидрометеорологического университета. 2010. № 13. С. 121–137.
2. Trubina M.A., Hasso L.A., Dyachko J.K. Bioclimatic evaluation methods of Northwest region of Russia // Ucheny'e zapiski Rossijskogo gidrometeorologicheskogo universiteta. 2010. № 13. P. 121–137 (in Russian).
3. Бобровницкий И.П., Бадалов Н.Г., Уянаева А.И., Тупицына Ю.Ю., Яковлев М. Ю., Максимова Г.А. Биотропные погодные условия и изменение времяисчисления как внешние факторы риска погодообусловленных обострений хронических заболеваний // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2014. № 4. С. 26–32.
4. Bobrovnickij I.P., Badalov N.G., Uyanayev A.I., Tupitsyn Y.Y., Yakovlev M.Y., Maximova G.A. The biotropic weather conditions and changing the clocks as the extraneous risk factors of weather-dependent exacerbations of chronic diseases // Problems of Balneology, Physiotherapy, and Exercise Therapy. 2014. № 4. P. 26–32 (in Russian).
5. Ревич Б.А. Климатические изменения как новый фактор риска для здоровья населения Российского Севера // Экология человека. 2009. № 6. С. 11–15.
6. Revich B.A. Climate change as a new risk factor to the health of the population of the Russian North // Human Ecology. 2009. № 6. P. 11–15 (in Russian).
7. Петров В.Н. Особенности влияния парциального градиента плотности кислорода в атмосферном воздухе на состояние здоровья населения, проживающего в арктической зоне РФ // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. № 3 (22). С. 82–92.
8. Petrov V.N. Features of influence of partial oxygen density gradient in atmospheric air to the health of people living in Arctic of the Russian Federation // Vestnik Kol'skogo nauchnogo centra RAN. 2015. № 3 (22). P. 82–92 (in Russian).
9. Гинзбург А.С., Виноградова А.А., Фёдорова Е.И., Никитич Е.В., Карпов А.В. Содержание кислорода в атмосфере крупных городов и проблемы дыхания // Геофизические процессы и биосфера. 2014. Т. 13. № 2. С. 5–19.
10. Ginzburg A.S., Vinogradova A.A., Fedorova E.I., Nikitch E.V., Karpov A.V. The oxygen content in the atmosphere of large cities and breathing problems // Geophysical Processes and Biosphere. 2014. Vol. 13. № 2. P. 5–19 (in Russian).
11. Гранберг И.Г., Поволоцкая Н.П., Голицын Г.С., Васин В.А., Гинзбург А.С., Ефименко Н.В., Мкртчян Р.И., Жерлицина Л.И., Кортунова З.В., Максименков Л.О., Погарский Ф.А., Савиных В.В., Сенник И.А., Скляр А.П., Рубинштейн К.Г. Некоторые особенности этиологии и патогенеза ишемической болезни сердца на основе изучения их связи с экологическими и синоптико-метеорологическими факторами на горных курортах России // Патогенез. 2007. Т. 5. № 1–2. С. 82–93.
12. Granberg I.G., Povolotskaya N.P., Golitsyn G.S., Vasin V.A., Ginzburg A.S., Efimenko N.V., Mkrtychyan R.I., Zherlicina L.I., Kortunova Z.V., Maksimenkov L.O., Pogarsky F.A., Savinykh V.V., Senik I.A., Sklyar A.P., Rubinstein K.G. Some particular etiology and the pathogenesis of coronary heart disease based on their environmental and synoptic meteorological factors—the mountain resorts of Russia // Pathogenesis. 2007. Vol. 5. № 1–2. P. 82–93 (in Russian).
13. Андреев С.С. Интегральная оценка климатической комфортности на примере территории Южного федерального округа России. Монография. СПб.: РГТМУ, 2011. 304 с.
14. Andreev S.S. Integrated assessment of climate comfort on the example of the Southern Federal District of Russia. Monograph. SPb.: RGGMU, 2011. 304 p. (in Russian).
15. Данные из архива погодных условий [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.infospace.ru> (дата обращения: 10.01.2019).
16. Data from the archives of weather conditions [Electronic resource]. URL: <http://meteo.infospace.ru> (date of access: 10.01.2019) (in Russian).
17. Данные из архива погодных условий [Электронный ресурс]. URL: <http://tp5.ru/archive.php.wmo> (дата обращения: 10.01.2019).
18. Data from the archives of weather conditions [Electronic resource]. URL: <http://tp5.ru/archive.php.wmo> (date of access: 10.01.2019) (in Russian).
19. Невидимова О.Г., Янкович Е.П., Янкович К.С. Оценка биоклиматических ресурсов центральной и южной частей Западной Сибири // Научный журнал КубГАУ. 2015. № 109(05). [Электронный ресурс]. URL: <http://ej.kubagro.ru/2015/05/pdf/40.pdf> (дата обращения: 10.01.2019).
20. Nevidimova O.G., Yankovich E.P., Yankovich K.S. Score bioclimatic resources of Central and southern parts of Western Siberia // Scientific Journal of KubGAU. 2015. № 109 (05). [Electronic resource]. URL: <http://ej.kubagro.ru/2015/05/pdf/40.pdf> (date of access: 10.01.2019) (in Russian).

УДК 553.3/4:528.8(571.63)

## ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ И ГЕОДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ПРИМОРЬЯ)

<sup>1,2</sup>Шевырёв С.Л.<sup>1</sup>Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, e-mail: shevirev@mail.ru;<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

На обширных территориях Восточной Азии известны многочисленные месторождения благородных металлов: золото-серебряные и месторождения элементов платиновой группы, а также комплексного рудного сырья. Их территориальное размещение и глубина залегания контролируются особенностями как коровой, так и мантийной геодинамики, обусловленной нахождением территории в пределах ареала стагнированного в транзитной зоне мантии океанического слэба, активных плюмовых процессов в зоне крупного мантийного клина (КМК), а также деятельностью долгоживущих разломов различной кинематики и глубины заложения. Изучение особенностей расположения крупнейших месторождений золота (Алдан, Балей, Цзяодун) и платиноносных массивов, с учетом синхронности формирования и геофизических данных, свидетельствуют об их связи с мантийными процессами и проницаемыми зонами периферии стагнированного слэба. Генезис скоплений благородных металлов внутри ареала слэба обусловлен наличием меньших разрывных структур нижнекорового и верхнемантийного заложения, при этом их запасы существенно ниже. Выполненная в пределах Сихотэ-Алинской горно-складчатой области реконструкция флюидопроводящих структур, связанных с активностью тектонопар глубинных разломов, служит целям выяснения тектонической позиции обнаженных и скрытых полифазных щелочных массивов, обусловивших размещение золото-серебряных месторождений, а также прогнозу новых объектов. Работами прошлых исследователей установлено, что сформировавшиеся массивы щелочные расплавы по составу соответствуют неконтаминированному мантийному источнику, что говорит о значительной глубине заложения подводящих структур. Небольшой размер таких интрузивных тел, затрудняющий их обнаружение, усиливает прогнозное значение предложенной геодинамической модели, область применения которой в комплексе с обработкой материалов дистанционного зондирования Земли может являться оценка перспектив обнаружения постмагматических золото-серебряных месторождений подвижных поясов Западной окраины Пацифики.

**Ключевые слова:** геодинамическое районирование, благороднометалльные месторождения, Восточная Азия, линейментный анализ, тектонический парагенезис, субдукция

## REMOTE SENSING OF THE EARTH AND GEODYNAMICS OF PRECIOUS DEPOSITS FORMING (ON THE SAMPLE OF PRIMORYE)

<sup>1,2</sup>Shevirev S.L.<sup>1</sup>Far East Geological institute, Vladivostok, e-mail: shevirev@mail.ru;<sup>2</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok

Areas of East Asia comprise numerous deposits of precious metals (platinum group elements, gold, silver and complex ores). Their locations and depth are controlled by crustal and mantle geodynamics, as well as location on the area of stagnant mantle slab, active plume processes in the large mantle wedge (LMW) as well as the faults activity of different depth and kinematics. Analysis of position and geodynamics of largest gold deposits (Aldan, Baley and Jiaodong) and platinum bearing massifs evidences their relation with mantle plumes and permeable zones of stagnant slab periphery. Genesis of deposits and manifestation of precious metals inside the slab areal depends on small-scale disjunctive structures of lower crust and mantle, whereas their resources are considerably less. Reconstruction of permeable fluid structures evolution with geophysical and remote sensing data of Sikhote-Alin folded belt serves prospectivity of polyphase alkaline massifs, which controls position of deposits. Researches of the predecessors proof that these alkaline melts are arguably related to non-contaminated mantle source, which brings evidences of magmatic sources considerable depth. Small size of such intrusions that bothers detection of the gold-silver deposits, makes offered prospective model critical for postmagmatic gold-silver deposits of Western Pacific mobile belts when combined with remote sensing data.

**Keywords:** geodynamic regioning, precious metals deposits, East Asia, lineament analysis, tectonic paragenesis, subduction

Регион Восточной Азии, включающий территории России, Китая, Монголии и Кореи, располагает коренными и россыпными месторождениями золота и минералов платиновой группы, образующими рудные районы и узлы [1, 2 и др.]. Рудные объекты ассоциированы с крупным Центрально-Азиатским складчатым мегапоясом (ЦАСМ), ограниченным с севера Сибир-

ским, а с юга – Сино-Корейским кратонами. Территория мега-пояса включает в себя складчатые пояса и супертеррейны, характеризующиеся ранне-, позднепалеозойским и мезозойским возрастами. Образование входящих в их состав террейнов происходило в результате асинхронного закрытия отдельных сегментов ЦАСМ в фанерозое и аккреции вдоль окраины континента [3].

Прогнозные ресурсы крупнейших золоторудных узлов (Алданского, Балейского в России, а также Цзяодун в Китае) превышают 1000 т Au. Также многочисленны малые золоторудные объекты различного генезиса [4; 5]. Анализ региональных геодинамических и металлогенических данных показал наличие влияния глубинных процессов на формирование наиболее крупных рудных объектов [1, 2, 6]. Однако изучение особенностей генезиса отдельных месторождений, а также их прогноз требуют отдельного методологического подхода, принимающего во внимание региональные особенности формирования локальных флюидо- и магмопроводящих структур. Настоящее исследование служит целям выяснения тектонической позиции обнаженных и скрытых полифазных щелочных массивов, обусловивших размещение золото-серебряных месторождений, а также прогнозу новых объектов на основе анализа структурно-вещественных парагенезисов, устанавливаемых на дистанционных изображениях Земли.

*Особенности геологического строения территории исследования*

Благороднометалльное оруденение тихоокеанского юга Дальнего Востока России тесно связано с формированием в позднем мелу Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса (ВСАВП), за счет субдукции западного сегмента палеотихоокеанской плиты. При этом также формировались передовые (Западно-Сахалинский) и тыловые (Санцзян-Среднеамурский, Алчанский, Нижнеамурский и др.) прогибы, заполняемые вулканогенными молассами [1, 3, 7]. Позже, в маастрихт-эоцене (72–33 млн лет) происходило погружение тихоокеанской плиты Изагаги под континент, а затем олигоцен-миоценовое время (33–5 млн лет) время задуговой спрединг привел к обособлению Курильской и Японской островных дуг. Сопровождающий процесс рифтогенез сформировал впадины Японского и Охотского морей. Эпизоды интенсивного кайнозойского магматизма, проявившегося в виде полей базальтов, совпадающих с контуром мантийного слэба и крупными разрывными структурами в его пределах, позволяют предполагать активную роль мантийного плюмогенеза в задуговом спрединге Тихоокеанской окраины Азии [8, 9].

Строение верхней мантии и земной коры отличается существенной дифферен-

циацией, выраженной в размещении рифтогенных впадин. Рудоконтролирующими для крупнейших благороднометалльных объектов и узлов являются мантийные структуры и палеотрансформные разломы, а также границы ареала стагнированного слэба [1]. Создание прогнозных моделей территории возможно анализом мантийных и коровых процессов. Субдукция сегмента Тихоокеанской плиты под окраину Восточной Азии определила высокую сейсмичность Курило-Камчатской островодужной системы. Кроме того, основание слэба подверглось воздействию восходящего «горячего» Северо-Азиатского суперплюма [9, 10].

Месторождения золота и комплексного сырья ( $\pm$ Au, Ag) широко представлены в пределах мантийного слэба и связаны с корово-мантийными проводящими структурами. Однако небольшой масштаб и площадь объектов (десятки км<sup>2</sup>) требует приложения усилий для обоснования участков проведения детальных работ. Необходимость развития методологического аппарата для прогноза малых благороднометалльных структур определяет выбор Сихотэ-Алинского супертеррейна (САС) и Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса в качестве объектов детального исследования. САС располагает потенциалом коренных золотосеребряных месторождений, постмагматического, скарнового и вулканогенно-гидротермального генезиса. Детальное исследование было проведено в районе, находящемся в пределах Журавлевского террейна и характеризующемся обстановкой формирования «палеомантийного окна», сформировавшего меднопорфировое (Au-Cu) месторождение Лазурное (Соболиный рудный узел), находящееся в пределах Журавлевского террейна, в зоне влияния Центрального Сихотэ-Алинского разлома (рис. 1).

Ортогональные и нормальные разрывные структуры второго порядка связаны в регионе с коровыми интрузиями, а также оловорудными и полиметалльными рудномагматическими системами [11, 12]. Для наращивания благороднометалльного потенциала САС посредством интерпретации космофотоснимков важным является прогнозирование обстановок растяжения, сопровождающих левосдвиговые структуры первого порядка. Структуры второго порядка кинематически могут быть разделены на суб- и параллельные сдвиги, нормальные раздвиги и ортогональные сдвиги-раздвиги.

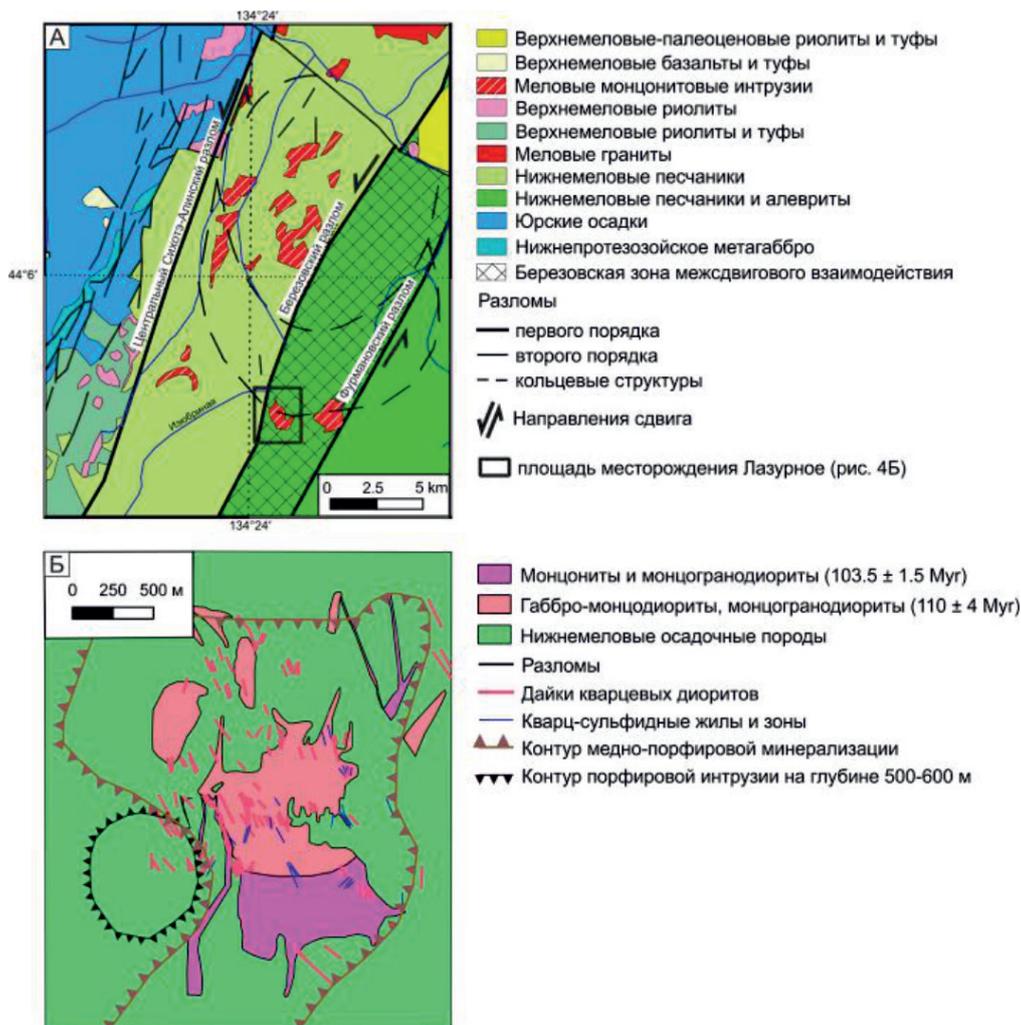


Рис. 1. А. Схематическая геологическая карта зоны взаимодействия Березовского и Фурмановского разломов (по [13] с изменениями и дополнениями автора). Б. Геологическое строение Лазурного штока и прилегающей территории (по [13])

Анализируемая территория приурочена к междвиговой зоне тектонопары Центрального Сихотэ-Алинского и Фурмановского разломов. Центральный Сихотэ-Алинский глубинный разлом, являющийся наиболее крупной дизъюнктивной структурой САС, разделяет Самаркинский (аккреционный бассейн среднеюрского-берриасового возраста) и Журавлевский (турбидитовый бассейн раннего мела) террейны. Флишеподобные породы нижнемелового возраста вмещающего оруденение Журавлевского террейна имеют мощность 5–5,5 км и прорываются магматическими породами различных генераций и возраста, включая крупные меловые интрузии (представлены частично на севере полигона), порфировые монцо-

нитовые интрузии апт-альбского возраста. Сверху они перекрываются вулканами верхнего мела-палеогена основного и кислого составов (рис. 1).

С точки зрения Cu-Au порфировой минерализации интерес представляют двухстадийные монцонитовые интрузии (монцонитовые габбро, габбродиориты и др.), обнажающиеся в пределах Березовской зоны. Меднопорфировое месторождение Лазурное связано с двухфазным Лазурным штоком монцонитов, где выделяются две фазы – первая (Северный шток), представленная габбромонцодиоритами и монцогранодиоритами и вторая (Южный шток), включающая монцониты и монцогранодиориты (рис. 1, Б). Медно-порфировая и молибденовая с золотом рудоносность сосредото-

чена главным образом в Северном штоке. Рудные минералы представлены халькопиритом, борнитом, халькозином, молибдени- том и самородным золотом. Минерализа- ция описана также за пределами интрузии в осадочных породах, при этом общая пло- щадь контура минерализации существенно превышает площадь интрузии. К западу от Лазурного штока по геофизическим дан- ным установлено магматическое тело, зале- гающее на глубине 300–500 м [13].

Абсолютным датированием по циркону (U-Pb) в пределах Лазурного штока опре-

делены возраста стадий внедрения [13]. Для ранней стадии (Северный шток) это  $110 \pm 4$  млн лет и  $103,5 \pm 1,5$  млн лет для поздней стадии (Южный шток). Анализ спектров распределения РЗЭ раскрывает особенности генезиса рудно-магмати- ческой системы: изотопные отношения гафния ( $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ ), иттербия и лютеция в цирконах позволили [13] сделать выво- ды о долгоживущей глубинной проникае- мой структуре и присутствии мантийного неконтаминированного источника магм второй стадии.

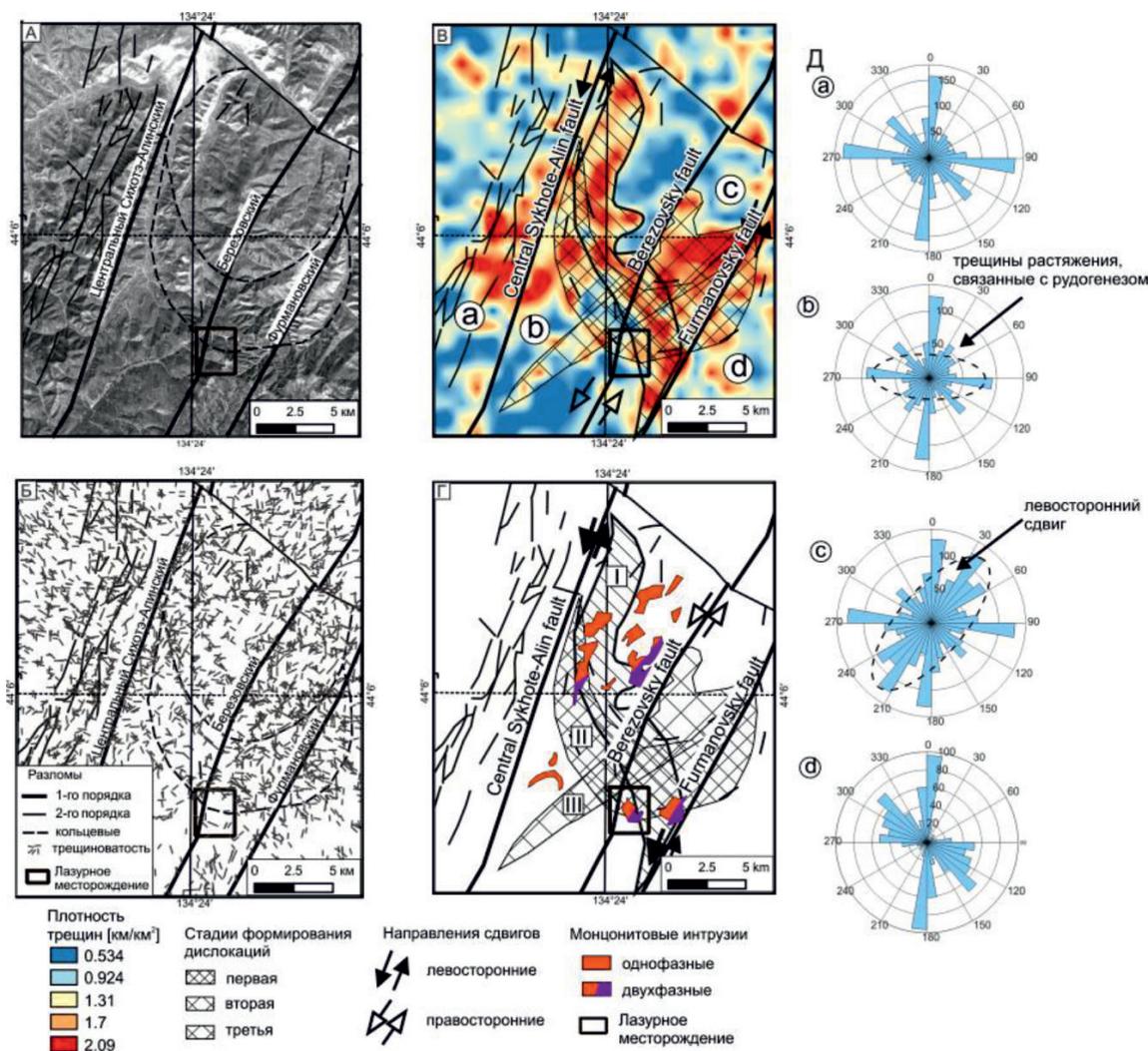


Рис. 2. Дистанционное изображение Landsat 8 территории, прилегающей к рудному полю Лазурное (А); Схема дешифрирования линейных элементов, построенная с помощью программного обеспечения LEFA (Б); Тектонический паттерн территории исследования: В – карта плотности распределения линейных элементов дистанционного изображения (км/км<sup>2</sup>); Г – схема интерпретации стадийности возникновения дислокаций и связанные с ними группы монцитонитовых интрузий; Д – розы-диаграммы трещиноватости (а – Западная; б – Центральнo-Сихотэ-Алинско-Березовская; с – Березовско-Фурмановская; d – Восточная. Цифры в квадратах отражают стадии межсдвиговых дислокаций)

### Материалы и методы исследования

Кинематика формирования и динамика проницаемых структур в зоне влияния тектонопары Центральный Сихотэ-Алинский – Фурмановский разломы, может быть объяснена с помощью численного моделирования сдвига и анализом паттерна трещиноватости, полученного с использованием технологий машинного зрения в программе LEFA [14]. На космическом изображении Landsat 8 (дата съемки: 07.11.2017, канал 8) (рис. 2, А) дешифрированы линейные элементы, предположительно соответствующие региональной трещиноватости. На схеме видны неоднородности в их распределении, зоны сгущения и разрежения (рис. 2, Б). Для количественного описания характеристик распределения линейных элементов была построена карта плотности (рис. 2, В), которая позволила предположить скрытую тектоническую зональность, сформированную на различных стадиях геологической истории рассматриваемой системы параллельных разломов и подчеркивающуюся основными направ-

лениями роз-диаграмм (рис. 2, Д). В пределах территории исследования выделены четыре тектонические зоны (рис. 2 (В) а – d), дифференцированные по основным направлениям линейментов автоматизированного дешифрирования. Выделяются главные направления: широтное и меридиональное, которые присутствуют во всех зонах, кроме Восточной, для направлений которой менее выражен широтный компонент. Северо-восточное направление преобладает в Березовско-Фурмановской зоне и соответствует главному направлению структур региона – сдвигам северо-восточного простирания, отвечающим Восточно-Азиатской мегазоне Тан-Лу. Северо-западное направление соответствует зонам растяжения, ортогональным основному направлению структур. С сопряженными структурами в пределах участка исследования связано внедрение двухфазных порфировых монцититовых интрузий. Кроме того, в тектонической эволюции территории нами выделяется выраженная стадийность.

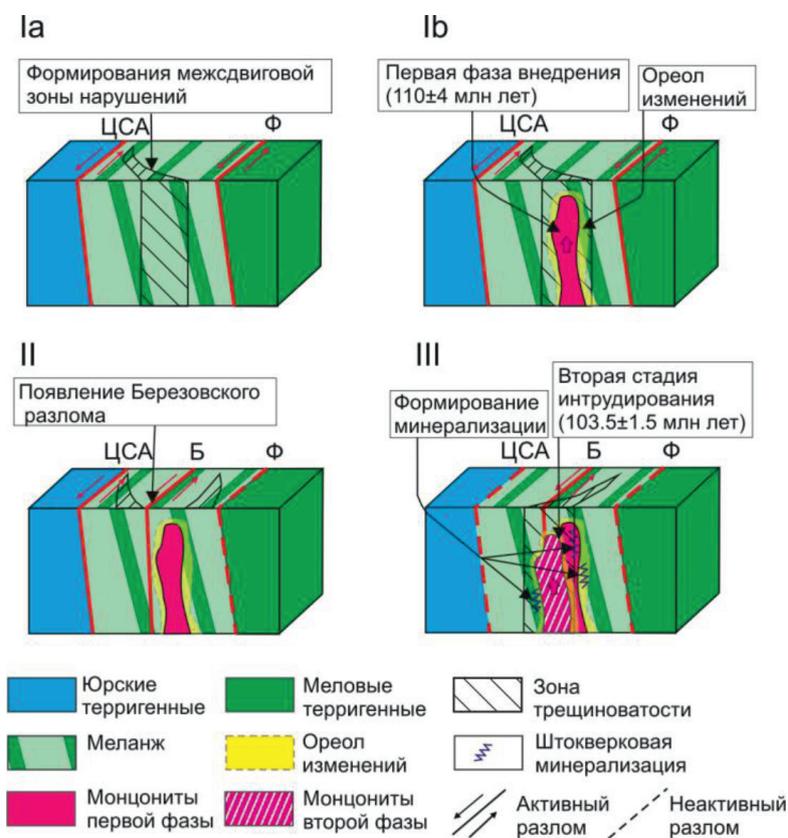


Рис. 3. Графическая схема предлагаемой модели эволюции зоны взаимодействия Центрального Сихотэ-Алинского и Фурмановского разломов

### Результаты исследования и их обсуждение

Численная геодинамическая модель, анализ доминирующих и второстепенных направлений паттерна трещин позволили восстановить последовательность эволюции междвиговых зон (рис. 3). В истории тектонических ансамблей территории выделяется три этапа. На первом сформировались дислокации, вызванные параллельным скольжением левых сдвигов Центрального Сихотэ-Алинского и Фурмановского разломов.

Это сформировало S-образную зону дислокаций, осложнённых трещинами скольжения и отрыва (рис. 2, Г, рис. 3 Ia). На этом этапе происходило внедрение пород первой фазы монцонитовых интрузий, датированных  $110 \pm 4$  млн лет (рис. 3 Ib) [13].

Накопление напряжений в междвиговой зоне вызвало активизацию Березовского правосдвигового разлома глубинного заложения (рис. 3 II). Активизация перемещений в его северном сегменте первоначально сформировала зону дислокаций (рис. 2, Г, II). Затем сдвиговая зона сместилась к юго-западу, обусловив формирование плотностной аномалии трещин (см. рис. 2Г, III в квадратике). Оживление Березовского разлома и формирование зоны трещин отрыва (рис. 3 III) обусловило внедрение расплавов второй стадии ( $103,5 \pm 1,5$  млн лет), по геохимическим особенностям соответствующих деплетированной мантии [13]. Цепочка вскрытых денудацией двухфазных монцонитовых интрузий (рис. 2, Г) отражает дислокации, вызванные Березовским разломом. Лазурный двухфазный шток монцонитов локализован в зоне суперпозиции дислокаций первой, второй и третьей стадий.

### Выводы

Регион юга Дальнего Востока России характеризуется индивидуальными особенностями геологического строения, включающими активную субдукцию океанической коры и ее стагнацию в верхней мантии, приведшую к образованию мантийного слэба, наличие контрастных линейных гравитационных аномалий, соответствующих разломам глубинного заложения, которые обеспечивают блоковую (террейновую) делимость земной коры. Главные месторождения и рудные узлы благородных металлов тяготеют к контуру мантийного слэба, совпадающего с горячим полем мантии, а также крупным разломам внутри этого

поля. Прогноз месторождений благородно-металльного сырья в пределах террейнов возможен выявлением обстановок формирования локальных структур растяжения глубинного (мантийного) заложения и связанной с ними скрытой тектонической зональности. Проведенное исследование тектонических парагенезисов рудного поля Лазурное позволило предложить модель формирования его локальных проницаемых структур.

### Список литературы / References

1. Khomich V.G., Boriskina N.G., Santosh M. A geodynamic perspective of world-class gold deposits in East Asia. *Gondwana Research*. 2014. Vol. 26. № 3–4. P. 816–833. DOI: 10.1016/j.gr.2014.05.007.
2. Хомич В.Г., Борискина Н.Г. Особенности размещения платинометалльной минерализации на Юго-Востоке России // *Геология и геофизика*. 2014. Т. 55. № 7. С. 1065–1080.
3. Khomich V.G., Boriskina N.G. Localization of PGE mineralization in southeastern Russia // *Russian Geology and Geophysics*. 2014. Vol. 55. P. 842–853. DOI: 10.1016/j.rgg.2014.06.004.
3. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: В 2 кн. / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
- Geodynamics, magmatism and metalgenius of the East of Russia: in 2 b. / Pod red. A.I. Hanchuka. Vladivostok: Dal'nauka, 2006. B. 1. 572 p. (in Russian).
4. Хомич В.Г., Борискина Н.Г. Благороднометалльные рудно-магматические системы северной краевой части Аргунского супертеррейна // *Доклады Академии наук*. 2007. Т. 414. № 3. С. 372–375.
5. Khomich V.G., Boriskina N.G. Ore-magmatic systems with noble metals in the northern marginal sector of the Argun superterrane // *Doklady Earth Sciences*. 2007. Vol. 414. Issue 1. P. 534–537. DOI: 10.1134/S1028334X07040101.
6. Deng J., Wang C., Bagas L., Carranza E.J.M., Lu Y. Cretaceous–Cenozoic tectonic history of the Jiaojia Fault and gold mineralization in the Jiaodong Peninsula, China: constraints from zircon U–Pb, illite K–Ar, and apatite fission track thermochronometry. *Miner Deposita*. 2015. Vol. 50. Issue 1. P. 987–1006. DOI: 10.1007/s00126-015-0584-1.
7. Shevryev S.L., Khomich V.G., Boriskina N.G. System analysis of results of geological-geophysical, seismotomographic, remote sensing researches methods of the Earth for the prospecting of ore-bearing areas (on the example of East Asia). *Mineral Prospectivity: current approaches and future innovations*. Orléans, France. 2017. P. 80–81. DOI: 10.13140/RG.2.2.12808.72963.
8. Wang H.Z., Mo X.X. An outline of the tectonic evolution of China. *Episodes*. 1995. Vol. 18. P. 6–16.
9. Isozaki Y., Aoki K., Nakama T., Yanai Sh. New insight into a subduction-related orogen: a reappraisal of the geotectonic framework and evolution of the Japanese Islands. *Gondwana Research*. 2010. Vol. 18. P. 82–105. DOI: 10.1016/j.gr.2010.02.015.
10. Kuz'min M.I., Yarmolyuk V.V., Kravchinsky V.A. Phanerozoic within-plate magmatism of North Asia: Absolute paleogeographic reconstructions of the African large low-shear-velocity province. *Geotectonics*. 2011. Vol. 45. Issue 6. P. 415–438. DOI: 10.1134/S00168521110600.
11. Shestakov N.V., Hiroaki T., Ohzono M., Prytkov A.S., Bykov V.G., Gerasimenko M.D., Luneva M.N., Gerasimov G.N., Kolomiets A.G., Bormotov V.A., Vasilenko N.F., Baek J., Par P., Serov M., Analysis of the far-field crustal displacements caused by the 2011 Great Tohoku earthquake inferred from continuous GPS observations. *Tectonophysics*. 2012. Vol. 524–525. P. 76–86. DOI:10.1016/j.tecto.2011.12.019.

11. Уткин В.П. Строение, геохронология и структурно-динамические условия вертикального развития Восточно-Сихотэ-Алинского магмо-металлогенического пояса // Доклады Академии наук. 2005. Т. 404. № 5. С. 659-663.

Utkin V.P. Structure, geochronology and structural and dynamic conditions of vertical development of the East Sikhote-Alin magmo-metallogenicheskoy belt // Doklady Akademii nauk. 2005. Vol. 404. № 5. P. 659-663 (in Russian).

12. Борискина Н.Г., Шевырев С.Л., Хомич В.Г. Имидж рудоносных площадей юго-восточного Приморья по материалам дистанционного зондирования // Разведка и охрана недр. 2014. № 6. С. 30-35.

Boriskina N.G., Shevyrev S.L., Khomich V.G. Image of Ore-Bearing Areas of South-East of the Primorye from Materials of Remote Sounding // Razvedka i ohrana neдр. 2014. № 6. P. 30-35 (in Russian).

13. Сахно В.Г., Коваленко С.В., Аленичева А.А. Монзонитовый магматизм медно-порфирового месторождения лазурное: геохронология по результатам U-Pb- и K-Ar- датирования и особенности генезиса рудоносных магм по данным изотопно-геохимических исследований (Приморье, Россия) // Доклады Академии наук. 2011. Т. 438. № 1. С. 82-90.

Sakhno V.G., Kovalenko S.V., Alenicheva A.A. Monzonitoid magmatism of the copper-porphyritic Lazurnoe deposit (South Primorye): U-Pb and K-Ar geochronology and peculiarities of the ore-bearing magma genesis by the data of isotopic-geochemical studies // Doklady Earth Sciences. 2011. Vol. 438(1). P. 569-577. DOI: 10.1134/S1028334X11050072.

14. Shevyrev S.L. LEFA. Lineament extraction and fracture analysis software. Software guide. [Electronic resource]. URL: [http://lefa.geologov.net/wp-content/uploads/2018/05/LEFA\\_1\\_0\\_guide.pdf](http://lefa.geologov.net/wp-content/uploads/2018/05/LEFA_1_0_guide.pdf). (date of access: 27.05.2019).

## ОБЗОРЫ

УДК 550.4:551.76:551.86(571.63)

**ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КРЕМНЕВЫХ ПОРОД РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ТЕКТОНО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ТАУХИНСКОГО ТЕРРЕЙНА (СИХОТЭ-АЛИНЬ): ИСТОРИЯ ДРЕЙФА И ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ПАЛЕОТИХООКЕАНСКОЙ ПЛИТЫ****Кемкин И.В.***Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, e-mail: kemkin@fegi.ru*

В статье приводятся результаты сравнительного геохимического изучения кремней и кремнисто-глинистых пород, слагающих тектоно-седиментационные комплексы нижнего и среднего структурных уровней Таухинского террейна позднеюрско-раннемеловой аккреционной призмь Сихотэ-Алинского орогенного пояса. Установлено, что для разновозрастных частей разрезов кремнисто-терригенных последовательностей обеих структурных единиц Таухинского террейна содержание и характер распределения основных петрогенных оксидов, редких, а также редкоземельных элементов значительно отличаются, что обусловлено накоплением их в разных океанских фациальных зонах. Совокупность геохимических данных показывает, что формирование разрезов тектоно-седиментационных комплексов осуществлялось в последовательно сменяющихся друг друга океанских фациальных зонах, начиная с области, прилегающей к спрединговому хребту, затем в центральных частях океана и завершилось в области приконтинентальной седиментации. Эти данные убедительно свидетельствуют о перемещении океанического дна, в пределах которого накапливались кремневые осадки, от зоны спрединга к окраине палеоконтинента и последующей последовательной аккреции фрагментов осадочного чехла разновозрастных (т.е. разноудаленных от центра спрединга) его участков по мере субдукции океанической плиты. Основываясь на времени смены фациальных условий (т.е. перехода из одной фациальной зоны в другую) для каждого комплекса, рассчитаны скорости движения океанической плиты (и, соответственно, скорости спрединга) в различные отрезки юрского времени. Разность скорости спрединга в разных частях палеоспрединговой зоны явилась причиной разворота контура палеоконтинента и оси спредингового хребта до близ перпендикулярного положения, что обусловило смену геодинамической обстановки на восточной окраине Палеоазиатского континента на рубеже юры и мела.

**Ключевые слова:** геохимия, радиолариевые кремни, седиментационные обстановки, Палеотихоокеанская плита, Сихотэ-Алинь

**GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF CHERTY ROCKS OF THE DIFFERENT-AGED TECTO-STRATIGRAPHIC COMPLEXES OF THE SIKHOTE-ALIN TAUHA TERRANE: THE HISTORY OF DRIFT AND DYNAMICS OF MOVEMENT OF THE PALEO-PACIFIC PLATE****Kemkin I.V.***Far Eastern Geological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: kemkin@fegi.ru*

The article presents results of a comparative geochemical study of cherts and siliceous-clay rocks composing tectonic-sedimentary complexes of various structural levels of the Tauha terrain of the Late Jurassic-Early Cretaceous accretionary prism. We established that for even-aged parts of sections of the cherty-terrirogenous sequences of lower and middle structural levels of the terrane the content and distribution pattern of main petrogenic oxides, micro- and rare-earth elements are significantly different due to their accumulation in various oceanic facial zones. The sets of geochemical data shows that the formation of sections of tectonic-sedimentary complexes was carried out in gradually replacing each other oceanic facial zones, starting from the spreading ridge area, then in the pelagic and completed in the near-continental deposition area. These data indicate the motion of an ocean floor, within which cherty deposits were accumulated, from the spreading zone to the paleocontinent margin and subsequent successive accretion of fragments of oceanic plate sedimentary cover. Based on the time of change of facial conditions (i.e., the transition from one facies zone to another) for each complex, the rates of movement of an oceanic plate (and, accordingly, the speed of spreading) at different intervals of the Jurassic time are calculated. Difference in spreading speed within the different sites of the paleorift zone caused the turn of paleocontinent margin and spreading ridge axis to near perpendicular position, which caused in turn the change of geodynamic mode on the eastern margin of the Paleo-Asian continent at the Jurassic-Cretaceous transition.

**Keywords:** geochemistry, radiolarian cherts, deposition environment, Paleo-Pacific Plate, Sikhote-Alin

История складчатых областей – это летопись последовательного формирования разнообразных комплексов горных пород, образующихся в результате совокупного действия эндо- и экзогенных процессов, реализующихся в разных геодинамических

обстановках и приводящих к образованию и разрастанию новой континентальной коры [1, 2]. Показательным примером является Сихотэ-Алинский орогенный пояс, в формировании которого по совокупности геологических, палеобиогеографических,

петро-геохимических, структурных и палеомагнитных данных выделено два этапа – юрский, соответствующий обстановке конвергентной (субдукционной) окраины вдоль восточного края Палеоазиатского континента, и раннемеловой, когда доминировала обстановка трансформной окраины в сочетании с субдукционной окраиной на его южной оконечности [1, 3].

Смена геодинамических режимов на Палеоазиатской окраине на рубеже юры и мела связывается исследователями с изменением направления движения Палеотихоокеанской (Изанаги) плиты с СЗ на С, что согласуется с данными [4], рассчитанными по магнитным полосовым аномалиям. Вместе с тем причины, обусловившие смену направления движения океанической плиты и, соответственно, геодинамических режимов, не столь очевидны и, как правило, мало обсуждаемы, вероятно потому, что они не имеют вещественного выражения, хотя именно они определяют в конечном счете совокупность геологических процессов, формирующих структуру континентальных окраин. Например, каким вещественным выражением обладает такой параметр, как разность скорости спрединга на различных участках спредингового хребта. Но разница в скоростях является причиной вращения (разворотов) океанической плиты в ту или иную сторону и определяет угол подхода ее к конвергентной границе, обуславливая тем самым тот или иной геодинамический режим на границе литосферных плит. Тем не менее, не имея собственного вещественного выражения (т.е. качественной характеристики), эта причина может быть установлена по совокупности количественных характеристик других вещественных комплексов. Такими характеристиками могут служить мощность пелагической и гемипелагической частей разреза осадочного чехла океанической плиты (чем меньше скорость, тем больше мощность осадков и наоборот), время пересечения отдельными участками океанической плиты различных океанских фациальных зон, время подхода отдельных участков плиты к конвергентной границе и др.

Цель исследований: сравнительное геохимическое изучение кремневых пород Таухинского террейна для выяснения седиментационных обстановок их формирования и определения времени пребывания в разных океанских фациальных зонах. Полученные геохимические и литолого-

биостратиграфические данные позволили рассчитать скорости движения палеоокеанической плиты и выявить их различия в отдельные отрезки юрского времени. Разность скорости спрединга в пределах палеоспрединговой системы явилась, на наш взгляд, причиной смены вектора движения океанической плиты и геодинамического режима на Палеоазиатской восточной окраине на рубеже юрского и мелового периодов.

#### *Объекты исследования и их геологическая позиция*

Сравнительное геохимическое изучение было выполнено для кремней и кремнисто-глинистых пород разных структурных уровней Таухинского террейна, который слагает юго-восточную часть Сихотэ-Алинского орогена (рис. 1) и представляет фрагмент позднеюрско-раннемеловой аккреционной призмы, сформированной в ходе последовательной аккреции к Палеоазиатской окраине разнофациальных образований Палеопацифики [1, 3].

По совокупности литолого-биостратиграфических и структурных данных в террейне выделено три разновозрастных тектоно-седиментационных комплекса, отражающих последовательность процесса субдукции и частичной аккреции Палеотихоокеанской плиты и слагающих различные его (террейна) структурные уровни [3, 5].

*Эрдагоуский комплекс* (нижняя структурная единица) сложен толеитовыми базальтами и залегающими на них кремнями и глинистыми кремнями позднеюрско-раннеберриассового возраста, постепенно переходящими выше в ранне-среднеберриасские кремнистые аргиллиты, затем позднеберриас-валанжинские терригенные породы и валанжин-баремские меланжевые образования. Мощность базальтов и кремней немногим более 150 м, а мощность терригенных и меланжевых пород в пределах тектонических пластин варьирует от 100–200 до 350–700 м. Типовой разрез Эрдагоуского комплекса изучен на правом берегу р. Беневка и представлен на рис. 2, а.

*Горбушинский комплекс* (средняя структурная единица) состоит из средне-позднетриасовых известняков (400–500 м), залегающих на высокотитанистых щелочных базальтах и четырехкратно повторяющейся кремнисто-терригенной последовательности, сложенной раннетриас-позднеюрскими кремнями и глинистыми кремнями (около

100 м), плавно сменяющимися среднеким-меридж-среднетитонскими кремнистыми аргиллитами и, далее, алевро-аргиллитами, алевролитами и песчаниками позднего титона-берриаса и берриас-валанжинскими меланжевыми образованиями. Мощность терригенных пород и меланжа в различных пластинах составляет 300–500, реже 750 м. Типовой разрез комплекса обнажен на левобережье р. Рудная в г. Дальнегорске и представлен на рис. 2, б.

Скалитореченский комплекс (верхняя структурная единица) образован позднедевон-раннепермскими известняками (около 400 м), ассоциирующими с высокотитанистыми щелочными базальтами, кремнями и глинистыми кремнями, возраст которых в разрозненных обнажениях изменяется от каменноугольного до среднеюрского, и перекрывающими их позднеюрскими терригенными породами. Истинная мощность кремней и терригенных пород ввиду фрагментарности их выходов не установлена.

*Методы исследований*

Геохимические исследования выполнены в лаборатории аналитической химии ДВГИ ДВО РАН. Для анализов использованы дубликаты образцов, первоначально отобранных для изучения микрофауны. Содержания редких и редкоземельных элементов определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП МС) на спектрометре Agilent 7500С (аналитик М.Г. Блохин). Определения основных петрогенных элементов (кроме SiO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O) выполнены методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500Duo (аналитики Г.А. Горбач, Е.А. Ткалина, Н.В. Хуркало). Содержания SiO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O определены гравиметрическим методом (аналитики В.Н. Каминская, В.Н. Залевская). Относительная погрешность определения содержаний для главных оксидов составляет 2–5%, для РЗЭ и элементов-примесей – 5–10%.

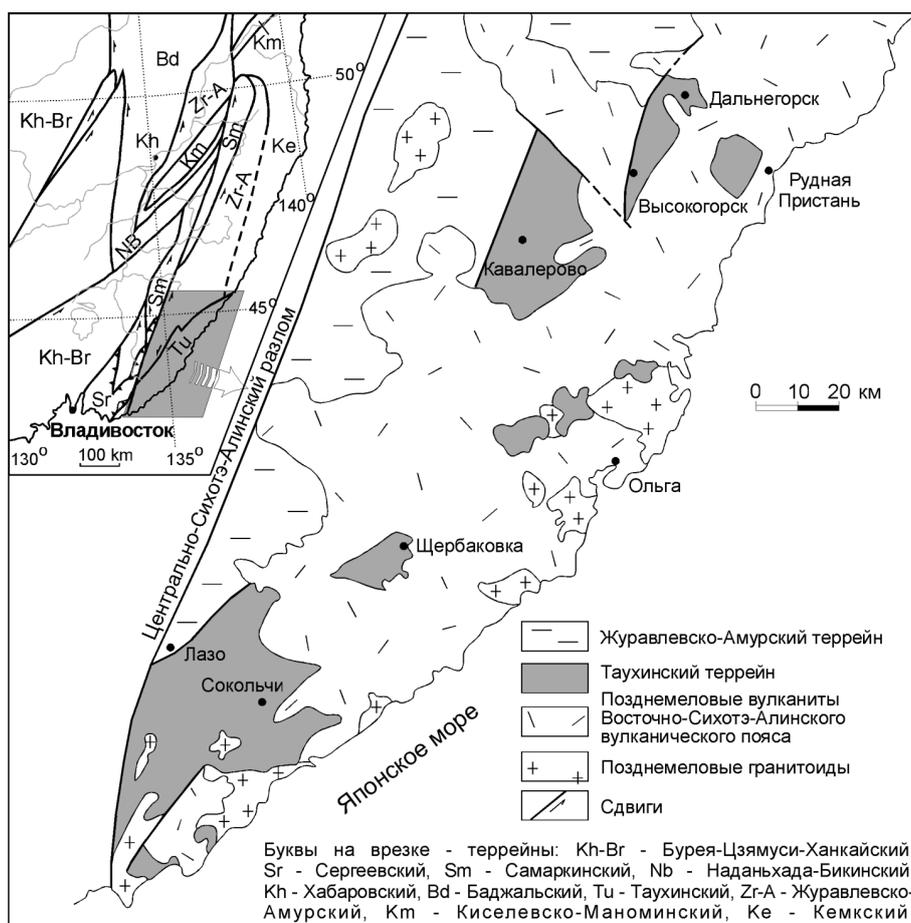


Рис. 1. Тектоническая схема юго-восточной части Южного Сихотэ-Алиня (по [5] с изменениями)



Для расчета величины Ce аномалии исследуемых пород, а также La/Ce, La/Yb и Lu/La отношений использовались нормированные к NASC (североамериканский композитный сланец) значения содержаний РЗЭ. Содержания РЗЭ NASC взяты в соответствии

с [6]. Согласно [7, 8],  $Ce/Ce^* = (Ce_{обр.}/Ce_{NASC}) / (0,5(La_{обр.}/La_{NASC}) + 0,5(Pr_{обр.}/Pr_{NASC}))$ ,  $(La/Ce)_{NASC} = (La_{обр.}/La_{NASC}) / (Ce_{обр.}/Ce_{NASC})$ ,  $(La/Yb)_{NASC} = (La_{обр.}/La_{NASC}) / (Yb_{обр.}/Yb_{NASC})$  и  $(Lu/La)_{NASC} = (Lu_{обр.}/Lu_{NASC}) / (La_{обр.}/La_{NASC})$ . Значения PAAS заимствованы у [9].

Таблица 1

Геохимические данные кремневых пород Горбушинского комплекса

Компонент	Образец												
	P-3	P-4	P-13	P-16a	p-17ч	p-20ч	p-21ф	3Дг-6	3Дг-9a	5Дг-6	5Дг-5	5Дг-4	5Дг-3
SiO <sub>2</sub> мас. %	82,30	77,90	91,70	85,70	89,75	83,21	90,70	85,80	89,50	90,52	85,64	92,76	89,95
TiO <sub>2</sub>	0,29	0,41	0,11	0,19	0,16	0,25	0,06	0,07	0,12	0,06	0,13	0,03	0,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,70	11,12	3,36	4,35	3,54	5,18	0,96	2,81	3,29	2,15	3,86	1,00	1,66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (total)	2,43	3,34	2,47	5,84	4,00	8,15	7,42	8,85	4,25	6,28	8,54	5,81	7,28
MnO	0,08	0,14	0,23	0,44	0,23	0,62	0,04	0,38	0,26	0,10	0,13	0,10	0,05
MgO	0,99	1,41	0,35	1,06	0,45	0,92	0,10	0,67	0,48	0,30	0,59	0,10	0,32
CaO	1,17	0,71	0,34	0,56	0,43	0,39	0,20	1,05	0,71	0,12	0,17	0,05	0,18
Na <sub>2</sub> O	0,24	0,20	0,03	0,01	0,05	0,04	0,05	0,03	0,04	0,02	0,01	0,01	0,04
K <sub>2</sub> O	1,95	2,67	0,69	0,35	0,87	0,77	0,26	0,10	0,73	0,39	0,70	0,18	0,43
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,06	0,19	0,39	0,21	0,26	0,03	0,70	0,43	0,08	0,11	0,03	0,03
H <sub>2</sub> O	не об.	0,30	не об.	не об.	0,42	0,49	0,7	0,50	0,85	0,03	0,13	не об.	0,03
п.п.п.	2,20	2,10	0,10	1,10	0,23	0,08	0	0	0	0,10	0,13	0,08	0,07
∑ (сумма)	100,4	100,4	99,6	100,0	100,3	100,4	100,5	100,9	100,7	100,1	100,1	100,2	100,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,782	0,769	0,576	0,427	0,469	0,389	0,115	0,241	0,436	0,255	0,311	0,147	0,186
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub>	8,318	8,221	22,56	30,46	25,69	33,20	125,5	123,6	34,35	113,3	63,99	167,0	102,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /(100-SiO <sub>2</sub> )	0,137	0,151	0,298	0,408	0,390	0,485	0,799	0,623	0,405	0,662	0,594	0,802	0,724
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /(100-SiO <sub>2</sub> )	0,491	0,503	0,404	0,304	0,345	0,309	0,103	0,198	0,313	0,227	0,269	0,138	0,165
MnO/TiO <sub>2</sub>	0,257	0,345	2,067	2,276	1,467	2,544	0,612	5,279	2,120	1,842	1,006	2,873	0,666
V ppm	47,59	58,56	48,49	60,71	37,05	38,3	50,75	57,6	20,7	18,87	33,47	18,39	17,91
Ni	20,04	20,09	41,25	55,42	34,77	35,85	35,77	53,24	44,31	28,75	35,61	17,52	22,50
Cu	20,09	27,90	31,94	201,7	72,09	46,49	80,49	37,78	71,39	59,64	87,03	65,46	49,82
Rb	95,24	134,74	34,50	17,54	39,58	27,22	11,32	4,32	31,29	16,59	33,13	8,19	17,23
Y	15,76	14,76	18,92	22,50	14,87	15,67	1,48	17,06	26,23	3,43	5,61	1,80	3,39
Zr	25,43	31,31	8,01	7,83	26,44	45,88	15,24	16,46	27,73	5,78	8,08	4,69	11,19
Hf	0,74	0,89	0,27	0,22	1,13	2,00	0,52	0,56	1,16	0,13	0,19	0,11	0,22
Pb	19,04	29,06	6,67	124,1	2,44	7,42	33,27	23	5,76	4,00	31,29	23,50	15,45
Th	5,72	6,40	1,61	2,12	2,20	3,50	0,79	1,12	2,30	1,01	2,43	0,65	1,24
Ti/V	36,80	41,59	13,54	18,93	25,20	38,42	6,981	7,447	35,85	17,59	23,89	11,34	23,74
V/Y	3,020	3,968	2,563	2,698	2,491	2,444	34,28	3,377	0,789	5,504	5,968	10,21	5,281
La	29,15	25,15	11,53	12,07	12,45	13,96	1,24	7,43	18,32	4,54	7,53	3,46	6,99
Ce	59,94	52,74	27,10	27,38	25,11	27,34	2,54	12,58	31,10	7,16	12,53	5,54	9,37
Pr	6,03	5,40	3,21	3,17	3,05	3,27	0,35	1,72	4,42	0,93	1,86	0,82	1,18
Lu	0,20	0,20	0,13	0,14	0,11	0,12	0,03	0,16	0,21	0,04	0,07	0,02	0,04
∑ (сумма)	132,1	116,9	69,41	71,14	66,52	73,63	7,03	41,10	92,83	19,71	34,44	14,32	24,81
Ce/Ce*	0,981	0,983	0,968	0,964	0,887	0,881	0,833	0,767	0,752	0,756	0,729	0,717	0,698
La <sub>n</sub> /Ce <sub>n</sub>	1,109	1,088	0,970	1,005	1,131	1,165	1,117	1,347	1,343	1,445	1,371	1,426	1,703
Lu <sub>n</sub> /La <sub>n</sub>	0,464	0,529	0,731	0,748	0,575	0,584	1,737	1,427	0,755	0,574	0,656	0,411	0,411

Таблица 2

Геохимические данные кремневых пород Эрдагоуского комплекса

Компонент	Образец									
	Бе-15/1	Бе-15b/1	Бе-15c/1	Бе-14/1	Бе-12/1	Бе-10/1	Бе-8/1	Бе-6/1	Бе-4/1	РААС
SiO <sub>2</sub> мас. %	76,20	76,27	83,10	82,92	82,40	70,93	69,61	67,09	66,73	62,8
TiO <sub>2</sub>	0,32	0,11	0,13	0,24	0,21	0,28	0,62	0,62	0,61	1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,09	3,46	3,32	5,85	5,04	9,90	13,05	14,66	14,90	18,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (total)	13,41	10,62	9,84	7,13	7,35	6,14	6,03	7,01	6,86	6,5
MnO	1,39	3,21	0,58	0,29	0,19	0,14	0,09	0,12	0,09	0,1
MgO	0,87	1,09	0,45	0,54	0,85	0,97	1,61	2,21	2,05	2,2
CaO	0,41	0,88	0,44	0,32	0,57	0,12	0,20	0,53	0,63	1,3
Na <sub>2</sub> O	0,24	0,12	0,59	0,81	0,74	1,10	1,41	1,51	2,02	1,2
K <sub>2</sub> O	0,60	0,37	0,73	1,40	1,27	2,53	3,40	3,42	3,04	3,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07	0,06	0,05	0,07	0,02	0,05	0,07	0,07	0,09	0,16
H <sub>2</sub> O	0,60	0,03	0,22	0,10	0,80	0,95	0,80	0,00	0,00	н.о.
п.п.п.	1,70	3,57	0,18	0,90	1,00	6,30	3,60	3,20	3,20	6,0,
∑ (сумма)	99,90	99,78	99,64	100,6	100,4	99,4	100,5	100,4	100,2	99,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,23	0,25	0,25	0,45	0,40	0,62	0,68	0,67	0,69	н.о.
MnO/TiO <sub>2</sub>	4,361	2,842	4,536	1,223	0,879	0,471	0,151	0,188	0,148	н.о.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub>	42,10	94,11	77,09	29,72	34,86	13,30	9,69	11,28	11,16	н.о.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /(100-SiO <sub>2</sub> )	0,56	0,45	0,58	0,42	0,42	0,21	0,20	0,21	0,21	н.о.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /(100-SiO <sub>2</sub> )	0,17	0,15	0,20	0,34	0,29	0,34	0,43	0,45	0,45	н.о.
V ppm	112,7	78,6	31,15	38,3	49,15	73,65	93,9	107,4	94,9	150
Ni	98,49	168,04	60,39	42,31	32,63	33,30	32,97	46,35	53,39	55
Cu	178,2	73,14	69,74	46,75	29,77	28,32	23,82	35,77	50,34	50
Rb	11,76	12,81	27,22	40,20	29,14	75,79	109,6	116,6	112,3	160
Y	4,68	6,51	4,51	4,32	2,09	7,98	10,89	11,55	14,88	27
Zr	77,72	5,16	30,88	51,53	43,33	54,97	140,6	149,2	166,9	210
Hf	2,33	1,16	1,10	1,90	1,74	2,28	5,83	5,70	6,70	5
Pb	22,8	24,62	29,54	3,09	9,77	13,70	16,31	14,68	22,35	20
Th	2,65	2,03	2,21	3,38	2,38	7,96	10,88	9,84	12,19	14,6
V/Y	24,08	12,07	6,91	8,87	23,52	9,23	8,62	9,30	6,38	н.о.
Ti/V	17,02	8,389	25,02	37,57	25,61	22,79	39,58	34,61	38,53	н.о.
La	20,77	11,49	9,09	16,13	11,11	23,86	32,28	22,28	26,54	38
Ce	16,49	13,95	13,98	22,69	17,48	46,66	71,68	49,78	59,08	80
Pr	5,10	3,25	2,12	2,55	1,69	5,62	8,41	6,30	7,23	8,9
Lu	0,10	0,11	0,07	0,07	0,04	0,15	0,19	0,18	0,22	0,43
∑ (сумма)	72,76	51,76	40,36	58,26	40,46	110,1	161,2	117,5	136,6	н.о.
Ce/Ce*	0,34	0,49	0,69	0,75	0,85	0,87	0,94	0,91	0,92	н.о.
La <sub>n</sub> /Ce <sub>n</sub>	2,87	1,88	1,48	1,62	1,45	1,17	1,03	1,02	1,02	н.о.
Lu <sub>n</sub> /La <sub>n</sub>	0,318	0,613	0,504	0,282	0,240	0,414	0,391	0,547	0,558	н.о.

Примечание: н.о. – не определялось.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для реконструкции истории седиментации на океанической плите и фиксации вре-

мени прохождения ее участков через разные океанские фациальные зоны необходимо наличие полных и хорошо датированных фрагментов первичного разреза ее осадочного чехла. В Таухинском террейне фраг-

менты с постепенными литологическими переходами от кремней к терригенным породам изучены в составе Горбушинского и Эрдагуоского комплексов (рис. 2, а и б). Геохимические характеристики пород этих комплексов представлены в табл. 1 и 2.

#### *Основные петрогенные оксиды*

В разрезах обоих комплексов содержание  $\text{SiO}_2$  постепенно уменьшается от 92,76 и 83,10 мас. % в кремнях до 77,90 и 66,73 мас. % в кремнистых аргиллитах (здесь и далее первые значения для Горбушинского комплекса, вторые – Эрдагуоского), что вполне закономерно, так как последние накапливались в периферийных частях океана, куда в значительном объеме поступает тонкая терригенная взвесь. В кремнях из нижних частей разрезов также отмечаются некоторые вариации содержания  $\text{SiO}_2$  (от 92,76–85,64 до 83,10–76,20 мас. %), что обусловлено, скорее всего, тем, что первые кремни накапливались в прилегающей к спрединговому хребту области, где кремненакопление сопровождалось поступлением в осадок дополнительного количества оксигидроксидов железа и марганца, продуцируемых гидротермальными металлоносными растворами. Подтверждением этого служат оксиды  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , содержания которых (табл. 1 и 2) изменяются в диаметрально противоположных направлениях. В ряду кремнистые аргиллиты – кремни содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  постепенно снижается от 11,12 и 14,90 до 1,00 и 3,32 мас. %, в то время как содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в этом же направлении, наоборот, возрастает с 2,43 и 6,86 до 8,54 и 13,41 мас. %.

Аналогичное распределение отмечается и для  $\text{TiO}_2$  и  $\text{MnO}$ . Содержание  $\text{TiO}_2$  изменяется от 0,41 и 0,62 в кремнистых аргиллитах до 0,03 и 0,11 мас. % в кремнях нижних частей разрезов, а  $\text{MnO}$  от 0,08 и 0,09 до 0,26 и 3,21 мас. % соответственно. Содержания других оксидов очень низки (менее 1 мас. %) и только для кремнистых аргиллитов отмечаются несколько повышенные значения  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$  (от 1,41 до 3,42 мас. %, см. табл. 1 и 2), что, очевидно, обусловлено присутствием глинистой составляющей в последних.

Геохимическим изучением океанических донных осадков установлено, что некоторые химические элементы немобильны при диагенетическом фракционировании и последующих гипергенезе и метаморфизме, а величины их содержаний в осадочных породах являются индикаторами седимен-

тации в разных океанских фациальных зонах [7, 10, 11]. На основе данных по распределению химических элементов в донных осадках разработан ряд петрохимических модулей и использующих их дискриминантных диаграмм, на которых четко обособлены поля приконтинентальной, пелагической и околоспрединговой областей седиментации [7, 10, 12, 13]. Наиболее информативными петрохимическими модулями считаются  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}/\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3/100-\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/100-\text{SiO}_2$ . Рассчитанные значения величин этих модулей для кремневых пород обоих комплексов и положение их фигуративных точек на соответствующих диаграммах показывают, что накопление кремней осуществлялось в пределах всей площади пелагиали и даже в околоспрединговой зоне, а кремнистых аргиллитов в приконтинентальной области седиментации (рис. 3). При этом в околоспрединговую зону попали кремни самых низов изученных разрезов, что обусловлено относительно высоким содержанием  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (табл. 1 и 2), которое связано, скорее всего, с влиянием гидротермальных металлоносных растворов.

#### *Элементы-примеси*

Содержания редких элементов в изученных кремневых породах значительно ниже значений усредненной терригенной породы (РААС – постаршейский средний сланец). Так, количества Zr, Rb, Hf, Th, присутствие которых в донных осадках обусловлено привнесением обломков тяжелых минералов в терригенной взвеси, в кремнях, соответственно, в 5–45, 1,5–37, 4,5–45 и 2,3–22,5, а в кремнистых аргиллитах в 1,5–2, 1,4–1,5, 1,1–1,2 и 1,2–1,4 раз меньше, чем в РААС. Это свидетельствует о накоплении кремневых пород на значительном удалении от терригенных источников. А содержания, например, Pb, Cu, Ni, Fe, Mn, поступление которых в осадок в большей мере обусловлено влиянием гидротермальных металлоносных растворов [7, 14–16], заметно превышают (от 1,2 до 3 и более раз) значения РААС. При этом отмечается закономерное изменение количеств указанных элементов (увеличение либо уменьшение) в обоих разрезах. В ряду кремнистый аргиллит – кремне содержание Zr и Rb, связанные с терригенным привнесением, уменьшаются от 31,31 и 134,74 (Горбушинские) и 166,88 и 112,29 (Эрдагуоские) до 4,69 и 8,19 и 5,16 и 11,76 ppm соответственно, указывая, что кремни накапливались значительно дальше

в пелагиали, чем кремнистые аргиллиты. Напротив, содержания, например, Cu и Ni плавно увеличиваются от кремнистых аргиллитов к кремням от 20,09 и 20,04 (Горбушинские) и 50,34 и 53,39 (Эрдагоуские) до 71,39 и 53,24 и 178,19 и 168,04 ppm, показывая, что первые накапливались много дальше от спредингового хребта, чем кремни. Рассчитанные значения Ti/V и V/Y, широко используемые для реконструкции фациальных обстановок [7, 13], также свидетельствуют, что кремневые породы обоих комплексов накапливались в пелагиале (рис. 4, а и б).

#### *Редкоземельные элементы*

Ввиду немобильности редкоземельных элементов (РЗЭ) в ходе постседиментационных процессов, нормированные отношения некоторых из них – надежные индикаторы фациальных обстановок осадконакопления [7, 8, 14, 18]. Одним из информативных является содержание Ce, выраженное в виде величины цериевой аномалии (Ce/Ce\*). Согласно [7, 8, 11, 17], величина Ce/Ce\* в интервале 0,03–0,36 характеризует околосрединговую зону (~400 км от хребта), 0,23–0,96 – пелагиаль, 0,90–1,30 – приконтинентальную область седиментации. Рассчитанные значения Ce/Ce\* (табл. 1 и 2) для кремней находятся в пределах 0,698–0,983 (Горбушинские) и 0,340–0,940 (Эрдагоуские), что указывает на накопление их в пелагиале, а для первых 4 м Эрдагоуских кремней и в околосрединговой зоне. Для кремнистых аргиллитов значения Ce/Ce\* – 0,981–0,983 и 0,910–0,920, что соответствует зоне океана, примыкающей к области приконтинентальной седиментации. Важно, что величина Ce/Ce\* в кремнях и кремнистых аргиллитах не просто отличается, а постепенно уменьшается вверх по стратиграфическому разрезу обоих комплексов (табл. 1 и 2), что свидетельствует о перемещении соответствующих участков океанического дна в сторону континента.

Другим индикатором седиментационных обстановок является относительная деплетированность легких РЗЭ относительно тяжелых, определяемая нормированными к NASC отношениями  $La_n/Yb_n$  или  $Lu_n/La_n$  [8]. Согласно [8], отношение  $Lu_n/La_n$  в диапазоне 0,87–1,55 соответствует околосрединговой зоне, а 0,37–0,87 – пелагиале. Рассчитанные  $Lu_n/La_n$  значения для кремневых пород (табл. 1 и 2) находятся в интервале 0,41–0,75 (Горбушинские) и 0,24–0,61

(Эрдагоуские), что указывает на накопление их в пелагиале (рис. 4, в). Исключение составляют две пробы, попавшие в околосрединговую зону седиментации, что указывает на большую степень деплетированности легких РЗЭ.

Не менее показательным индикатором океанических фациальных обстановок, является отношение нормированных к NASC содержаний La и Ce, т.е.  $La_n/Ce_n$  [8]. На дискриминантной диаграмме  $La_n/Ce_n - Al_2O_3/Al_2O_3 + Fe_2O_3$  (рис. 4, з) фигуративные точки рассматриваемых кремневых пород последовательно (т.е. стратиграфически) распределились от околосрединговой области седиментации до приконтинентальной, но ввиду не очень высоких содержаний La в кремнях они расположены ниже соответствующих фациальных полей, околугуренных Р.В. Марри [8] для кремней Францисканского комплекса.

Результаты изучения показывают, что разновозрастные части кремневых разрезов обоих комплексов накапливались в пелагической области, но на разноудаленных от спредингового хребта участках. Для триаскелловейской части Горбушинского разреза четко фиксируется последовательная смена фациальных зон от прилегающей к околосрединговой области (в раннем триасе) через пелагиаль до краевой части палеоокеана, примыкающей к области приконтинентальной седиментации (в келловее). Для Эрдагоуского комплекса геологическая история началась только в позднем келловее-раннем оксфорде, когда Эрдагоуский участок океанической плиты располагался еще в пределах спредингового хребта. На это указывают линзы кремней с позднекелловей-раннеоксфордскими радиоляриями и гематитовые залежи (металлоносные осадки) между потоками базальтов, слагающих основание комплекса [5]. В раннем киммеридже Эрдагоуский участок достиг околосрединговой зоны (~400 км от хребта), на что указывают геохимические данные первых 4 м кремней [19]. Горбушинский участок в это время максимально приблизился к области приконтинентальной седиментации. Это следует как из геохимических характеристик данной части Горбушинского разреза, так и литологии пород (рис. 2). На рубеже раннего и среднего киммериджа отмечается смена фациальных условий – доминирующее кремненакопление сменяется терригенной седиментацией, т.е., глинистые кремни постепенно замещаются кремнистыми аргиллитами.

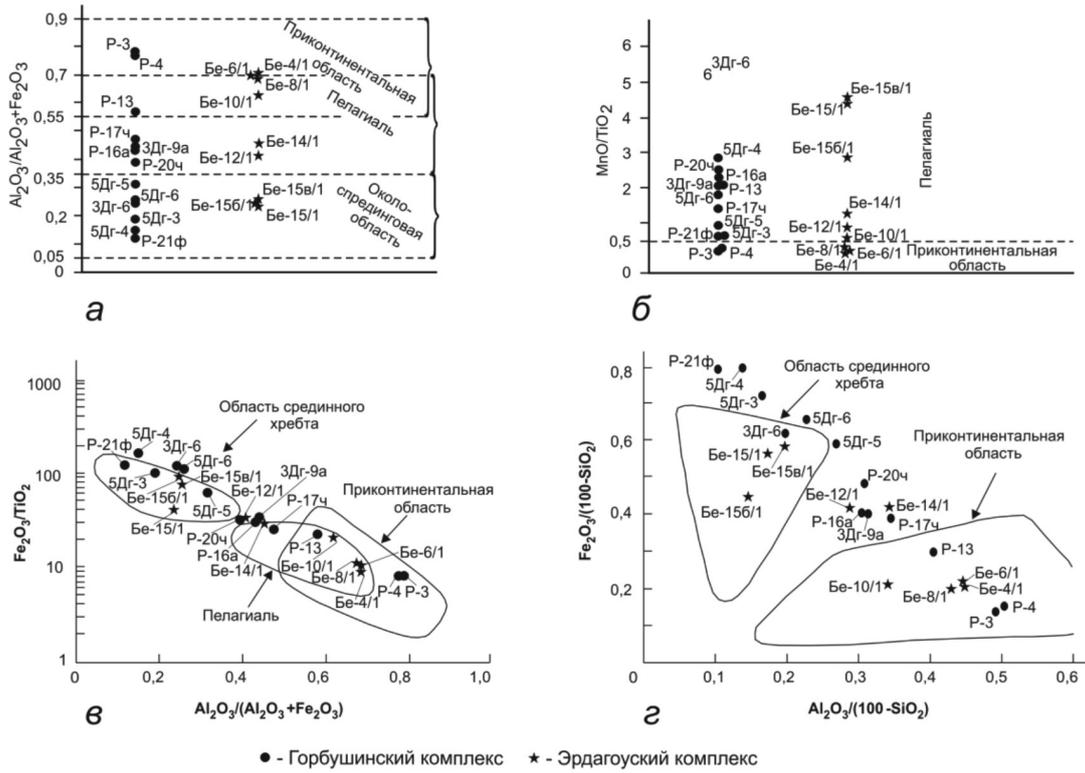


Рис. 3. Диаграммы отношений основных петрогенных оксидов (по [8]) и положение на них фигуративных точек кремневых пород Эрдагоского и Горбушинского комплексов

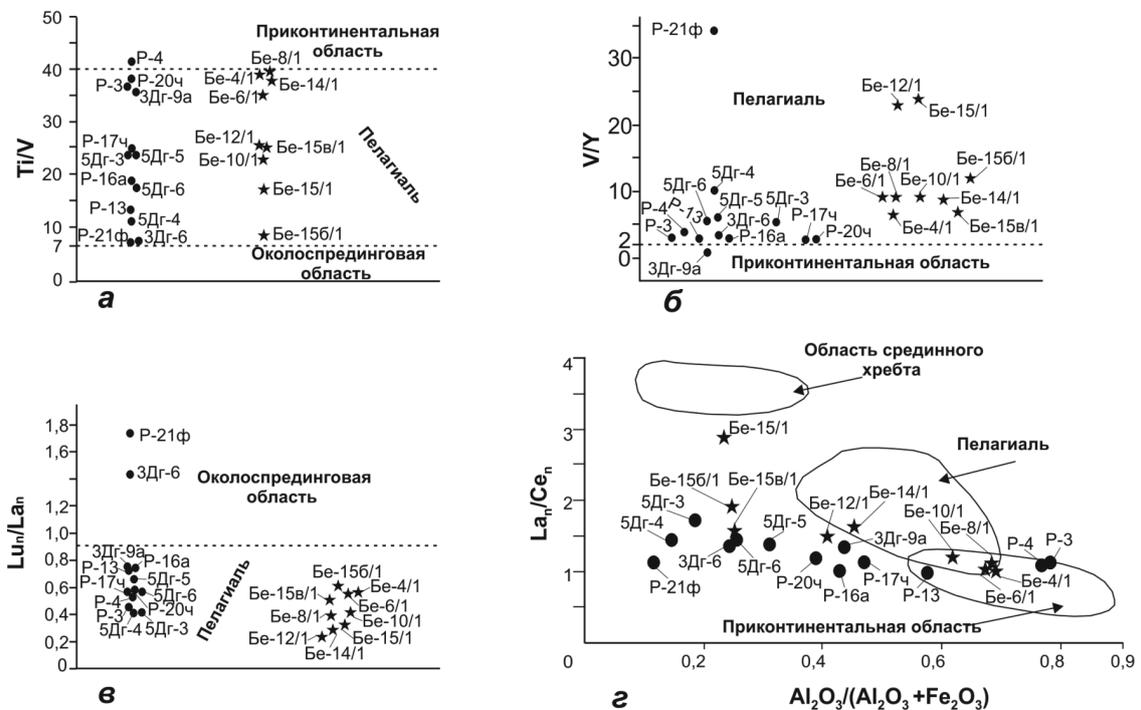


Рис. 4. Диаграммы отношений  $Ti/V$ ,  $V/Y$ ,  $Lu_n/La_n$  и  $La_n/Ce_n$  (по [7, 8]) и положение на них фигуративных точек кремневых пород Эрдагоского и Горбушинского комплексов

В период со среднего киммериджа по начало позднего титона Эрдагоуский участок передвинулся из околосрединговой зоны в пелагиаль, а Горбушинский участок достиг конвергентной границы, переместившись непосредственно в область приконтинентальной седиментации. В разрезе Горбушинского комплекса это четко фиксируется изменением литологического состава (рис. 2), т.е. сменой кремнистых аргиллитов аргиллитами.

В берриас-валанжине Горбушинский участок субдуцировался и аккретировался к Палеоазиатской окраине, а Эрдагоуский продолжал движение относительно океанских фациальных зон, переместившись вначале из пелагической области в периферийную часть океана, примыкающую к области приконтинентальной седиментации, а затем и в собственно область приконтинентальной седиментации. В Эрдагоуском разрезе это также четко фиксируется литологической сменой (рис. 2), т.е. кремни начала позднего титона сменяются вначале позднетитон-раннеберриасскими глинистыми кремнями и, далее, кремнистыми аргиллитами средне-позднего берриаса. В конце валанжина – начале готерива (возраст алевро-песчаной части разреза) данный участок океанической плиты достиг конвергентной границы и был субдуцирован и аккретирован к окраине Палеоазиатского континента.

В представленной истории дрейфа Палеотихоокеанской плиты имеется как минимум два важных рубежа, позволяющих количественно оценить масштабы ее перемещения. Эти рубежи – время подхода участков океанической плиты к области терригенной седиментации и к зоне субдукции (желобу). В разрезе осадочного чехла океанической плиты эти события фиксируются сменой пелагической седиментации гемипелагической, а затем терригенной. В литологическом аспекте это постепенная смена в разрезе глинистых кремней кремнистыми аргиллитами, а последних – алевро-аргиллитами и, далее, алевролитами и песчаниками. Область терригенной седиментации, согласно данным по распределению и составу донных осадков Мирового океана [20] распространяется в среднем на 1000 км от берега (в приполярных районах она немного шире за счет ледового разноса, а в аридных немного уже за счет меньшего количества речного стока). Зона субдукции отстоит от берега в среднем на 100–130 км (70–75 км – средняя ширина шельфов и 55–60 км – средняя ширина желобов).

Время подхода к области терригенной седиментации (~1000 км от палеоконтинента) для Горбушинского и Эрдагоуского участков по данным [3, 5] 155–154 и 143–142 млн лет соответственно (разница ~12 млн лет). К зоне субдукции Горбушинский участок подошел 149–148 млн лет. Расстояние в 870–900 км (1000 км минус 100–130 км – ширина шельфа плюс желоб) он прошел за 6 млн лет. Значит, скорость перемещения океанической плиты в период с начала среднего киммериджа по начало позднего титона была 14,5–15 см/год. Эрдагоуский участок, подошедший к зоне терригенной седиментации на 12 млн лет позже, при скорости дрейфа 15 см/год переместился на 1800 км. То есть на начало среднего киммериджа Эрдагоуский участок отстоял от Горбушинского на 1800 км, а от зоны субдукции на 2670–2700 км.

Со среднего оксфорда по начало среднего киммериджа, согласно [19], Эрдагоуский участок перемещался со скоростью 20 см/год. Следовательно, за 7 млн лет он приблизился к Палеоазиатскому континенту еще на 1400 км. Таким образом, на начало среднего оксфорда Эрдагоуский участок, располагавшийся уже в околосрединговой зоне (излияния базальтов сменились устойчивым кремненакоплением), отстоял от зоны субдукции на 4070–4100 км. Однако, расчеты, выполненные по кремневым породам юрской призм, показывают, что на начало юры спрединговый хребет, продуцирующий Палеотихоокеанскую плиту, отстоял от зоны субдукции не менее чем на 6500 км [21]. Значит, в течение ранней и средней юры спрединговая система Палеотихоокеанской плиты была перемещена на ~2400 км, что должно быть чем-то обусловлено. Причина тому – зарождение и последующее разрастание Тихоокеанской плиты. Время ее рождения определено как 175 млн лет на основе данных радиометрического и микрофаунистического изучения керна скважины 801C ODP [22]. Причиной рождения предполагают миграцию точки тройного сочленения спрединговых хребтов, разделявших плиты Изанаги (Палеотихоокеанская), Фараллон и Феникс [23] и возникновение новой системы рифтов (рис. 5, а). По мере разрастания Тихоокеанской плиты, отчлененные фрагменты прежней спрединговой системы отодвигались и перемещались в направлениях перпендикулярных осям новых рифтовых зон (рис. 5, б). Перемещение Эрдагоуского участка в составе отчлененного фрагмента досреднеюрской спрединговой системы Палеоазиатской на расстояние ~2400 км заняло

порядка 11–12 млн лет, т.е. скорость движения океанической плиты с конца тоара по ранний оксфорд составляла 21–22 см/год.

Данные по скоростям движения Палеотихоокеанской плиты показывают, что северная ее часть, фрагменты которой слагают юрскую аккреционную призму Сихотэ-Алиня, перемещалась с постоянно увеличивающейся скоростью – 12–13 см/год в ранней юре, 14–15 в аалене – начале байоса, 20–21 в байосе, 21–22 в бат-оксфорде [21]. Напротив, для ее южной части, фрагменты которой слагают позднеюрско-раннемеловую призму Сихотэ-Алиня и Японии, скорость движения постепенно уменьшалась – 21–22 см/год в аалене – раннем оксфорде, 20 – в среднем оксфорде – раннем киммеридже, 15 – в среднем киммеридже – позднем титоне. Такая динамика движения Палеотихоокеанской плиты, связанная с изменением скоростей в разных частях спрединговой системы, неизбежно должна была изменить взаимную ориентировку контура континента и оси зоны спрединга. Подтверждением служит южная часть Атлантики (рис. 6), раскрытие которой реконструировано по полосовым магнитным аномалиям [24]. Контур Южно-Американского континента и ось срединно-атлантического хребта, параллельные на начальном этапе раскрытия Южной Атлантики, за счет большей скорости спрединга в южной части (это видно по ширине магнитных аномалий) изменили ориентировку на 30° к настоящему времени. Очевидно, что величина угла разворота контура континента относительно оси спрединга зависит не только от времени, но и от скорости спрединга. Раскрытие южной Атлантики осуществляется на протяжении 139 млн лет, а ширина ее на широте г. Кейпта-

ун составляет 5500–5700 км. То есть средняя скорость спрединга в южной части Южно-Атлантического хребта составляла 4 см/год. Скорость спрединга в Палеоокеанике в пять раз превышала среднюю скорость раскрытия южной Атлантики. Следовательно, времени для разворота контура континента и оси спредингового хребта на те же 30°, при скорости, превышающей в 5 раз, должно потребоваться в 5 раз меньше.

Изменение скоростей перемещения Палеотихоокеанской плиты, т.е. уменьшение для ее южной части и увеличение для северной, фиксируется с конца тоара – начала аалена (175 млн лет – формирование новой рифтовой системы и рождение Тихоокеанской плиты). Смена геодинамического режима на Палеоазиатской окраине – 146–147 млн лет. Значит, период времени для разворота контура континента и оси спредингового хребта, продуцирующего Тихоокеанскую плиту и двигавшего Палеотихоокеанскую, составляет 28–29 млн лет. А это практически, в 5 раз меньше, чем время, затраченное на раскрытие Южной Атлантики.

Таким образом, можно заключить, что в период с аалена по конец титона контур Палеоазиатского континента и ось спредингового хребта, определявшего вектор движения Тихоокеанской и Палеотихоокеанской плит, развернулись на 30° и сориентировались близ перпендикулярно. Это явилось причиной смены геодинамического режима, так как упомянутые плиты стали перемещаться параллельно Палеоазиатскому континенту и лишь вдоль части его южной окраины, в силу ее ортогональной ориентировки по отношению к новому направлению движения океанических плит (рис. 5, в), продолжался режим субдукции.

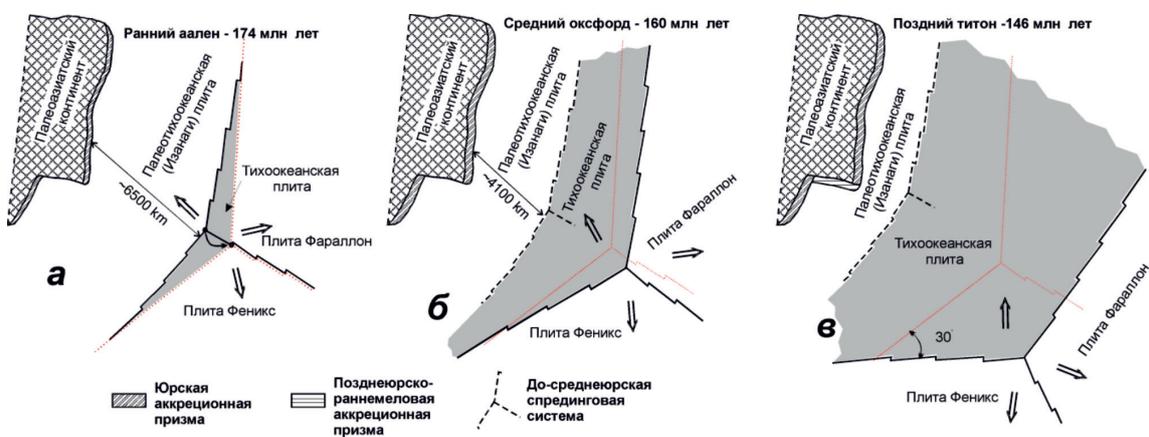


Рис. 5. Возникновение Тихоокеанской рифтовой системы и изменение ее ориентировки относительно Палеоазиатского континента в средне-позднеюрское время

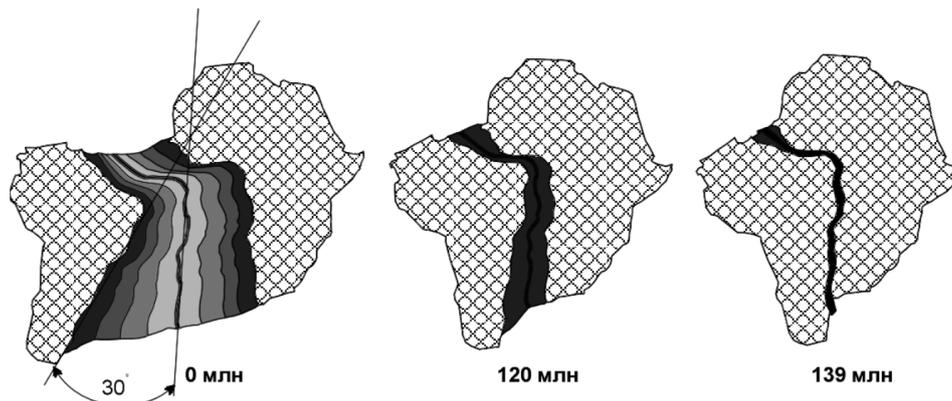


Рис. 6. Раскрытие Южной Атлантики на основе данных по линейным магнитным аномалиям

### Заключение

Результаты геохимического изучения кремневых пород из разновозрастных тектоно-стратиграфических комплексов Таухинского террейна показали, что накопление их осуществлялось в последовательно сменяющихся друг друга фациальных зонах океана. Процесс накопления кремневых осадков начинался в прилегающей к спрединговой хребту зоне, затем продолжался в пределах абиссальной равнины, а завершился в краевой части палеоокеана, примыкавшей к приконтинентальной области седиментации, где он постепенно сменялся накоплением гемипелагических и, далее, терригенных осадков.

На основе геохимического и литолого-биостратиграфического изучения кремневых пород Таухинского террейна рассчитаны скорости перемещения Палеотихоокеанской плиты в юрское время. В период с тоара по конец титона северная ее часть перемещалась с постоянно увеличивающейся скоростью (12–13 см/год в ранней юре, 14–15 в аалене – начале байоса, 20–21 в байосе, 21–22 см/год в батоксфордское время). Напротив, скорость движения южной ее части постепенно уменьшалась (22 см/год в байосе – раннем оксфорде, 20 в среднем оксфорде – раннем киммеридже, 15 см/год в среднем киммеридже – позднем титоне).

Разная скорость спрединга в разных частях спрединговой системы, эквивалентная скорости перемещения соответствующих частей океанической плиты (все возрастающая в северном ее сегменте на фоне уменьшающейся в южном), явилась причиной разворота контура Палеоазиатского

континента и оси спредингового хребта не менее чем на  $30^\circ$  и достижения ими близ ортогональной ориентировки. В этой связи, направление движения океанической плиты к концу титонского века стало параллельным континентальной окраине Палеоазиатского континента. Смена направления движения океанической плиты на рубеже юры и мела предопределила смену геодинамической обстановки на Палеоазиатской восточной окраине, превратив ее из конвергентной окраины в трансформную окраину.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ-ГФЕИ № 19-55-53008.

### Список литературы / References

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
2. Geodynamics, Magmatism and Metallogeny of the East of Russia / Ed. A.I. Khanchuk. Vladivostok: Dal'nauka, 2006. Book 1. 572 p. (in Russian).
3. The Central Asian Orogenic Belt: Geology, Evolution, Tectonics and Models. Ed. A. Kröner. Stuttgart: Borntraeger Science Publisher, 2015. 313 p.
4. Kemkin I.V., Khanchuk A.I., Kemkina R.A. Accretionary prisms of the Sikhote-Alin Orogenic Belt: Composition, structure and significance for reconstruction of the geodynamic evolution of the eastern Asian margin. *Journal of Geodynamics*. 2016. vol. 102. P. 202–230. DOI: 10.1016/j.jog.2016.10.002.
5. Engebretson D.C., Cox A., Gordon R.G. Relative motion between oceanic and continental plates in the Pacific basin. *Bulletin of the Geological Society of America*. 1985. no 206. P. 1–59.
6. Kemkin I.V., Taketani Y. Structure and age of lower structural unit of the Taukha terrane of Late Jurassic – Early Cretaceous accretionary prism, Southern Sikhote-Alin. *Island Arc*. 2008. vol. 17. no 4. P. 517–530.
7. Gromet L.P., Dymek R.F., Haskin L.A. et al. North American Shale Composite, its compilation, major and trace element characteristics. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1984. vol. 48. P. 2469–2482.
8. Murray R.W. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and applications. *Sedimentary Geology*. 1994. vol. 90. P. 213–232.

8. Murray R.W., Buchholtz ten Brink M.R., Jones D.L., Gerlach D.C., Ruth III G.P. Rare earths elements as indicator of different marine depositional environments in chert and shale. *Geology*. 1990. vol. 18. P. 268–272.
9. Taylor S.R., McLennan S.M. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985. 312 p.
10. Thassanapak H., Udchachon M., Chonglakmani C. Geochemistry of Middle Triassic Radiolarian Cherts from Northern Thailand: Implication for Depositional Environment. *Journal of Earth Science*. 2011. vol. 22. no 6. P. 688–703. DOI: 10.1007/s12583-011-0220-7.
11. Garbán G., Martínez M., Márquez G., Rey O., Escobar M., Esquinas N. Geochemical signatures of bedded cherts of the upper La Luna Formation in Táchira State, western Venezuela: Assessing material provenance and paleodepositional setting. *Sedimentary Geology*. 2017. vol. 347. P. 130–147.
12. Thassanapak H., Udchachon M., Burrett C., Feng Q. Geochemistry of Radiolarian Cherts from a Late Devonian Continental Margin Basin, Loei Fold Belt, Indo-China Terrane. *Journal of Earth Science*. 2017. vol. 28. no. 1. P. 29–50. DOI: 10.1007/s12583-017-0738-4.
13. Kang J., Zhang Z., Zhang D., Huang H., Dong S., Zhang S. Geochronology and Geochemistry of the Radiolarian Cherts of the Mada'er Area, Southwestern Tianshan: Implications for Depositional Environment. *Acta Geologica Sinica*. 2011. vol. 85. no 4. P. 801–813.
14. Yu B., Dong H., Widom E., Chen J., Lin C. Geochemistry of basal Cambrian black shales and cherts from the Northern Tarim Basin, Northwest China: implications for depositional setting and tectonic history. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2009. vol. 34. P. 418–436.
15. Cole C., Jame R., Connelly D., Hathorne E. Rare earth elements as indicators of hydrothermal processes within the East Scotia subduction zone system. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2014. vol. 140. P. 20–38. DOI 10.1016/j.gca.2014.05.018.
16. Eker C., Sipahi F., Kaygusuz A. Trace and rare earth elements as indicators of provenance and depositional environments of Lias cherts in Gumushane, NE Turkey. *Chemie der Erde—Geochemistry*. 2012. vol. 72. P. 167–177.
17. Ran B., Liu S., Jansa L., Sun W., Yang D., Ye Y., Wang S., Luo C., Zhang X., Zhang C. Origin of the Upper Ordovician-lower Silurian cherts of the Yangtze block, South China, and their palaeogeographic significance. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2015. vol. 108. P. 1–17.
18. Hara H., Kurihara T., Kuroda J., Adachi Y., Kurita H., Wakita K., Hisada K-i., Charusiri P., Charoentitirat T., Chaodumrong P. Geological and Geochemical Aspects of a Devonian Siliceous Succession in Northern Thailand: Implications for the Opening of the Paleo-Tethys. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2010. vol. 297. no 2. P. 452–464. DOI: 10.1016/j.palaeo.2010.08.029.
19. Кемкин И.В., Кемкина Р.А. Геохимические свидетельства океанического происхождения кремней аккреционных комплексов Сихотэ-Алиня // *Геохимия*. 2015. № 8. С. 706–719. DOI: 10.7868/S0016752515080026.
- Kemkin I.V., Kemkina R.A. Geochemical evidence of an oceanic provenance of cherts in accretionary complexes in the Sikhote Alin // *Geochemistry International*. 2015. № 8. P. 700–712.
20. Лисицын А.П. Процессы терригенной седиментации в морях и океанах. М.: Наука, 1991. 270 с.
- Lisitsyn A.P. Terrigenous sedimentation processes in the seas and oceans. M.: Nauka, 1991. 270 p. (in Russian).
21. Кемкин И.В., Ханчук А.И., Кемкина Р.А. Геохимические особенности кремней самаркинского террейна (Сихотэ-Алинь) и масштаб аккрецированной палеоокеанической плиты // *Геология и геофизика*. 2018. Т. 59. № 2. С. 143–157.
- Kemkin I.V., Khanchuk A.I., Kemkina R.A. Geochemical features of the Samarka terrane cherts (Sikhote-Alin) and the scale of the accreted paleo-oceanic plate // *Geology and Geophysics*. 2018. vol. 59. № 2. P. 143–157 (in Russian).
22. Bartolini A., Larson R.L. Pacific microplate and the Pangea supercontinent in the Early to Middle Jurassic. *Geology*. 2001. vol. 29. no 8. P. 735–738.
23. Boschman L.M., van Hinsbergen D.J.J. On the enigmatic birth of the Pacific Plate within the Panthalassa Ocean. *Science Advances (American Association for the Advancement of Science)*. 2016. vol. 2. no 7. P. 1–6. DOI: 10.1126/sciadv.1600022.
24. Seton M., Müller R.D., Zahirovic S., Gaina C., Torsvik T., Shephard G., Talsma A., Gurnis M., Turner M., Maus S., Chandler M. Global continental and ocean basin reconstructions since 200 Ma. *Earth-Science Reviews*. 2012. vol. 113. P. 212–270. DOI: 10.1016/j.earscirev.2012.03.002.

УДК 551.581.1:573.554

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЖИЗНИ С ПОЗИЦИЙ СОВРЕМЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Корляков К.А.

ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», Челябинск, e-mail: Korfish@mail.ru

Настоящая работа представляет собой обзор с теоретическими выкладками, базирующимися на классической механике, основных физических фундаментальных взаимодействиях, минералогии, теории неравновесной самоорганизации, теории эволюции, коллоидной химии, супрамолекулярной химии, молекулярной биологии и продукционной экологии. В статье рассмотрены современные представления о возникновении жизни с экологических позиций. Рассматривается роль метеоритной бомбардировки и динамики движения Луны на первых фазах ее формирования. Предложен ряд новых теорий, отвечающих оптимальным условиям среды необходимым для абиогенеза и возникновения живых организмов: «дискретная и динамичная золь-геосфера», «Лунный поляризатор, отбирающий хиральность», «органоминеральный континуум как первичный субстрат и среда для горизонтального переноса генов», «нуклеиновая и полисахаридная клеточная стенка». Приводятся средовые параллели подобные «ядро клетки – ядро Земли», такие как «литосфера/гидросфера – клеточная мембрана», «волокнистые минералы – полициклические углеводороды и нуклеиновые кислоты». Рассматривается концепция формирования протоядра в мире РНК. Особое внимание уделяется возникновению полярных неравновесных балансов на молекулярном уровне. Анализируются связи проблемы возникновения жизни с основными принципами самоорганизации. Обсуждаются два основных фактора дискретности: биохимический гиперцикл и клетка. Рассматривается континуальность и дискретность среды и живой материи. Особенности становления дискретности и необратимости при возникновении жизни связывают данную проблему с проблемой старения. Для ускорения технического решения проблемы возникновения жизни предложен новый прибор – климатический биореактор. Комплексные принципы, заложенные в приборе, позволят не только экспериментировать с путями возникновения жизни, но и получать новые формы биоты, адаптированные для экстремальных условий среды.

**Ключевые слова:** возникновение жизни, РНК, дуальный баланс, самоорганизация

## RECONSTRUCTION OF THE EMERGENCE OF LIFE FROM THE STANDPOINT OF MODERN ECOLOGY

Korlyakov K.A.

Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, e-mail: Korfish@mail.ru

The present work is a review with theoretical calculations based on classical mechanics, basic physical fundamental interactions, Mineralogy, the theory of nonequilibrium self-organization, the theory of evolution, collide, chemistry, supramolecular chemistry, molecular biology and production ecology. The article deals with modern ideas about the origin of life from an ecological point of view. The role of meteorite bombardment and the dynamics of the moon motion at the first phases of its formation are considered. Proposed a number of new theories corresponding to the optimal environmental conditions needed for abiogenesis and the origin of living organisms: «a discrete and dynamic of the Sol-Geosphere», «Moonlight polarizer which selects chirality», «organic continuum as the primary substrate and environment for horizontal gene transfer», «nucleic acid and cell wall polysaccharide». Environmental Parallels such as «cell nucleus – earth nucleus», such as «lithosphere/hydrosphere – cell membrane», «fibrous minerals – polycyclic hydrocarbons and nucleic acids» are given. The concept of proton nucleus formation in the RNA world is considered. Special attention is paid to the appearance of polar nonequilibrium balances at the molecular level. The article analyzes the relationship of the problem of life with the basic principles of self-organization. Two main discreteness factors are discussed: the biochemical hypercycle and the cell. The continuum and discreteness of the medium and living matter are considered. Features of the formation of discreteness and irreversibility in the event of life associate this problem with the problem of aging. To speed up the technical solution of the problem of the emergence of life, a new device – a climatic bioreactor-is proposed. Complex principles laid down in the device will allow not only to experiment with the ways of life, but also to obtain new forms of biota adapted to extreme environmental conditions.

**Keywords:** origin of life, RNA, dual balance, self-organization

Жизнь – сложная форма материи, состоящая из набора высокомолекулярных и низкомолекулярных соединений, объединенных специфичным типом функционирования и самоорганизации. Однако, начиная с первых экспериментальных попыток изучить пути возникновения жизни [1], предпринятых почти столетие назад, проблема до сих пор решается химиками с помощью редуccionного подхода и в ло-

кальных аспектах. В последнее десятилетие некоторые попытки использования комплексного подхода предпринимаются [2], но тем не менее методически и методологически системный экспериментальный и теоретический подход для решения проблемы возникновения жизни не выработан. В последние десятилетия возрастает интерес к проблеме, появляется ряд экспериментальных данных, и попытки теоретическо-

го осмысления – исследователями издается ряд монографий, в том числе и на русском языке посвященных происхождению жизни. Тогда как ранее данной проблеме посвящались преимущественно отдельные статьи и главы в монографиях [3, 4]. Из русскоязычных исследователей проблему рассматривали сначала физики [5, 6], позже врачи [7, 8], после биологи [9–11], в то время как химики регулярно получали ряд экспериментальных данных. И здесь следует отметить, что в биологии акцент делается преимущественно на изучение самой биоты, а в экологии – на среду в которой биота функционирует. В проблеме возникновения жизни ключевым является вопрос о свойствах среды, в которой жизнь может зародиться. Целью настоящей работы является рассмотрение возможностей возникновения жизни с позиций экологии.

### Результаты исследования и их обсуждение

#### *Терминология*

В первую очередь стоит вопрос об изначальных свойствах и количестве углерода и органических веществ, необходимых для возникновения жизни. Наиболее рациональным является представление об изначальном наличии, как ациклических, так и циклических и полициклических ароматических углеводородов. Углеводородов с различной молекулярной массой, структурой и включениями других элементов необходимых для дальнейших гиперциклов [12, 13]. Разработанная в начале 2000-х гг. теория мира полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), как предшествующая стадия РНК-мира, предусматривала преимущественно высокомолекулярными структурами, обнаруженными в космическом пространстве, являются молекулы подобные антрацену. Учитывая особенности формирования планет, различные по структуре молекулы углеводородов формировали среду для возникновения жизни не только из открытого космического пространства [17], метеоритов, процессов формирующих первичную литосферу планеты, но и эндогенных процессов самой Земли. Второй возможностью является открытие в начале 2000-х гг. в ходе химической эволюции синтеза основных молекул протобионтов из низкомолекулярных углеводородов, амидных молекул [2]. Таким образом, наличие различных углеводородов

в первичной среде, обеспечивающей возникновение жизни, не вызывает споров, открытыми остаются вопросы о количестве и качественных соотношениях углеводородов и свойствах среды обеспечивающей дальнейшую самоорганизацию [2, 10, 18]. В связи с чем вопрос о «происхождении» жизни на сегодняшний день некорректен, так как углеводородная основа это и есть первичная форма материи, от которой произошла жизнь. То есть на сегодняшний день более целесообразно определение «возникновение» жизни, изначально используемое А.И. Опариным (1941) и охватывающее вопросы: как, в каких условиях и по каким причинам возникла жизнь.

#### *Фибриллярная форма организации*

Начиная с построения теории мира РНК в 1970–1980-е гг. каждое последующее десятилетие открывались новые особенности данной молекулы, позволяющие дополнять данную теорию и укреплять ее надежность. К таким событиям относятся открытые в 1980-е гг. каталитические особенности и вторичные, третичные структуры молекул, способность молекул размножаться в пористых ячейках гелей и перестраивать свои нуклеотидные последовательности открытая в 1990-гг. [14], определение структуры рибосом в начале 2000-х гг., а в конце 2000-х – способность рибозимов создавать копии РНК молекул. Недостаточно оцененной оказалась работа, демонстрирующая механохимические особенности среды, определяющие построение различных типов полимерных молекул в зависимости от типа перемешивания [19]. Данные результаты вместе с новыми закономерностями, полученными при падении очередного метеорита [20], позволяют дополнить характеристики среды при абиогенезе. Метеоритная бомбардировка, как один факторов возникновения жизни рассматривалась давно в связи с доставкой химических элементов, органических веществ, воды, магнитных эффектов отбирающих хиральность, термических характеристик на поверхности планеты. Кроме того, сроки окончания бомбардировки (4–3,9 млрд лет) примерно совпадают с датировками появления первичных протобионтов. Теперь данная модель дополнилась механохимическими и гидродинамическими механизмами. С экологических позиций можно предложить еще три фактора, обусловленных метеоритной бомбардировкой и способных обеспечить новый тип самоорганизации:

количественное и качественное увеличение разделов трех фаз вещества, дискретность и фибриллярность сред. Увеличение разделов фаз твердого, жидкого и газообразного вещества в пределах трех основных геосфер Земли способствует активизации процессов протометаболизма на поверхностях фазовых разделов и обеспечивает появление основной среды, необходимой для протекания первичных биохимических реакций – возникновение органоминерального комплекса ввиду выбивания из монолита мелкодисперсной фракции. Под дискретностью сред подразумевается дифференцировка и локализация органических пулов как вследствие дробления самих органоминеральных комплексов, так и путем извлечения органики из геотермальных источников, метеоритного, кометного вещества и аккумуляция различной по составу органики в различных средах. Среди такой органики могут быть и биоорганические молекулы в виде жирных кислот и углеводов. Фибриллярный аспект подразумевает значительный избыток по сравнению с современными условиями волокнистых и фибриллярных минералов, которые образуются при падении метеоритов и извержении вулканов [20]. Волокнистые минералы также образуются в процессе выветривания, гидролиза, на пористых средах и перенасыщенных растворах [21, 22]. Все перечисленные характеристики в избытке должны были соответствовать условиям ранней Земли и метеоритной бомбардировке, а также многие формы нитевидных минералов образуются в избытке цинка, что подтверждает цинковую гипотезу среды [10]. Благодаря волокнистым минералам, во-первых, обеспечивается прочность формирующихся органоминеральных комплексов и их пористая структура, а во-вторых, прослеживается параллель фибриллярные минералы – фибриллярные биополимеры, как ведущая форма самоорганизации вещества. Данная гипотеза не рассматривалась в контексте среды при формировании и развитии полимерных РНК-молекул. Эти условия среды могли обеспечивать устойчивость РНК молекул при их выносе в атмосферу за счет расположения на поверхности воды более устойчивых к ультрафиолету гидрофобных азотистых оснований, тогда как фосфатные группы оказывались погруженными в водно-органическую среду пор минералов. Волокнистые минералы, в отличие от глобулярных, могут дольше задерживаться в атмосфере. Кроме того, нуклеотидные

и другие полимеры могли конкурировать и отбираться в различных условиях среды, а также связывать дискретные минеральные частицы, что приводило к образованию органоминерального комплекса.

#### *Золь-геосфера*

Экологические модели и экспериментальные исследования постулируют, что развитие биоты на всех стадиях организации ограничено и функционально связано с тремя основными разделами фаз: жидким, твердым, газообразным [23]. При этом биота, изменяя условия окружающей среды, стремится к увеличению количества фазовых разделов, откуда может извлекать энергию. И именно увеличение качества и количества данных фазовых разделов обеспечивало основные ароморфозы в эволюции биоты [24]. Метеоритная бомбардировка обеспечивала на ранних стадиях развития Земли смешение гидросферы, атмосферы и литосферы. С различной дисперсностью частиц от коллоидных до капельных и пылеватых. В таких условиях возникала золь-геосфера, которая в планетарной атмосферной циркуляции была подхвачена гравитационными силами Луны, в тот период времени значительно приближенной к Земле [25]. Золь-геосфера должна была остывать и нагреваться, выпадая в жидкую гидросферу и обратно попадая в воздух благодаря метеоритной бомбардировке. Благодаря этой же метеоритной бомбардировке в воздух попадали минеральные частицы. Среда становилась более дискретной в пространстве и времени, что обеспечивало дискретность в самоорганизации предбиотических молекул. То есть шел колебательный процесс, способствующий возникновению нескольких пусковых механизмов для появления жизни и дальнейшей эволюции. Луна способствовала активному перемещению потоков воды в жидком состоянии в виде планетарной циркуляции Мирового океана. То есть доклеточная жизнь могла развиваться в атмосфере и при этом на поверхности минеральных частиц, которые передвигались в данной золь-геосфере. Увеличение количества мелкодисперсных частиц обеспечивало условия для накопления органики, возникновения органоминерального комплекса и формирования периодически дискретной золь-гель-геосферы. В золь-гель геосфере золь рассеивался в газовом пространстве, а гель располагался в порах, трещинах, кратерах, гидротермах и других углублениях на поверхности литосферы.

Таким образом, теории «первичного бульона» [1], «первичной пищи» [26] и «первичного майонеза» [18] можно дополнить теориями «первичной сахарной пудры», «первичной сладкой ваты», «первичного желе», то есть геля, и «первичного торта». Причем последовательность «сахарная пудра – сладкая вата – желе – торт» вероятнее должна быть циклична с периодичной сменой всех фаз.

#### *Лунный поляризатор и факторы хиральности*

Луна, приближенная к Земле, также могла способствовать отбору хиральности. За счет увеличения количества падающего на планету поляризованного света, влияющего на пространственную организацию молекул. Одна из основных проблем организации жизни – гомохиральность в виде левых аминокислот и правых сахаров. В последние годы появляются эксперименты, подтверждающие теорию Вестера – Ульбрихта, где поляризованные электроны способствуют селективной гомохиральности [27–29]. Исходя из моделей реконструкции системы Земля – Луна, можно предложить следующий механизм объяснения гомохиральности. Протолуна после ее формирования и выхода на орбиту была приближена к поверхности нашей планеты по разным оценкам на расстояние от 22 до 150 тыс. км [25]. Это обеспечило скорость оборота Земли в 5–5,5 часов и стабильное освещение Лунной поверхности планеты с высокой периодичностью. В этих условиях мог не только идти отбор хиральных реакций, но и обеспечиваться соответствующие циклы биофизических, биохимических реакций, заключенные в гиперциклы. Следует отметить ряд других теорий появления гомохиральности. Среди которых аэрозольная теория хиральной асимметрии, предложенная В.А. Твердисловым (2012) [6], теория магнитных аномалий, вызванных метеоритной бомбардировкой и спецификой магнитного поля первичной Земли, обеспечивающих селекцию гомохиральности, теории организации более эффективных энергозатрат при гомохиральности, так как в живой материи известны исключения в L-аминокислотах и D-углеводах и D-липидах. Данные гипотетические условия среды лишь дополняют друг друга и уменьшают вероятность рацемических смесей. Причем фотический лунный фактор является наиболее стабильным, для хиральной самоорганизации. Таким образом, условия на ранних этапах форми-

рования жизни никак не должны были способствовать рацемической смеси, а для возникновения жизни в отличие от появления других материй определяющими являлись уже неравновесные условия при наиболее слабых взаимодействиях: слабом и гравитационном [27, 29].

#### *Неравновесные балансы*

Средовые факторы, обеспечивающие неравновесность среды, также обеспечивали неравновесные балансы восстановительных и окислительных сред в геосфере. Вероятнее, первичная атмосфера была все-таки восстановительной, а локальные окислительные среды имели гидротермальное и метеоритное происхождение. То есть газовый баланс в неравновесных условиях был сдвинут в сторону восстановительных газов. В частности, CO, CO<sub>2</sub> и другие газы могли локализоваться вблизи гидротерм, которые служили источником сред для фиксации протобионтов в порах и расколах монолитной литосферы, где аккумулировались органоминеральные комплексы. Однако калий-натриевые и кальций-магниевого неравновесные балансы внутри клетки также могли выработаться позднее и были обусловлены дефицитом элементов в среде, которые были приобретены протоклетками для стабилизации метаболизма. Аналогичным образом мог быть выработан баланс L-аминокислот и D-сахаров. Оба механизма появления неравновесных балансов помимо предложенных теоретических моделей [6, 10] нуждаются именно в экспериментальной проверке. Ряд ключевых элементов неравновесной самоорганизации биоты также формировался в среде неравновесной дуальной системы Земля – Луна. Первыми неравновесными балансами до гомохиральности молекул и натрий-калиевых балансов можно считать приобретение бензольными кольцами в виде азотистых оснований положительно заряженных аминогрупп, с одной стороны, и отрицательных кислородных – с другой. Что усилилось с появлением гидроксильных и фосфатных групп при формировании нуклеотидов. Вслед за этим – возникновение гидрофобности и гидрофильности биоорганических молекул. Возникновение континуальных неравновесных полимерных биоорганических молекул в дискретной среде неравновесных водных кластеров также обеспечивало неравновесный баланс: дискретная среда – континуальная материя. В этих условиях происходило первичное отделение новой материи

от среды и одновременная опора этой материи на среду при дальнейшей организации и самоорганизации. То есть асимметричные атомы углерода и полимеры, построенные на их основе, также взаимодействовали с асимметричными молекулами воды. Далее по каскадному механизму взаимодействие было выражено в виде: конформации полимеров – кластеры воды и мицеллы. Основным отличием нуклеотидных полимеров от других и предпосылкой к возникновению жизни являлась их возможность к самоорганизации и эволюционному развитию [5, 30]. Далее шел баланс анаболизма – катаболизма в виде продукции и деструкции замыкающий аспект дискретности и вместе с тем континуальности при возникновении новой живой материи. Появление дуального баланса в нуклеиновых кислотах в виде РНК, ответственной за изменчивость, и ДНК, обеспечивающей наследственность, повлекло начало эволюционных механизмов. Дальнейшая полярированность (аэробность – анаэробность, фотосинтез – дыхание, мужской – женский пол) была уже обеспечена принципами дуальной каскадной самоорганизации биотических систем.

#### *Дискретность самоорганизации*

Динамика пространственно-временной дискретности среды в виде золь-геосферы и более динамичного взаимодействия системы Земля – Луна ввиду более быстрого вращения планеты обусловила два ключевых фактора дискретности в организации новой – живой материи. Первый – появление гиперцикла первичных биохимических путей обмена со средой при различной степени замкнутости протобионтов и второй – пространственной дискретности – возникновение клетки. Скорость многих биохимических циклов в многоклеточных организмах, характеризующаяся двухчасовой периодичностью, двухчасовая периодичность, наблюдающаяся в фазах развития колоний прокариотов, а также часовой ритм синтеза белка, могут иметь происхождение, связанное со скоростью оборота Земли, которая в фазе формирования системы Земля – Луна по некоторым расчетам составляла 5–5,5 часов [25, 31, 32]. То есть 2–2,2 часа день и столько же ночь. Ритмы связанные с 20–30-минутной периодичностью, подобные липолизу, циклу цитокинов, делению прокариотической клетки, возможно, связаны с другими средовыми периодами – вращением Луны, периодическим нагревом

поверхности планеты, циклом геосферной миграция органических молекул. На более интенсивную высокочастотную фотическую периодичность освещенности ранней Земли также указывают особенности развития наиболее древних прокариотов – цианобактерий, способных активно развиваться, в отличие от высших растений, при непрерывной освещенности. В целом более интенсивная частота колебаний условий среды ранней Земли обеспечила автоколебательный процесс в самоорганизации жизни. Вне зависимости от возможности исторической обусловленности перечисленных циклов, связанных с динамикой среды можно констатировать следующее. Два аспекта дискретности (биохимический гиперцикл и протоклетка) в возникновении жизни связывают данную фундаментальную общебиологическую проблему с другой также не до конца решенной – проблемой старения. К последней проблеме впоследствии добавляется еще структурная дискретность или генетическая – вертикальный перенос генов, которая увеличивает необратимость в развитии жизни. Таким образом, решение одной из проблем может дать ответы на многие вопросы другой общебиологической проблемы.

#### *Континуальная организация среды*

Общий генетический предок, по всей видимости, жил и развивался в органоминеральном континууме [23]. Его генетическая однородность также способствовала однородности среды обитания – структуре органоминерального комплекса. Вертикальный перенос генов и эволюция началась на краях органоминерального континуума. Эти формы, отделившиеся от общего предка, получали больше преимуществ за счет освоения энергии среды на дискретных биотопах – то есть краях биотопа при выработке соответствующих молекулярных ароморфозов. Вертикальный перенос генов в связи с появлением нетипичных краевых условий мог выработаться не только благодаря энергетическим преимуществам, но и по причине периодического исчерпания ресурсов в отсутствии оптимального катаболизма, на фоне длительной изоляции раздробленного некогда общего генома. Однако доклеточные протобионты также должны были развиваться в органоминеральном субстрате, где накапливали свою биомассу. В органоминеральном континууме матрицей для синтеза первичных биологических репликаторов могли являться две структуры – ор-

ганические матрицы (гель) и минеральные, как в виде дискретных частиц, так и пористых пород. Первые нуклеотидные комплексы выходя на минеральный матрикс, взаимодействовали с органическим веществом, быстро катализируя реакции на минералах. Органоминеральные субстраты вследствие метеоритных бомбардировок разрушались и выбрасывались в золь-систему вместе с предбиотическими самореплицирующимися системами. Постоянные увеличения дискретности жидкого и органического вещества в пространстве, изменение термических, электромагнитных и механических колебаний вследствие метеоритных бомбардировок способствовали дроблению полимерных цепочек нуклеотидов, их распространению в геосфере и синтезу новых протонуклеотидных систем. После чего при соответствующем в золь-геосфере мицелярно-глобулярном типе организации появлялись предпосылки к клеточной центрально-симметричной самоорганизации. Возможно, поздняя метеоритная бомбардировка, обеспечившая дробление органоминерального континуума, также способствовала дифференцировке последнего общего генетического предка с единым геномом и его дальнейшей эволюции при попадании на вновь сформированные органоминеральные биотопы.

#### *Протоядро*

В развитии жизни на различных уровнях организации повторяются схожие структурные формы, зачастую с различной функциональностью. В связи с чем следует рассмотреть концепцию протоядра – то есть появления условного центра у нуклеиновых кислот. Протоядро – это центральный или центрально-лучевой тип симметрии, где в центре находится участок многолучевой молекулы РНК с белком по типу рибосом, полимераз и других глобулярных функциональных белков. Причем эти белки и пептиды также в зависимости от условий могли передвигаться по нуклеотидной цепочке, синтезируя соответствующие молекулы и увеличивая биомассу биоорганических молекул. Фибриллы нуклеотидных полимеров также могли скручиваться и закручиваться по типу «клубок-катушка». Но окружающий нуклеиновые цепочки средовой баланс должен содержать и положительные аминокислоты с пептидами и белками, и отрицательные моно- и полисахариды. Поэтому можно предположить функциональную дифференцировку РНК, на участки или

молекулы, специализирующиеся на сборе органики, и системы самокопирования. Для интенсификации синтеза и фиксации строительного материала РНК полимеры могли «таскать» с собой аминокислоты и пептиды на функционально значимых участках полимера, а также моно- и полисахаридные комплексы. Центральная-лучевая система симметрии нуклеиновых кислот в виде «клубка» характеризуется векторным типом развития и при этом может обеспечить переход к центральной шарообразной симметрии, как энергосберегающей форме самоорганизации [7]. То есть РНК или протонуклеиновая кислота должна была попасть в такой комплекс условий органической среды (аминокислоты, углеводы, липиды), чтобы получить векторную область развития, дискретную область развития и необратимую область развития.

#### *Протомембраны*

РНК-протобионты в изменениях межфазных балансов среды, механохимических и фотохимических условиях продолжали путь самоорганизации до появления двух главных аспектов дискретности – биохимического гиперцикла и протоклетки. Эти преобразования обусловили необратимость развития новой формы материи. Под биохимическим гиперциклом подразумеваются первичные пути обмена: пентозофосфатный цикл, цикл Кальвина, цикл Вуда – Льюндаля, цикл Вуда – Веркмана и т.д. В этих биохимических реакциях в присутствии РНК молекул происходила фиксация углерода, а отдельные нуклеотиды, служащие строительным материалом, впоследствии стали выполнять энергетическую функцию (АДФ, АТФ). Фотохимические и термические реакции привели к захвату в порфириновые геммы, входившие в РНК-молекулы ионы магния и железа, в избытке находящихся в среде и обеспечивших в дальнейшем регулировку фотохимических реакций. Первой протоклеточной оболочкой при этом и могла служить сама молекула РНК, после функции клеточной оболочки выполняли олиго- и полисахариды, и, наконец, липидная мембрана могла являться третьим эволюционным ароморфозом. Данная закономерность наблюдается у мембран более древних прокариотов, имеющих в своем составе полисахаридные каркасы. При появлении полисахаридной оболочки моносахариды оказывались внутри протоклеток, в которых также закрепился первый гиперцикл обмена и появился первый и вто-

рой компонент дискретности жизни. Липиды же могли быть построены постепенно, путем подбора из отдельных компонентов по подобию структуры и функциональной полярности самих молекул РНК. Жирные кислоты, аминокислоты, нуклеотиды также оказывались внутри углеводной оболочки, а ионы металлов могли направляться внутрь протоклетки путем окисления кристаллических решеток посредством тех же полисахаридов. Таким образом, биохимические циклы обмена, необходимые для аккумуляции углерода, возникли, когда РНК смогли выстраивать вокруг себя структурированный полисахаридный, а позже пептидогликановый каркас.

*Дуальные стратегии  
и необратимость организации*

Далее происходило вертикальное разделение жизни по питательным средам, энергетическим и экологическим условиям в целом. Клеточная жизнь спустилась в осадки донных отложений, где внутри клеток выработались специализированные молекулярные структуры – ДНК, обеспечивающие более точное копирование информации, ферменты катализаторы, обеспечивающие ускорение химических реакций и более полное, оптимальное освоение среды. В органоминеральном континууме и в осадках в целом условия более стабильны и в то же время специфичны в плане органических ресурсов, что также может способствовать большей специализации – появлению ДНК. А доклеточные организмы – предки вирусов, прионов остались сверху, в атмосфере и гидросфере. Доклеточные и клеточные организмы обменивались нуклеотидными последовательностями и внедрялись каждый в среду соседа. В случае первичного возникновения ДНК в протовирусных системах более обоснованным является предположение, что ДНК системы были захвачены более разнообразными и сложными РНК-протобионтами. Вертикальная экологическая дифференцировка происходила и в клеточном мире. Прокариоты разделились на протобактерий и протоархей, где вторые, возможно, еще не обладая ДНК, ушли в донные отложения и их липидные мембраны катализировались на РНК молекулах с соответствующей противоположной хиральностью. А у бактерий уже специализированные белки выстраивали клеточные оболочки. Синтез транс- и цис-изомеров липидов на различных нуклеиновых кислотах также нуждается в экспериментальной

проверке. Здесь следует отметить, что датировки первых клеточных организмов совпадают с возникновением Мирового океана. Таким образом, наблюдается аналогия: «гидросфера Земли – клеточная оболочка» подобно «ядро клетки – ядро Земли» [33].

Вопрос о том, клеточная мембрана появилась, когда еще была только РНК, или мембрана появилась, когда уже образовалась ДНК, остается открытым. Вероятнее, РНК была уже в протоклетке и приобретение специализированных молекул – ДНК и ферментов способствовало тому, что в экологическом смысле такие более специализированные организмы более активно осваивали среду и вытеснили – полностью подавили организмы, имевшие только РНК без ДНК и ферментов. Вторым путем появления ДНК опять выступает метеоритная бомбардировка. Поздняя бомбардировка отделяла РНК от субстрата, в связи с чем, при уже достаточно разработанном разнообразии молекул РНК, отдельные ее фрагменты, попадая под ультрафиолет, приобрели более жесткую структуру – ДНК. То есть через протовирусный путь, когда молекулы ДНК и протовирусы возникали вне клеток и позже встраивались в клеточные протобионты. Однако, вероятнее ДНК выработалась позже внутри клетки, как консервативная система наследственности и необратимости развития. Оба пути также требуют обязательных экспериментальных уточнений. В то же время возникновения ДНК и клеточной липидной мембраны могут быть функционально и биохимически связаны и время их возникновения не сильно разнится ввиду синэргичной обусловленности.

Открытыми остаются вопросы среды в отношении формирования клеточных оболочек. Клеточная липидная стенка возникла либо по мицеллярному типу в жидкой среде, либо механическому в газодисперсной – путем разрыва континуальных органических пленок вследствие механических, ударно-волновых эффектов, которые также могут способствовать смене концентраций вещества и изолировать протоклетку в газовом пространстве [6, 34, 35]. Вероятнее, имел место и первый и второй путь, который проявлялся в разных фазах самоорганизации жизни, но это также требует экспериментальных проверок. И другой путь, когда РНК система оказывалась в средах с ограниченным количеством органического вещества и условия способствовали тому, что у нее возникала мембрана. То есть РНК-

информационная система должна была упорядочивать пространство органической среды в виде ресурсов вокруг себя. РНК нуклеотидные полимеры в специфичных межфазных условиях могли формироваться в глобулярные структуры, где внешняя поверхность глобулы была представлена азотистыми основаниями. Таким образом, условия при количественном увеличении разделов фаз и изменении концентраций органических веществ должны были способствовать глобулярному, сферическому центрально-симметричному типу самоорганизации.

Таким образом, глобальным фактором постоянства условий в виде циркуляции дискретной золь-гель-геосферы служила Луна, а метеоритная бомбардировка обеспечивала увеличение дискретности и неоднородности среды для формирования жизни: включение в состав дискретных водных и органоминеральных комплексов различных соотношений жирных кислот, углеводов, аминокислот. Эти различные по содержанию органические смеси в результате ударно-волновых механизмов могли также извлекаться из геотермальных источников. При этом формирование из неравновесного мономера – нуклеотида полимерных нуклеиновых кислот также могло обеспечиваться гидромеханическими неоднородностями, вызываемыми метеоритами. Условия для приобретения азотистыми основаниями формамидов, формальдегидов, сахаров также требуют экспериментальных проверок. То есть необходимо проверить возможность существования и функционирования иных по структуре нуклеотидов, условия их возникновения и предрасположенность к дальнейшей самоорганизации. В проблеме возникновения жизни осталось установить условия для сборки нуклеиновых кислот из отдельных нуклеотидов и первичный синтез молекул ДНК из РНК. В последнем случае некоторые механизмы у современных организмов уже установлены. Далее останется экспериментальное изучение микроэволюции молекул РНК, некоторые методы для которого уже разработаны [14].

Экспериментальные попытки воспроизвести процесс возникновения жизни, начиная с экспериментов А.Н. Баха, Миллера-Юри, С. Фокса и заканчивая Дж. Сазерландом (2015) [2], также являются локальными, не системными, хоть и в последнем случае используется комплексный подход в отношении органической среды. Пути образования нуклеотидов, аминокис-

лот, углеводов и жирных кислот, по всей видимости, могут быть различными, а ключевым вопросом является характеристика среды, обусловившая преобразования и самоорганизацию РНК молекул и обеспечившая основные факторы появления новой материи – дискретность, необратимость, эволюцию. Ряд закономерностей, установленных в химической эволюции и пробиотической самоорганизации, косвенно указывают на то, что жизнь может появиться в ходе различных путей самоорганизации и условий среды. И характеристики этой жизни также могут быть различными. Описанные, очень изменчивые условия среды на ранних этапах функционирования планеты требуют соответствующих, специальных технических подходов к решению проблемы возникновения жизни. В связи с чем более целесообразным является разработка и внедрение нового комплексного и системного прибора – климатического биореактора [36]. Прибор должен представлять собой синтез климатической камеры с биокультуратором при дополнении следующих расширяющихся физико-химических воздействий: различных типов перемешивания (шейкер, вортекс, мешалка, центрифугирование) ультразвуковых преобразователей, электромагнитных излучателей и газовых баллонов, обеспечивающих различное долевое участие водорода, сероводорода, метана, аммиака, хлора, углекислого газа, кислорода, углеводов. Термическая доработка должна включать более высокие температуры для сжигания органики. Использоваться могут различные смеси и соотношения органических молекул, а также со временем минеральных частиц. Современные аналитические методы позволяют устанавливать степени влияния долей различных компонентов и факторов среды на различные типы самоорганизации.

Климатический биореактор при дальнейшей проработке и проверке эксплуатации позволит решать следующие задачи:

1. Интенсифицировать получение данных, их обработку и возможность работать как с отдельными молекулами, так и ансамблями в широких градиентах условий среды, приближенных к различным типам геосфер планет.

2. Получать новые биоорганические молекулы для решения проблемы абиогенеза и отслеживать биохимические реакции самоорганизации.

3. Исследовать молекулярные механизмы организации и развития жизни: воз-

никновение биохимического гиперцикла, возникновение ДНК, протоклетки и клеточного гомеостаза, каталитических систем, гомохиральности молекул, построение нуклеотидов, белковых комплексов и порфириновых гемов.

4. Изучать условия и особенности протекания различных гиперциклов и автокаталитических процессов, обеспеченных колебаниями условий среды.

5. Вести контроль ранних этапов самоорганизации, возникновения дискретности в самоорганизации, стадий необратимости самоорганизации живой материи и пусковых механизмов, обеспечивающих данный процесс.

6. Моделировать и экспериментально апробировать различные пути возникновения жизни и определять условия среды, обеспечивающие данные процессы.

7. Модификации прибора в дальнейшем позволят получать новые формы живой материи подобно ускорителям частиц, также создающим иные формы материи с заданными свойствами. В первую очередь биоты с противоположной гомохиральностью, континуальной биоты, иными особенностями необратимости самоорганизации и т.д. Например, создание континуальной живой материи, выяснение механизмов ее организации и выделение полезных молекул в ходе ее эволюции могут позволить преодолевать старение.

8. Приборы данного типа дадут возможность проводить направленную подготовку биоты и создавать биомы, функционирующие в средах сходных с поверхностью других планет, отличающихся от Земли. В связи с чем будет проходить отработка и подготовка к панспермии и колонизации планет.

### Заключение

Теоретические положения, описанные в настоящей работе, опираются на классическую механику, основные физические фундаментальные взаимодействия, минералогию, теорию неравновесной самоорганизации, теорию эволюции, коллоидную химию, супрамолекулярную химию, молекулярную биологию и продукционную экологию. Системный подход и соответствующий анализ необходим не только в изучении и моделировании процессов, приводящих к возникновению жизни, но и при экспериментальной работе. Изложенные в работе теоретические выкладки требуют экспериментальной проверки не только для выяснения реальных процессов, способствующих

возникновению жизни и проверки соответствующих гипотез, но и для будущих моделей построения новых форм материи, аналогичных современной жизни. Предложенные новые экспериментальные подходы позволят понять условия возникновения живой материи и ускорить искусственное ее получение в различных инвариантах, которое с большой долей вероятности будет достигнуто в настоящем столетии.

### Список литературы / References

1. Опарин А.И. Возникновение жизни на Земле. 2-е изд., значительно дополненное. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1941. 267 с.  
Oparin A.I. The origin of life on Earth. 2-e Izd., significantly augmented. M.-L.: Izd. AN SSSR, 1941. 267 p. (in Russian).
2. Patel B.H., Percivalle C., Ritson D.J., Duffy C.D., Sutherland J.D. Common origins of RNA, protein and lipid precursors in a cyanosulfidic protometabolism. *Nature Chemistry*. 2015. no. 4. P. 301–307.
3. Волькенштейн М.В. Биофизика. М.: Наука, 1988. 591 с.  
Volkenstein M. V. Biophysics. M.: Nauka, 1988. 591 p. (in Russian).
4. Чернавский Д.С. Проблема происхождения жизни и мышления с точки зрения современной физики // *Успехи физических наук*. 2000. Т. 170. № 2. С. 157–183. DOI: 10.3367/UFNr.0170.200002c.0157.  
Chernavsky D.S. The Problem of the origin of life and thinking from the point of view of modern physics. *Uspekhi Fizicheskikh nauk*. 2000. Vol. 170. no. 2. P. 157–183 (in Russian).
5. Галимов Э.М. Феномен жизни. Между равновесием и нелинейностью. Происхождение и принципы эволюции. М.: Едиториал УРСС, 2001. 256 с.  
Galimov E.M. The Phenomenon of life. Between equilibrium and nonlinearity. Origin and principles of evolution. M.: editorial URSS, 2001. 256 p. (in Russian).
6. Твердислов В.А., Сидорова А.Э., Яковенко Л.В. Биофизическая экология М.: Красанд, 2012. 544 с.  
Tverdislov V.A., Sidorova E.A., Yakovenko L.V. Biophysical ecology. M.: Krasand, 2012. 544 p. (in Russian).
7. Яровой В.В. Этапы эволюции органических соединений. Самообразование клетки. М.: «ЛИБРОКОМ», 2017. 158 с.  
Yarovoy V.V. Stages of evolution of organic compounds. Self-education cells. M.: «LIBROKOM», 2017. 158 p. (in Russian).
8. Соков Л.А. Происхождение жизни. Мультиматрица. (from stardust to men). Челябинск: Изд-во Челябинской гос. мед. акад., 2012. 411 с.  
Sokov L.A. The Origin of life. Multimatrix. (from stardust to men). Chelyabinsk: Izd-vo Chelyabinskoy gos. med. akad., 2012. 411 p. (in Russian).
9. Марков А.В. Рождение сложности. Эволюционная биология сегодня. Неожиданные открытия и новые вопросы. М.: Изд-ва «Астрель», «Corpus», 2010. 528 с.  
Markov A.V. Birth of complexity. Evolutionary biology today. Unexpected discoveries and new questions. M.: Izd-va «Astrel», «Corpus», 2010. 528 p. (in Russian).
10. Диброва Д.В., Гальперин М.Ю., Кузин Е.В., Мулкиджанян А.Я. Системы Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-гомеостаза как предшественники мембранной биоэнергетики // *Биохимия*. 2015. Т. 80. № 5. С. 590–611.  
Dibrova D.V., Galperin M.Yu., Koonin E.V., Mulkidzhanyan A.Ya. Ancient systems of sodium/potassium homeostasis as predecessors of membrane bioenergetics // *Biochemistry*. 2015. Vol. 80. № 5. P. 495–516. DOI: 10.1134/S0006297915050016.

11. Никитин М.А. Происхождение жизни. От туманности до клетки. М.: «Альпина нон-фикшн», 2016. 542 с.
- Nikitin M.A. The Origin of life. From the nebula to the cage. М.: «Alpina non-fiction», 2016. 542 p. (in Russian).
12. Руденко А.П. Саморазвивающиеся каталитические системы // Доклады АН СССР. 1964. Т. 159. С. 1374–1377.
- Rudenko A.P. self-Developing catalytic systems // Doklady AN CCCP. 1964. vol. 159. P. 1374–1377 (in Russian).
13. Эйген М., Шустер П. Гиперцикл. Принципы самоорганизации макромолекул. М.: «Мир», 1982. 270 с.
- Eigen M., Schuster P. The Hypercycle. Principles of self-organization of macromolecules. М.: «Mir», 1982. 270 p. (in Russian).
14. Chetverina H.V., Chetverin A.B. Cloning of RNA molecules in vitro. Nucleic Acids Research. 1993. Vol. 21. P. 2349–2353.
15. Юшкин Н.П. Структура и проблемы биоминералогии. Сыктывкар: Геопринт, 2003. 20 с.
- Yushkin N.P. Structure and problems of biomineralogy. Syktyvkar: Geoprint, 2003. 20 p. (in Russian).
16. Ehrenfreund P., Rasmussen S., Cleaves J., Chen L. Experimentally tracing the key steps in the origin of life: The aromatic world. Astrobiology. 2006. Vol. 6. № 3. P. 490–520.
17. Снытников В.Н. Абиогенный допланетный синтез пребиотического вещества // Вестник Российской академии наук. 2007. Т. 77. № 3. С. 218–226.
- Snytnikov V.N. Abiogenic pre-planetary synthesis of prebiotic substance // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2007. Vol. 77. № 3. P. 218–226 (in Russian).
18. Morowitz H.J. Beginnings of Cellular Life: Metabolism Recapitulates Biogenesis. Yale University Press, 1993. 208 p.
19. Carnall J.M.A., Waudby C.A., Belenguer A.M., Stuart M.C.A., Peyralans J. J.-P., Otto S. Mechano-sensitive Self-Replication Driven by Self-Organization. Science. 2010. V. 327. P. 1502–1506. DOI: 10.1126/science.1182767.
20. Горькавый Н.Н., Таскаев С.В., Дудоров А.Е., Кочеров А.В. Базальтовые нити в пыли Челябинского болида: аналог волос пеле // Челябинский суперболид. Челябинский государственный университет. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2016. С. 148–153.
- Gorkavyu N.N., Taskaev S.V., Dudorov A.E., Kocherov A.V. Basalt fiber in the dust of the Chelyabinsk bolide: an analogue of Pele's hair // Chelyabinsk superbolid. Chelyabinsk state University. Chelyabinsk: Izd-vo Chelyab. gos. un-ta, 2016. P. 148–153 (in Russian).
21. Малеев М.Н. Свойства и генезис природных нитевидных кристаллов и их агрегатов. М.: «Наука», 1971. 199 с.
- Maleev M.N. Properties and Genesis of natural filamentary crystals and their aggregates. М.: «Nauka», 1971. 199 p. (in Russian).
22. Жабин А.Г. Онтогенез минералов (агрегаты). М.: «Наука», 1979. 275 с.
- Zhabin A.G., Ontogeny of minerals (aggregates). М.: «Nauka», 1979. 275 p. (in Russian).
23. Корляков К.А. Емкость среды: монография. Челябинск. Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2018. 385 с.
- Korlyakov K.A. Medium Capacity: monograph. Chelyabinsk: Izd-vo Chelyab. gos. un-ta, 2018. 385 p. (in Russian).
24. Северцов А.С. Причины и условия формирования ароморфной организации // Журнал общей биологии. 2008. Т. 69. № 2. С. 94–101.
- Severtsov A. C. Causes and conditions of formation aromatic organization // Journal of General biology. 2008. Vol. 69. № 2. P. 94–101 (in Russian).
25. Сорохтин О.Г., Чилингар Д.В., Сорохтин Н.О. Теория развития Земли: происхождение, эволюция и трагическое будущее. Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2010. 751 с.
- Sorokhtin O.G., Chilingar D.V., Sorokhtin N.O. Theory of the Earth's development: origin, evolution and tragic future. Izhevsk: In-t komp'yuterny'x issledovaniy, 2010. 751 p. (in Russian).
26. Wachtershäuser G. Before enzymes and templates: theory of surface metabolism. Microbiol. Mol. Biology. 1988. Vol. 52. № 4. P. 452–484.
27. Vester F., Ulbricht T.L.V., Krauch H. Optische Aktivität und die Paritätsverletzung im  $\beta$ -Zerfall. Naturwissenschaften. 1959. Vol. 46. № 2. P. 68–69.
28. Rosenberg R.A. Spin-Polarized Electron Induced Asymmetric Reactions in Chiral Molecules. Electronic and Magnetic Properties of Chiral Molecules and Supramolecular Architectures. 2010. Vol. 298. P. 279–306. DOI: 10.1007/128\_2010\_81.
29. Dreiling J.M., Gay T.J. Chirally Sensitive Electron-Induced Molecular Breakup and the Vester-Ulbricht Hypothesis. Phys. Rev. Lett. 2014. no. 113. P. 1–8. DOI: 10.1103/PhysRevLett.113.118103.
30. Бауэр Э.С. Теоретическая биология. М.-Л.: Изд-во ВИАМ, 1935. 206 с.
- Bauer E.S., Theoretical biology. М.-Л.: Izd-vo VIE'M, 1935. 206 p. (in Russian).
31. Авсюк Ю.Н., Генштафт Ю.С., Салтыковский А.Я., Светлосанова З.П. Широтная зависимость областей осадконакопления как проявление хода приливной эволюции системы Земля – Луна – Солнце // Доклады Академии наук. 2005. Т. 402. № 5. С. 643–646.
- Avsyuk Y.N., Genshaft Y.S., Saltykovsky A.Y., Svetlosanova Z.P. Latitudinal zonality of sedimentation areas as a manifestation of the evolution of the Earth-Moon-Sun tidal system // Doklady Earth Sciences. 2005. Vol. 402. № 5. P. 659–661 (in Russian).
32. Галимов Э.М., Кривцов А.М., Забродин А.В., Легкоступов М.С., Энеев Т.М., Сидоров Ю.И. Динамическая модель образования системы Земля – Луна // Геохимия. 2005. № 11. С. 1139–1150.
- Galimov E.M., Krivtsov A.M., Zabrodin A.V., Legkostupov M.S., Eneev T.M., Sidorov Y.I. Dynamic model of the earth-Moon system formation // Geochemistry. 2005. № 11. P. 1139–1150 (in Russian).
33. Марков А.В. Ядро Земли и ядро клетки – что общего? // Экология и жизнь. 2010. № 9. С. 50–55.
- Markov A.V. The core of the Earth and the nucleus of the cell – what is common? // Ecology and life. 2010. № 9. P. 50–55 (in Russian).
34. Попов А.И. Гуминовые вещества: свойство, строение, образование. СПб.: Изд-во Санкт-Петерб. ун-та, 2004. 248 с.
- Popov A.I. Humic substances: property, structure, formation. SPb.: Izd-vo Sankt-Peterb. un-ta, 2004. 248 p. (in Russian).
35. Суздаев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: «Либропром», 2014. 592 с.
- Suzdalev I.P. Nanotechnology: physics and chemistry of nanoclusters, nanostructures and nanomaterials. М.: «Libro-prom», 2014. 592 p. (in Russian).
36. Корляков К.А. Некоторые данные об изменении органических молекул в различных гидродинамических условиях среды и теоретические предпосылки для создания климатического биореактора – прибора для изучения реакций абиогенеза // Вестник Совета молодых ученых и специалистов Челябинской области. 2018. Т. 1. № 4 (23). С. 9–12.
- Korlyakov K.A. Some data on the change of organic molecules in various hydrodynamic conditions of the environment and theoretical prerequisites for the creation of a climatic bio-reactor – a device for studying the reactions of abiogenesis // Bulletin of the Council of young scientists and specialists of the Chelyabinsk region. 2018. Vol. 1. № 4 (23). P. 9–12 (in Russian).