

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,831

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,333

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 электронному каталогу «Почта России» – П7816

Главный редактор

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

Зам. главного редактора

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

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.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.т.н., профессор Галкин А.Ф. (Ухта); 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. Егорова 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 бесплатный.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,831.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,333.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

Учредитель, издательство и редакция:
ООО ИД «Академия Естествознания»

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

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

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна

+7 (499) 705-72-30

E-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать – 31.01.2023

Дата выхода номера – 28.02.2023

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО «Научно-издательский центр

Академия Естествознания»,

410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка

Доронкина Е.Н.

Корректор

Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.

Способ печати – оперативный.

Распространение по свободной цене.

Усл. п.л. 12,5

Тираж – 1000 экз.

Заказ. УСЕ/1-2023

Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (4.1.1. Общее земледелие и растениеводство)

СТАТЬЯ

НОВЫЕ СОРТА И ГИБРИДЫ ТРАВЯНИСТОГО СОРГО
И ИХ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПОЛЕЗНЫЕ ПРИЗНАКИ

*Бахарева Н.В., Гусев В.В., Халикова М.М., Храмов А.В.,
Ескова В.С., Мустафина Т.Ш., Дустанов И.В.* 7

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

ВОЗМОЖНОСТИ СТАБИЛИЗАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ
АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ОРГАНИЧЕСКИХ, МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ,
МИКРООРГАНИЗМОВ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ОБРАБОТОК

Полоус В.С., Степанов С.П., Проколова Л.О., Осауленко С.Н. 13

Сельскохозяйственные науки (4.1.6. Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация)

СТАТЬЯ

ПАРАМЕТРЫ ДИНАМИКИ РОСТА ПОСЛЕРУБОЧНЫХ
ПИХТОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В КАНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Калачев В.А., Козлов Н.В., Вайс А.А. 20

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

ЭКОЛИЗИНГ В КОНВЕРГЕНТНОМ РЕЦИКЛИНГЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

Гладун В.Д., Бабукова А.А. 26

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ
МИГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ
РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Дядик В.В. 32

ОЦЕНКА ФЛОРИСТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗАКАЗНИКА «СТРИЖАМЕНТ»

Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е., Коровин А.А., Окрут С.В., Халикова В.А. 38

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ БИОЦЕНОЗОВ ПО СОСНЕ ОБЫКНОВЕННОЙ
(*PINUS SYLVESTRIS* L.)

Зыков И.Е., Федорова Л.В., Баранов С.Г., Ежкова В.Г. 44

ГЕНОТОКСИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ УГОЛЬНО-ПОРОДНЫХ
ПЫЛЕВЫХ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ТЧ10 И ТЧ0,1, ВЫДЕЛЕННЫХ
ИЗ ПРОБ СНЕГА, В КУЛЬТУРЕ КЛЕТОК А549

Ларионов А.В., Баранова Е.Д., Ощепкова К.И. 52

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМ ОТБОРА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОБ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНАХ:
СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Мискевич И.В., Котова Е.И., Лохов А.С., Нецветаева О.П. 58

К ВОПРОСУ О ТИПОЛОГИИ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРКОВ РОССИИ

Суржиков В.И., Мальцева К.А.63

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСНОМ СЕКТОРЕ

Сучков Д.К.69

Технические науки (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.9)**СТАТЬИ**ВЛИЯНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕКИ РОГАТКА
(ОСТРОВ САХАЛИН) НА ПЕРВИЧНУЮ ПРОДУКЦИЮ, ПОГЛОЩЕНИЕ
И ЭМИССИЮ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА РЕЧНОЙ ЭКОСИСТЕМОЙ

Латковская Е.М., Ретина М.А., Пестова А.О.74

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ МАССИВА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ
ПОД ВЛИЯНИЕМ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

Рожин И.И., Ефимов В.М., Степанов А.В., Степанов А.А.84

Физико-математические науки (1.6.22)**СТАТЬЯ**АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ КООРДИНАТ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПУНКТОВ,
ОПРЕДЕЛЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДИКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ
ООРДИНАТНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Макаров С.О., Тихонов А.Д.94

CONTENTS

Agricultural sciences (4.1.1. General farming and crop production)

ARTICLE

NEW VARIETIES AND HYBRIDS OF HERBACEOUS SORGHUM
AND THEIR ECONOMICALLY USEFUL SIGNS

*Bakhareva N.V., Gusev V.V., Khalikova M.M., Khramov A.V.,
Eskova V.S., Mustafina T.S., Dustanov I.V.*7

REVIEW

THE POSSIBILITIES OF STABILIZING THE BIOLOGICAL ACTIVITY
OF THE SOIL WITH THE USE OF ORGANIC, MINERAL FERTILIZERS,
MICROORGANISMS AND RESOURCE-SAVING TREATMENTS

Polous V.S., Stepanov S.P., Prokopova L.O., Osaulenko S.N.13

Agricultural sciences (4.1.6. Silviculture, forestry, forest crops, agroforestry, landscaping, forest pyrology and taxation)

ARTICLE

PARAMETERS OF GROWTH DYNAMICS OF POST-HARVEST
FIR STANDS IN THE KANSK FOREST-STEPPE

Kalachev V.A., Kozlov N.V., Vays A.A.20

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

ECO-LEASING IN CONVERGENT RECYCLING OF PRODUCTION WASTE

Gladun V.D., Babukova A.A.26

MAIN TRENDS AND ECONOMIC BASIS OF MIGRATION PROCESSES
IN THE NORTH-WESTERN PART OF RUSSIAN ARCTIC

Dyadik V.V.32

ASSESSMENT OF THE FLORISTIC STATE OF THE RESERVE «STRIZHAMENT»

Zelenskaya T.G., Stepanenko E.E., Korovin A.A., Okrut S.V., Khalikova V.A.38

PROPOSAL OF AN INTEGRATED ASSESSMENT
OF THE ECOLOGICAL STATE OF FOREST BIOCENOSSES
FOR THE COMMON PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

Zykov I.E., Fedorova L.V., Baranov S.G., Ezhkova V.G.44

GENOTOXIC EFFECTS OF CARBON-ROCK PM10 AND PM0.1
ISOLATED FROM SNOW SAMPLES IN A549 CELL CULTURE

Larionov A.V., Baranova E.D., Oshchepkova K.I.52

ENVIRONMENTAL SAMPLING SCHEMES OPTIMIZATION
IN HARD-TO-ACCESS ARCTIC AREAS: A STATISTICAL APPROACH

Miskevich I.V., Kotova E.I., Likhov A.S., Netsvetaeva O.P.58

ON THE QUESTION OF THE TYPOLOGY OF NATIONAL PARKS IN RUSSIA

Surzhikov V.I., Maltseva K.A.63

GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN THE FOREST SECTOR

Suchkov D.K.69

Technical sciences (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.9)**ARTICLES**

INFLUENCE OF HYDROCHEMICAL CONDITIONS OF THE ROGATKA RIVER (SAKHALIN ISLAND) ON THE ON PRIMARY PRODUCTION AND CARBON DIOXIDE FLUX

Latkovskaya E.M., Repina M.A., Pestova A.O.74

TEMPERATURE FIELD OF THE PERMAFROST SOILS UNDER THE EFFECT OF A GAS PIPELINE

Rozhin I.I., Efimov V.M., Stepanov A.V., Stepanov A.A.84

Physical and mathematical sciences (1.6.22)**ARTICLE**

ANALYSIS OF THE ACCURACY OF THE COORDINATES OF GEODETIC POINTS DETERMINED USING THE METHOD OF HIGH-PRECISION COORDINATE DEFINITIONS OF SATELLITE DATA PROCESSING

Makarov S.O., Tikhonov A.D.94

СТАТЬЯ

УДК 633.174:631.531

**НОВЫЕ СОРТА И ГИБРИДЫ ТРАВЯНИСТОГО СОРГО
И ИХ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПОЛЕЗНЫЕ ПРИЗНАКИ**

**Бахарева Н.В., Гусев В.В., Халикова М.М., Храмов А.В.,
Ескова В.С., Мустафина Т.Ш., Дустанов И.В.**

ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», Саратов, e-mail: raiser_saratov@mail.ru

Задачей исследований была оценка нового исходного материала для последующего размножения наиболее перспективных линий. Исследования проводились в 2018–2022 гг. на селекционных севооборотах ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» (г. Саратов) на черноземах южных и темно-каштановых почвах. В результате проведенных исследований оценены 3 сорта суданской травы и 4 сорго-суданковых гибрида, которые выделяются стабильной семенной продуктивностью родительских форм и высокой урожайностью и эффективно используют природные ресурсы. Они устойчивы к неблагоприятным условиям среды и технологичны. Сорго-суданковые гибриды Азимут, Болдинский, Хопер, Ларинский и сорт суданской травы Саратовская 1183 целесообразны для возделывания, так как имеют высокую продуктивность корма и хорошее качество зеленой массы. Гибрид стерильной линии суданской травы Бродская 2с с образцом 37–140 (суданская трава) и другие суданковые гибриды интересны с технологической точки зрения и требуют дальнейшего изучения. Травянистое сорго является перспективной кормовой культурой в условиях континентального климата нашей страны с периодическими засухами. Новые сорта травянистого сорго Ларинский, Азимут, Хопер и сорт суданской травы Саратовская 1183, а также сорт суданской травы Бродская 2с x 37–140 экономически эффективны для выращивания, это связано с высокой продуктивностью кормов и хорошим качеством силоса.

Ключевые слова: травянистое сорго, сорго-суданковые гибриды, суданская трава, сорта, селекция, урожайность, протеин, сахар

**NEW VARIETIES AND HYBRIDS OF HERBACEOUS SORGHUM
AND THEIR ECONOMICALLY USEFUL SIGNS**

**Bakhareva N.V., Gusev V.V., Khalikova M.M., Khramov A.V.,
Eskova V.S., Mustafina T.S., Dustanov I.V.**

*Federal Center of Agriculture Research of South – East Region, Saratov,
e-mail: raiser_saratov@mail.ru*

The objective of the research was to evaluate a new source material for the subsequent reproduction of the most promising lines. The research was carried out in 2018–2022 on breeding crop rotations of the FSBSO «Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region» (Saratov) on southern chernozems and dark chestnut soils. As a result of the conducted research, 3 varieties of Sudanese grass and 4 sorghum-Sudanese hybrids were evaluated, distinguished by high yields, stable seed productivity of parent forms and efficient use of natural resources. They are resistant to adverse environmental conditions and technologically advanced. Sorghum-Sudanese hybrids Azimut, Boldinsky, Khoper, Larinsky and the variety of Sudanese grass Saratov 1183 are suitable for cultivation, as they have high feed productivity and good quality of green mass. The hybrid of the sterile line of Sudanese grass Brodskaya 2c with sample 37–140 (Sudanese grass) and other Sudanese hybrids are interesting from a technological point of view and require further study. Herbaceous sorghum is a promising forage crop in the conditions of the continental climate of our country with periodic droughts. New varieties of herbaceous sorghum Larinsky, Azimut, Hopper and the variety of Sudanese grass Saratov 1183, as well as the variety of Sudanese grass Brodskaya 2c x 37–140 are economically effective for cultivation, this is due to high feed productivity and good silage quality.

Keywords: herbaceous sorghum, sorghum-Sudanese hybrids, Sudanese grass, variety, selection, yield, qualitative characteristics, protein, sugar

Травянистое сорго – это суданская трава и сорго-суданковые гибриды (ССГ). По концентрации природных сахаров и протеинов они превосходят большинство злаков. В сухом веществе зеленой корма, по литературным данным, содержится 7–12% протеина, 200–250 мг/кг каротина, до 18% сахаров [1, 2]. Это позволяет создать в рационе крупного рогатого скота и других видов животных оптимальное сахаропротеиновое соотношение. Кроме того, из зеленой массы сорговых культур заготавливают сенаж и силос, который по показателям питательности успешно соперничает с кукурузным, заго-

товленным в наиболее подходящей фазе молочно-восковой спелости. Благодаря способности растений накапливать в соке стеблей большое количество растворимых сахаров расширяются и потенциальные возможности этой культуры как источника сырья для производства кормового и пищевого сахара [3–5].

Как одни из наиболее засухоустойчивых культур особую ценность сорговые представляют для регионов с небольшим количеством осадков, в основном южных и юго-восточных. Выгодной биологической характеристикой сорго-суданковых гибридов является их способность быстро отрас-

тать после скашивания и выпаса крупного рогатого скота. В течение летнего периода в богарных условиях гибрид дает 2–3 укоса, а при условии систематического орошения – 3–4. Успешному внедрению травянистого сорго в производство в основном препятствуют недостаток высокоурожайных сортов, а также гибридов, с гарантированным получением их семян в зоне возделывания и, в большей степени, отсутствие налаженного семеноводства.

Засухоустойчивость и отличные кормовые признаки сорговых культур, безусловно, способствуют восстановлению кормовой базы животноводства [6, 7, 8].

Целью исследований является оценка нового исходного материала для последующего размножения наиболее перспективных в кормопроизводстве линий. Исследования проводились в 2018–2022 гг. на селекционных севооборотах ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» (г. Саратов) на черноземах южных и темно-каштановых почвах. В результате проведенных исследований оценены 3 сорта суданской травы и 4 сорго-суданковых гибрида, выделяющихся высокой урожайностью, стабильной семенной продуктивностью родительских форм и эффективно использующих природные ресурсы. Они устойчивы к неблагоприятным условиям среды и технологичны. Сорго-суданковые гибриды Азимут, Болдинский, Хопер, Ларинский и сорт суданской травы Саратовская 1183 целесообразны для возделывания, так как имеют высокую продуктивность корма и хорошее качество зеленой массы. Гибрид стерильной линии суданской травы Бродская 2с с образцом 37–140 (суданская трава) и другие суданковые гибриды интересны с технологической точки зрения и требуют дальнейшего изучения.

Материалы и методы исследований

Селекционные питомники, питомники отбора, а также предварительного размножения перспективных линий и гибридов располагались на полях кормового и селекционного севооборотов ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока».

Все работы проведены в 2018–2022 гг. по методикам Всероссийских научно-исследовательских институтов – кормов им. В.Р. Вильямса и растениеводства им. Н.И. Вавилова. В селекционном процессе ключевыми методами были для сортов – межсортная и межвидовая гибридизация, инцухт, индивидуальный отбор; для гибридов – сортолинейная и межлинейная гибридизация,

применение цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС). В качестве исходного материала применялись адаптивные, имеющие перспективные селекционные признаки и свойства сорта и линии местной селекции и других селекционных центров РФ (Кинельский НИИСС, Россорго, Зерноград), а также из мировой коллекции ВИРа, отличающиеся комплексной устойчивостью к неблагоприятным факторам среды [3]. Содержание сахаристости определяли в фазе полного выметывания рефрактометрическим методом на рефрактометре RL-2. Чтобы определить среднее значение сахаристости во всем стебле, отбирали пробы на анализ по принципу смешанного образца. Для составления смешанного образца от каждой части стеблей отбирали по два междоузлия и измельчали зеленую массу. Исследования проводили в четырехкратной повторности.

В конкурсном сортоиспытании (КСИ) исследовалось 3 сорта суданской травы и 4 сорго-суданковых гибрида. В ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» в селекции сорго-суданковых гибридов использовали мужскостерильные линии зернового и сахарного сорго, которые опылялись суданской травой. К полученным таким способом гибридам относятся: Азимут, Хопер, Болдинский, Ларинский.

Родительские формы сорго-суданкового гибрида Азимут и Ларинский – материнская – раннеспелые мужскостерильные линии зернового сорго Саратовская 35с и Саратовская 776-2с, отцовская – среднеспелые сорта суданской травы Камышинская скороспелая и Кинельская 90. У сорго-суданковых гибридов Хопер и Болдинский – материнская форма – мужскостерильная линия сахарного сорго Саратовская 3с, отцовские формы – суданские травы Воронежская 1 и Тугай соответственно [7].

Суданская трава Саратовская 1183 – многолинейный сорт-популяция – получен методом индивидуального отбора из F2 гибрида Саратовский силосный, свободно опыленного сортами суданской травы. Были выделены сложные сорго-суданковые гибриды. Дальнейший их инцухт и индивидуальный отбор с уклоном на повышенную семенную продуктивность дали ряд линий, наилучшие из которых были объединены в популяцию [7, 9, 10].

Зона проведения исследований характеризуется засушливо-континентальным климатом с преобладанием в течение года ясных и малооблачных дней. По средним многолетним данным, за год выпадает 391 мм осадков, среднегодовая температу-

ра +4,8°C, максимальная +41°C, минимальная -41°C [7].

У сорго корневая система мочковатая. От узла кущения корни расходятся во все стороны тонкими длинными нитями до 60–100 см. Корни, изменяя направление вниз, проникают вглубь почвы до 2–2,5 м. Проникновение корней на большую глубину – одно из свойств, объясняющих большую выносливость и высокую засухоустойчивость растения. Питание и влага добываются из более глубоких слоев почвы, которые недоступны для многих других растений. Корень сорго уже через 3 дня после всходов проникает глубже пахотного слоя [11].

В течение 30–35 дней после появления всходов у сорго идет интенсивный рост корневой системы – до 2–3 см в сутки, надземная же часть «сидит» и лишь после соответствующего развития корневой системы начинает быстро развиваться [11].

Результаты исследования и их обсуждение

Сорта суданской травы были более раннеспелыми в сравнении с сорго-суданковыми гибридами. Фазы выметывания в разные годы раньше других из изучаемых гибридов достигли Болдинский и Хопер, более позднеспелыми были гибрид Азимут и новый сорго-суданковый гибрид Ларинский.

Растения гибрида первого поколения сходны с растениями суданской травы. Гибрид отличается от раннеспелых сортов су-

данской травы более поздним, на 4–6 дней, выметыванием метелок, большей длиной и шириной листьев. Высота растений гибрида – 124–175 см, стебель с 8–9 междоузлиями, желтовато-зеленый. Листья линейные, длина 35–55 см, ширина – 3–6 см, окраска листовой пластины – темно-зеленая с белой жилкой. Метелка эллиптической формы, рыхлая темно-коричневая, почти черная. Зерно овальное пленчатое, колосковая чешуя черная. Гибрид Ларинский выделяется высокой облиственностью (22,5%) и повышенным содержанием сырого протеина – 9,72%. Гибрид устойчив к пыльной головне.

На рисунке 1 видно, что сорго-суданковые гибриды при большей высоте растений имели меньше стеблей с учетной площади. Тем не менее, урожайность их была больше, это говорит о том, что растения были более мощные. Урожайность сорго-суданковых гибридов выше, чем у суданской травы, по зеленой массе, а по сухому веществу примерно одинакова (табл. 1).

Максимальный урожай зеленой массы был у сорго-суданкового гибрида Ларинский (39,7 т/га), он превосходил все изучаемые сорта суданской травы и гибриды, причем значимое превышение было по сравнению с сортами суданской травы. Сбор сухого вещества сорго-суданкового гибрида Болдинский (14,68 т/га) существенно превышал все изучаемые варианты (8–14 т/га) (табл. 1).

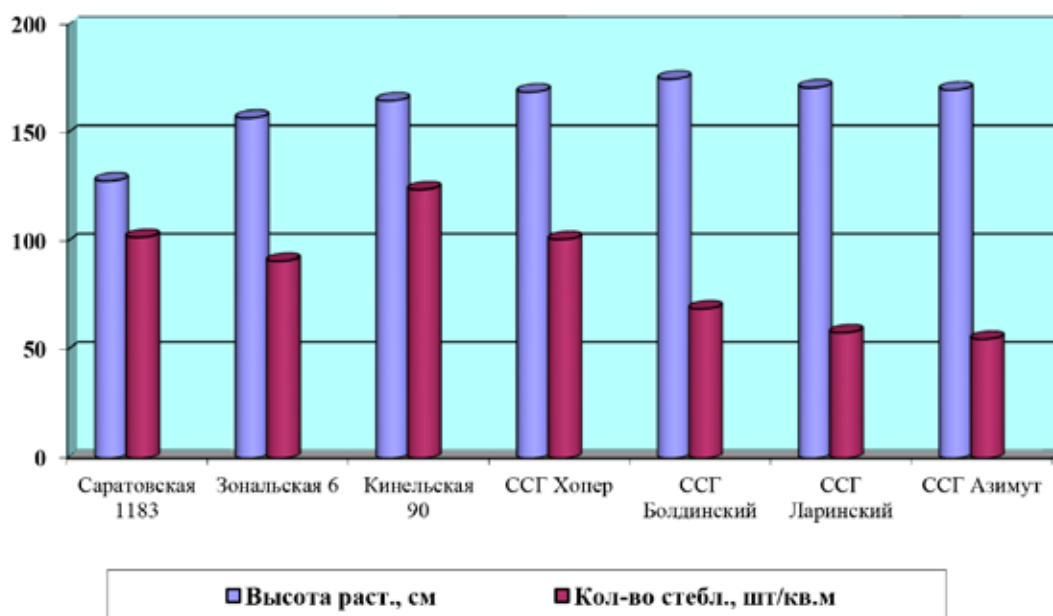


Рис. 1. Высота растений и количество стеблей в КСИ суданской травы и сорго-суданковых гибридов в среднем за 2019–2021 гг.

Таблица 1

Урожай зеленой массы и сухого вещества в КСИ суданской травы и сорго-суданковых гибридов в 2019–2021 г., т/га

№ п/п	Сорт, гибрид	Зеленая масса	Сухое вещество
1	Суданская трава Саратовская 1183	33,3	13,13
2	Суданская трава Зональская 6	26,6	8,74
3	Суданская трава Кинельская 90	27,5	11,29
4	Сорго-суданковый гибрид Хопер	34,3	12,37
5	Сорго-суданковый гибрид Болдинский	36,5	14,68
6	Сорго-суданковый гибрид Ларинский	39,7	11,76
7	Сорго-суданковый гибрид Азимут	35,9	11,74
НСР		5,2	2,4

Таблица 2

Качество зеленой массы суданской травы и сорго-суданковых гибридов, %

п/п	Сорт, гибрид	Облиственность*	Протеин**
1	Суданская трава Саратовская 1183	17,8	5,54
2	Суданская трава Зональская 6	20,2	5,69
3	Суданская трава Кинельская 90	20,7	5,22
4	Сорго-суданковый гибрид Хопер	18,8	5,51
5	Сорго-суданковый гибрид Болдинский	14,8	6,25
6	Сорго-суданковый гибрид Ларинский	22,5	9,72
7	Сорго-суданковый гибрид Азимут	16,7	5,35
НСР		4,6	3,4

Примечание: * – данные за 2019–2021 гг., ** – данные за 2018–2020 гг.

Такой морфологический признак, как облиственность, указывает на наличие в зеленой массе наиболее качественного компонента корма – листьев. Следует отметить, что в среднем за 2019–2020 гг. облиственность сорго-суданкового гибрида Ларинский была 22,5%, что оказалось выше остальных сортов и гибридов (14,8–20,7%) (табл. 2).

По содержанию протеина в корме лучшие показатели были у сорго-суданкового гибрида Ларинский (9,72%). Одной из причин такого превышения была хорошая облиственность у растений этого гибрида.

Быстрыми темпами роста и наибольшей мощностью растений отличаются сорго-суданковые гибриды первого поколения. Скоропелые родительские формы позволяют получать семена сорго-суданкового гибрида не только в Поволжском регионе, но и в некоторых зонах Волго-Вятского и Средневожского регионов.

При изучении наличия сахаров в корме отмечалось, что наибольшее их количество

содержалось у сорго-суданковых гибридов Хопер и Болдинский (13,6 и 13,2%), у гибридов Азимут и Ларинский их было 10,9% (рис. 2).

Следует отметить, что материнской формой гибридов Болдинский и Хопер была стерильная линия сахарного сорго Саратовское 3с, а у гибридов Азимут и Ларинский – стерильные линии зернового сорго Саратовское 35с и Саратовское 776-2с соответственно. Поскольку растения сахарного сорго содержат большее количество сахара в сравнении с зерновым сорго, эта качественная характеристика, по-видимому, передалась следующему поколению, то есть гибридам.

В контрольном питомнике сорго-суданковых гибридов изучались 8 гибридов, полученных от скрещивания МС-линий зернового, веничного сорго и суданской травы с опылителями – новыми линиями суданской травы и тонкостебельного сахарного сорго нашей селекции (табл. 3).

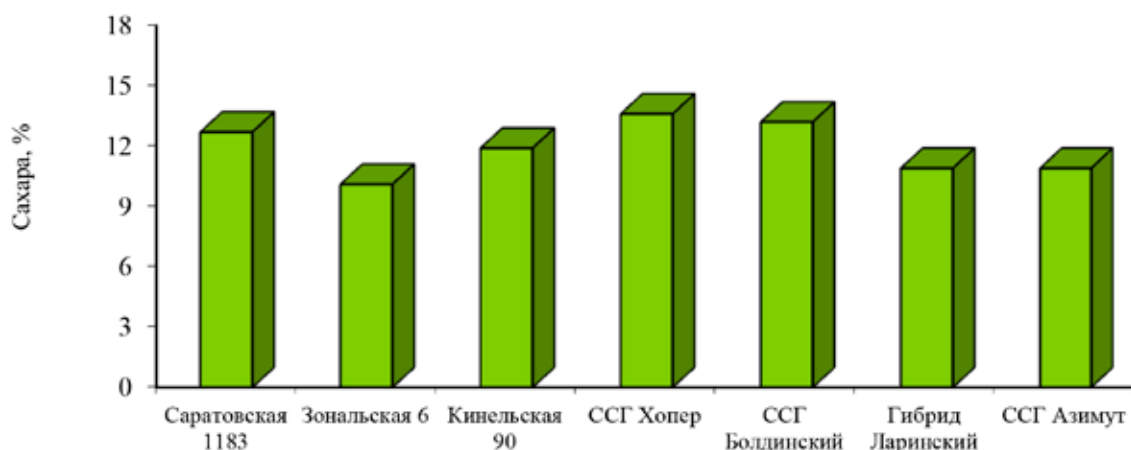


Рис. 2. Содержание сахаров в растениях суданской травы и сорго-суданковых гибридов, в среднем за 2019–2022 гг., %

Таблица 3

Урожай зеленой массы и сухого вещества сорго-суданковых гибридов в 2020 г., т/га

№ п/п	Сорт, гибрид	Зеленая масса	Сухое вещество
1	Сар.35с x 17-141 (191 г)	25,25	12,27
2	Сар.770с x 31-25 (209 г)	20,25	7,95
3	Сар.770с x 31-133 (248 г)	29,00	8,30
4	Сар.770с x 31-24 (208 г)	19,25	6,45
5	Хопер	31,25	10,62
6	Азимут	35,50	13,48
7	Бродская 2с x 37-140	29,25	10,68
8	Венич.МС x 38x6 (51 г)	25,25	11,95
	НСР	6,56	2,43

Особый интерес вызывают суданко-сорговые и суданковые гибриды, полученные от скрещивания сорго и суданки со стерильной линией суданской травы Бродская 2с. Эти гибриды интересны с технологической точки зрения, поскольку суданскую траву на семена можно убирать отдельным способом, исключая сушку. Так, в контрольном питомнике гибрид Бродская 2с x 37-140 (образец суданской травы) по урожаю зеленой и сухой массы был на уровне стандарта – сорго-суданкового гибрида Хопер (29 и 10,7 против 31 и 10,6 т/га). Полученные данные указывают на то, что необходимо продолжать работу в этом направлении.

Заключение

Допущенные к использованию сорго-суданковые гибриды (Азимут, Хопер и Болдинский) и новый гибрид Ларинский име-

ют раннеспелые родительские формы и при внедрении их в производство способны обеспечить животноводство стабильным и качественным кормом.

Гибрид Ларинский является более перспективным и имеет максимальные показатели по основным параметрам оценки сорго и сорго-суданковых сортов и гибридов.

Из контрольного питомника суданской травы и сорго-суданковых гибридов выделен перспективный гибрид стерильной линии суданской травы Бродская 2с x 37-140 (образец суданской травы), предназначенный на силос и зеленый корм, и он заслуживает внимания и изучения в дальнейшей селекционно-семеноводческой работе.

Список литературы

1. Муслимов М.Г. Агробиологические основы ресурсосберегающей технологии возделывания сорговых культур

на силос и зеленую массу в условиях Дагестана: дис. ... докт. с.-х. наук. Махачкала, 2003. 315 с.

2. Никитин И.А., Свечников А.Ю., Зоц А.Д., Алфимова А.Д., Татраев Д.А., Мириев М.О. Анализ применения зерна сорго и продуктов его переработки в технологии хлебобулочных и мучных кондитерских изделий // Технические науки – от теории к практике. 2016. № 12(30). С. 123-129.

3. Алабушев А.В., Шишова Е.А., Романюкин А.Е., Ермолина Г.М., Горпиниченко С.И. Происхождение сорго и развитие его селекции // Научный журнал КубГАУ. 2017. № 127(03). С. 18-22.

4. Дронов А.В., Бельченко С.А., Андриюшин Е.Н. Совершенствование технологии возделывания сорговых культур // Агротехнический вестник. 2015. № 5. С. 22-24.

5. Гаршин А.Ю. Изучение комбинационной способности сахарного сорго в тестерных скрещиваниях: дис. ... канд. с.-х. наук. Саратов, 2014. 315 с.

6. Гусев В.В., Ларина В.В., Петрова К.В., Храмов А.В., Халикова М.М., Эленбергер Р.А., Ескова В.С., Бахарева Н.В. История создания исходного материала сорго и многолетних трав в ФГБНУ «НИИ СХ Юго-Востока» // Аграрный Вестник Юго-Востока. 2017. № 1(16). С. 18-21.

7. Гусев В.В., Халикова М.М., Ескова В.С., Бахарева Н.В., Храмов А.В., Мустафина Т.Ш., Воронцова О.А. Сорговые культуры в кормопроизводстве // Аграрный вестник Юго-Востока. 2018. № 1(18). С. 59-62.

8. Рухлевич Н.В. Совершенствование приёмов возделывания сорго на зерно в условиях лесостепи среднего Поволжья: автореф. дис... канд. с.-х. наук 06.01.01. Кинель, 2017. 18 с.

9. Ескова В.С., Гусев В.В., Халикова М.М., Храмов А.В., Бахарева Н.В., Мустафина Т.Ш. Урожайность и качество сорго-суданковых гибридов // Экология, ресурсосбережение и адаптивная селекция: сборник докладов 3-й Всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов с международным участием. 2019. С. 24-29.

10. Морозов Е.В., Вертикова Е.А. Изучение исходного материала для селекции сорго-суданковых гибридов в условиях Поволжья // Вестник Саратовского агроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2012. № 10. С. 54-58.

11. Турулев В.В. Регулирование водного режима орошаемых обыкновенных черноземов при близком залегании уровня грунтовых вод: дис. ... д-ра с.-х. наук: Новочеркасск, 2008. 383 с.

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 631.51/.58:631.81/.83/.84/.85/.86

**ВОЗМОЖНОСТИ СТАБИЛИЗАЦИИ
БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ОРГАНИЧЕСКИХ, МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ,
МИКРООРГАНИЗМОВ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ОБРАБОТОК**

¹Полоус В.С., ^{2,3}Степанов С.П., ^{2,3}Прокопова Л.О., ⁴Осауленко С.Н.

¹ООО АПК, Кубань Агро, Свободное, e-mail: s.polous@list.ru;

²Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар;

³ООО Агрохимическая лаборатория, Новая Адыгея;

⁴Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь

Целью исследований было проведение анализа литературных источников по определению технологий, повышающих действие удобрений на биологическую активность почвы и растений. Получение устойчивых урожаев полевых культур зависит от применения органических и минеральных удобрений; препаратов на основе микроорганизмов; обработки почвы, оптимального севооборота. Эффект от применения навоза обусловлен высоким содержанием в нем грибов, бактерий, архей, простейших и других элементов. Но это полезное удобрение, цена на которое составляет от 400 руб./т, доступно только хозяйствам, имеющим определенную отрасль животноводства. В последние десятилетия, с введением запрета на сжигание стерни и переходом хозяйств на почвозащитные ресурсосберегающие технологии, поступлением в село нового поколения комбайнов, все земледельцы получили доступ к органическим удобрениям, которыми являются пожнивные остатки культур севооборота (или пожнивных посевов). Было установлено, что их запашка плугом нерациональна, так как неизмельченные послеуборочные остатки размещались в биологически малоактивном слое почвы. Кроме того, лишение почвы растительного покрова при отвальной вспашке не сдерживало водной и ветровой эрозии. Эти меры позволили оставлять на поверхности или заделывать измельченную органику в биологически активный слой почвы, 0–15 см, повысить содержание углерода и элементов питания для почвенных микроорганизмов, участвующих в обмене веществ в ризосфере полевых культур. В настоящее время на многих полях снижены видовое разнообразие и численность почвенной биоты, что делает целесообразным ее дополнительное внесение при протравливании семян, проведении подкормок и при защитных обработках. Эффективность минеральных удобрений зависит от способа их внесения и осадков. В больших количествах минеральные удобрения снижают агрофизические показатели, разрушают микробиологическую систему и гумус почвы.

Ключевые слова: органика, удобрения, микроорганизмы, ресурсосберегающие обработки, биологическая активность почвы

**THE POSSIBILITIES OF STABILIZING
THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF THE SOIL
WITH THE USE OF ORGANIC, MINERAL FERTILIZERS,
MICROORGANISMS AND RESOURCE-SAVING TREATMENTS**

¹Polous V.S., ^{2,3}Stepanov S.P., ^{2,3}Prokopova L.O., ⁴Osaulenko S.N.

¹OOOAPK, Kuban Agro, Svobodnoye, e-mail: s.polous@list.ru;

²Kuban State Agrarian University, Krasnodar;

³Agrochemical laboratory, New Adygea;

⁴Stavropol State Agrarian University, Stavropol

The purpose of the research was to analyze literature sources to determine technologies that increase the effect of fertilizers on the biological activity of soil and plants. Obtaining sustainable yields of field crops depends on the application of organic and mineral fertilizers; preparations based on microorganisms; tillage, optimal crop rotation. The effect of using manure is the result of a high content of fungi, bacteria, archaea, protozoa and other elements in it. But this useful fertilizer, the price of which is from 400 rubles / ton, is available only to farms that have a certain branch of animal husbandry. In the last decade, with the introduction of a ban on stubble burning and the transition of farms to soil-protecting resource-saving technologies, the arrival of a new generation of harvesters in the village, all land users have gained access to organic fertilizers, which are the crop residues of crop rotation crops (or crop crops). It was found that plowing them with a plow was irrational, since the non-crushed post-harvest residues were placed in a biologically inactive soil layer. In addition, the deprivation of soil vegetation cover during dump plowing did not deter water and wind erosion. These measures made it possible to leave crushed organic matter on the surface or seal it into a biologically active soil layer, 0-15cm., to increase the carbon content and nutrition elements for soil microorganisms involved in the metabolism in the rhizosphere of field crops. Currently, the species diversity and abundance of soil biota have been reduced in many fields, which makes it advisable to add it during seed pickling, fertilizing and protective treatments. The effectiveness of mineral fertilizers depends on the method of their application and precipitation. In large quantities, mineral fertilizers reduce agrophysical indicators; destroy the microbiological system and humus of the soil.

Keywords: organic matter, fertilizers, microorganisms, resource-saving treatments, biological activity of the soil

Общеэкономические тенденции по энергосбережению в последние десятилетия затронули и сельское хозяйство, в котором основным средством производства исторически является естественное почвенное плодородие, что требует от земледельцев всех форм собственности не допускать его разрушения, так как это отрицательно влияет на экологию и снижает доходы производства.

Вопросы влияния на плодородие и урожайность полевых культур органических, минеральных удобрений, препаратов на основе микроорганизмов и приемов обработки почвы являются актуальными в современном земледелии. Целью и задачей исследований стал анализ литературных источников по определению наиболее эффективных технологий при использовании различных органических и минеральных удобрений, микробиологических препаратов и различной основной обработки, которые в совокупности положительно влияют на биологическую активность почвы.

Материалы и методы исследований.

Авторы изучили опубликованные научные работы, а также передовую производственную практику; отметили достоинства и недостатки существующих технологий по применению различных средств повышения плодородия, в том числе биологических препаратов и приемов обработки почвы.

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно современным научным исследованиям и достижениям производства, более высокие урожаи полевых культур формируются на полях, где используются органические и в оптимальных дозах минеральные удобрения; а также внедрены почвозащитные способы основной обработки, в том числе прямой посев, которые препятствуют развитию водной и ветровой эрозии.

Продолжительный период в сельскохозяйственном производстве используются не только технические средства, семена, пестициды, но и органические, и минеральные удобрения, которые ежегодно закупаются на значительные суммы. А значит, от специалистов требуется владение знаниями по их наиболее рациональному применению.

Одним из распространенных средств плодородия является навоз. Его полезные свойства для урожая полевых культур использовали в Древней Руси, так как основу жизненного уклада славян на Дону еще

в VI веке составляли пашенное земледелие и скотоводство [1]. Уже в тот период крестьяне сталкивались с истощением пашни.

Ценность навоза КРС обусловлена особым составом микробиома рубца жвачных животных, где в 1 мл жидкости взаимодействуют тысячи микроорганизмов (грибы, бактерии и другие простейшие) [2]. Побочные продукты переработки содержат частицы переваренных кормов (0,25–0,5 мм), в связи с чем обладают высокой микробиологической активностью. В нем сохраняются и минеральные элементы воды, кормов и почвы. По отдельным данным [3], в свежем навозе содержится: азота 0,5%, фосфора 0,3%, калия 0,6% и другие полезные вещества. Следовательно, навоз крупного рогатого скота является сложной многокомпонентной живой структурой, обладающей комплексом полезных свойств для биоты почвы и растений. Способы компостирования и технологии внесения значительно влияют на его эффективность.

Академик Т.Г. Лысенко более 60 лет назад установил наличие полной взаимосвязи между сельскохозяйственными животными, сельскохозяйственными растениями и почвенными микроорганизмами полей [4].

По Краснодарскому краю в 2021 г. было внесено навоза 3691,7 тыс. т, что позволило удобрить оптимальными дозами до 3% пашни [5].

По расчетам авторов, хозяйствам, где сохранилось животноводство, выполнение комплекса работ по компостированию, хранению, перевалке, внесению и заделке навоза обходится от 400 руб./т, что при внесении 50 т/га формирует затраты в 20 тыс. руб./га и более. Однако при соблюдении технологии на каждом этапе, в том числе при использовании укомплектованных навозоразбрасывателей и немедленной заделке органики, происходит активация элементов плодородия почвы. Прибавки урожая культурных растений в течение 2–3 лет превышают таковые от применения минеральных удобрений.

Одним из примеров [6], подтверждающих благоприятное влияние органических удобрений на почву и растения, являются многолетние исследования по выращиванию подсолнечника при различном питании в Ростовской области (табл. 1).

Наиболее высокий сбор маслосемян – 2,48 т/га – был получен при внесении только органических удобрений. Использование сложных химических удобрений вызывало снижение урожайности этой культуры.

Таблица 1

Влияние органических и минеральных удобрений на урожайность подсолнечника в Белокалитвенском районе Ростовской области, т/га

Вариант	Среднее за 2015–2017 гг.	Прибавка к контролю, т/га
Контроль	1,95	–
Куриный помет, 10 т/га под осеннюю вспашку	2,48	0,53
N ₇₅ P ₇₅ K ₇₅ под предпосевную культивацию	2,33	0,38
НСР ₀₅		0,32

Многолетнее отсутствие поголовья КРС или других отраслей животноводства обусловило в большинстве хозяйств невозможность применять на полях собственную натуральную органику, что является одной из причин дальнейшего снижения биологической активности черноземов.

Возникшие проблемы с дефицитом навоза удалось повсеместно начать решать другими агротехническими приемами. Несколько десятилетий назад, с возрастанием экологических требований против сжигания пожнивных остатков, внедрением энергосберегающих обработок, в том числе прямого посева, и уборочной техники нового поколения появилась возможность управления пожнивными остатками убранных культур. Это позволило оставлять или поверхностно заделывать измельченную побочную продукцию в биологически активном слое почвы 0–10–15 см, а не запахивать плугом на глубину до 20 см и более, где отсутствуют условия для ее разложения [7]. Кроме того, поверхность почвы, лишенная отмерших растительных остатков или вегетирующих растений, всегда подвергается водной и/или ветровой эрозии различной интенсивности, ущерб от которой редко оценивается земледельцами.

Постоянное возвращение в почву растительных остатков значительно повышает количество элементов органического питания, в том числе углерода и других продуктов переработки, так необходимых для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов [8, 9]. Поэтому наличие разнообразных видов (порой 10 и более) растительных и корневых остатков на целинных землях создает оптимальные условия для функционирования различных микроорганизмов, взаимодействующих с корневыми выделениями (экссудатами) и улучшающих питание растений биологически доступными веществами [10]. На почвах, используемых для интенсивного сельскохозяйственного

производства, основанного на применении высоких доз химических удобрений, пестицидов, плужной обработке почвы, севооборотов с короткой ротацией (из 3–4 культур), в том числе насыщенных подсолнечником и/или сахарной свеклой, отмечаются заметное снижение супрессивной биоты и нарастание патогенной, что вызывает разрыв энергетических и пищевых связей между этими группами микроорганизмов. Изменяется корневое питание растений. Распространяются корневые и стеблевые болезни. Возникает необходимость применения фунгицидов [11, 12].

Основным путем решения сложившейся проблемы – необходимости повышения биологической активности почвы и ее плодородия, а также обеспечения устойчивого производства продуктов питания – являются насыщение почвы пожнивными и корневыми остатками и целенаправленное использование микробиологических препаратов высокого качества при протравливании семян и различных обработках вегетирующих растений [13].

Почему это так важно в интенсивно химическом земледелии XXI века? Это связано с их (органические остатки и комплекс микроорганизмов) многосторонним влиянием на биологические, агрофизические и химические свойства почвы.

Продукты жизнедеятельности микробы активно участвуют в создании агрономически ценной (10–0,25 мм в диаметре) почвенной структуры с высокой устойчивостью к разрушению осадками; одновременно возрастает водопроницаемость почв, увеличивается доступность биологических форм фосфора, калия, серы и других элементов питания; более активно формируется органическое вещество почвы [14]. Кроме того, с помощью микроорганизмов происходит разложение в почве и окружающей среде пестицидов и других вредных веществ [15].

Таблица 2

Влияние вспашки, поверхностной обработки почвы и прямого посева на количество и некоторый видовой состав грибов в ризосфере озимой пшеницы (при $N_{80}P_{52}$). Среднее 2015, 2016, 2017 гг.

Микомицеты	Количество КОЕ тыс. ед. в 1 г сухой почвы		
	Варианты		
	Вспашка 22–24 см контроль	Поверхностная вспашка 6–8 см	Нулевая вспашка (прямой посев)
trichoderma	3×10^{-3}	6×10^{-3}	6×10^{-3}
alternaria	2×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}
penicillium	2×10^{-3}	2×10^{-3}	1×10^{-3}
rizopus	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}
fuzarium	4×10^{-3}	3×10^{-3}	3×10^{-3}

Высокий потенциал для сохранения плодородия почв, накопленный пожнивными остатками, широко применяется за рубежом. Например, проведенные в Китае опыты [16] показали, что использование соломы и уменьшенного количества химических удобрений оказало положительное влияние на содержание углерода, формирование питательных веществ почвы и урожайность сельскохозяйственных культур.

Постоянное обогащение поверхностного слоя почвы растительно-корневыми остатками может происходить более интенсивно во многих регионах РФ, где климатические условия позволяют ежегодно высевать пожнивными культурами, которые технологически размещаются на полях, предназначенных для ярового сева [17, 18], а не только за счет культур севооборота.

По многолетним данным [19], полученным в центральной зоне Краснодарского края, установлены различия по интенсивности минерализации пожнивных и корневых остатков культур звена севооборота (лен масличный – озимая пшеница – могоар пожнивного посева и горох) и способом подготовки почвы. На участках без механической обработки (прямой посев) или только с поверхностным рыхлением почвы (6–8 см) складывались благоприятные условия для накопления органического вещества в количестве 2,20 т/га и 1,84 т/га соответственно, что было в 1,4–1,2 раза больше, чем при отвальной вспашке на 22–24 см.

Трехлетними исследованиями, выполненными на юге страны, доказана связь между способом и глубиной заделки пожнивных остатков и дифференцированием микроорганизмов в прикорневой зоне вегетирующих растений. Авторы [20] изучали влияние основной обработки чернозема

обыкновенного на почвенную микрофлору в прикорневой зоне озимой пшеницы, которая возделывалась в звене севооборота, и его влияние на урожайность зерновой культуры (табл. 2).

В ризосфере имелись две группы микомицетов. Количество супрессивной (*trichoderma*) и условно супрессивной (*penicillium*, *rizopus*) микоты по энергосберегающей обработке почвы и прямом посеве делянок суммарно составило $9 \cdot 8 \cdot 10^{-3}$ КОЕ тыс. ед. 1 г сухой почвы, что превышало данные показатели по варианту с отвальной вспашкой 22–24 см на 33–25% соответственно. В образцах также были обнаружены патогены (*fuzarium*, *alternaria*), которые встречались по всем вариантам основной обработки опытного участка, но преобладали на вспаханных на глубину 22–24 см делянках. По мнению авторов, в данном сообществе биологические объекты находились в состоянии жизнедеятельности друг для друга.

Для снижения потенциальной вредности патогенов на корнях и растениях зерновая культура обрабатывалась микробиологическими препаратами с фунгицидной активностью: вермисолом 1 л/га и НВ 101 5 мл/га, а также фунгицидом Колосаль Про 0,5 л/га, что положительно сказалось на результатах. Урожайность на вспаханных делянках составила 6,23 т/га, на поверхностно обработанных – 6,48 т/га и при прямом посеве – 6,05 т/га с $НСР_{0,5} = 0,11$.

Многие десятилетия в земледелии применяются минеральные удобрения, которые подготавливают для усвоения корневой системой растений почвенные микроорганизмы [21–23].

Использование определенного количества азотных, фосфорных и калийных удобрений, особенно в условиях достаточной

влагообеспеченности, способствует повышению качества и количества урожая [24]. Установлено, что при уборке основной и побочной продукции из почвы выносятся различные количества элементов питания [25]. Например, озимой пшенице требуется (по действующему веществу) на построение 1 т зерна и соломы азота 32,5 кг; фосфора 11,5 кг и калия 20 кг; гороху продовольственному на 1 т урожая необходимо азота 66 кг, фосфора 15,2 кг и калия 20 кг. Наиболее оптимальным является сочетание азота, фосфора и калия для полевых культур на черноземе в соотношении 1,5:1:1,0–0,5.

Действие питательных веществ из удобрений продолжается различный период, от 1 до 3 лет. При благоприятных условиях азот используется в первый год на 60–70%; калий – на 50–60%; фосфор – на 15–20% [26]. Однако в указанных материалах не комментируется связь количества используемых удобрений системой «почва – растение» в год внесения с приемами и способами основной обработки почвы.

В период вегетации полевые культуры используют преимущественно азотные удобрения. Азот способствует фотосинтезу, образованию аминокислот и белков. Нитратные формы азота из удобрений наиболее подвижны. Хорошо усваивается корнями растений азот в состоянии иона NO_3^- , а также в аммиачной форме, представленной ионом NH_4^+ , в процессе нитрификации с участием различных микроорганизмов. Азот из почвы в значительных количествах может вымываться и теряться при денитрификации. Фосфорные и калийные удобрения участвуют в фотосинтезе и росте растений. Различают органический и неорганический фосфор (из апатитов); обе формы малорастворимы в почве. Калий в почвах находится в относительно недоступной, медленно доступной и легкодоступной формах [27].

За многие десятилетия применения минеральных удобрений сложилась практика их внесения: поверхностная, локально – вместе с высевными семенами; сбоку семенам; внутрпочвенно между рядами семян. На низкую эффективность разбросного внесения удобрений под большинство полевых культур еще в 1950-х гг. указывал академик А.В. Соколов, считая его во многих случаях необоснованным и ведущим к непроизводительным затратам удобрений [28]. Аналогичные результаты получены и в более поздних исследованиях. По данным аграрного факультета университета Буэнос-Айреса [29], при поверхностном применении

до 65% от внесенного фосфора в сложных удобрениях остается в слое 0–5 см; в слое 5–10 см его количество не превышает 30%, а на глубину 10–20 см проникает лишь 5%.

Внесение одновременно с посевом двойной комбинации туков, состоящих из физиологически кислых азотных и труднорастворимых фосфорных (нитроаммофос) удобрений, на глубину 4–6 см повысит их эффективность, но предпочтительнее внести такие удобрения в слой почвы 10–15–20 см, в котором расположены активные корни растений, что создает их очаги, усиливает действие корней и работу микроорганизмов, существенно улучшает питание растений. В зонах неустойчивого и особенно недостаточного увлажнения урожай полевых культур зависит не только от содержания продуктивной влаги, но и от характера распределения в почве усвояемых форм питательных элементов [30].

В последние годы успешно применяются удобрения и другие препараты через многократные листовые подкормки по фазам вегетации культур [31]. При данном способе внесения намного сокращается период их поступления в растения – до нескольких часов. Для выполнения таких технологий возрастает потребность в наличии высокопроизводительных опрыскивателей и другого оборудования.

Увеличение посевных площадей по энергосберегающим технологиям и прямому посеву способствовало созданию новых форм сложных гранулированных и жидких удобрений и изучению более эффективных приемов их внесения [32]. Было установлено, что применение малоадсорбируемых почвой минеральных удобрений позволяет добиться заметного передвижения корней в пахотном и подпахотном слое без его предварительного рыхления и механического помещения в него удобрений, а только за счет сезонных осадков, под действием которых они достигнут слоя 0–30 см и глубже.

Отношение ученых и практиков к искусственным минеральным солям, используемым в качестве удобрений, с момента их появления и до настоящего времени остается неоднозначным.

По оценке некоторых исследователей [33, 34], внесение туков является полезным для почвы и растений, но это требует определенных затрат на их приобретение, особенно в последние годы. По другим данным [35], использование минеральных удобрений не способствовало существенному увеличению содержания гумуса за многолет-

ний период за одну ротацию севооборота, в котором не возделывались многолетние травы, но систематически вносили комплекс удобрений: $N_{60}P_{60}K_{60}$.

В отдельных публикациях анализируют возникающие проблемы по изучению и определению фосфатного состояния почв [36] и других элементов.

Также в значительном количестве научных работ указывается на отрицательное влияние несбалансированных доз минеральных удобрений на почвенный раствор и физические характеристики пахотного слоя почвы: потерю почвенного азота и ее биологической активности [37]; увеличение минерализации гумуса [38]; разрушение микробиологической системы почвы по количеству и видовой составу [39].

Несмотря на существующие проблемы в экологии, массовое применение минеральных удобрений будет продолжаться до тех пор, пока не будут использованы запасы апатитов и стоимость энергоносителей сделает невыгодным производство синтезированного азота [40].

За прошедшие десятилетия добавились знания по генной инженерии и о механизмах действия отдельных грибов и бактерий, способных увеличивать биологическую доступность питательных веществ почвы [41].

О необходимости поиска простых приемов использования валовых запасов фосфора, калия, серы и других элементов из пашни прозорливо говорили академик Д.Н. Прянишников более 70 лет назад [42] и кубанский профессор А.И. Симакин несколькими десятилетиями позже [43].

Научные исследования и производственная практика показывают, что в настоящий период существует совокупность простых технологических приемов, которые позволяют изменить неэффективную и разрушительную систему воздействий на биологическую активность и плодородие почвы. Современное успешное земледелие обусловлено не столько глубиной основной обработки почвы [44] и количеством примененных минеральных удобрений под полевые культуры [45, 46] сколько использованием органики и природного многообразия микроорганизмов [47, 48, 49, 50], а также систематической оценкой биологической активности и элементов плодородия почвы контрольных участков.

Выводы

1. Старые технологии, основанные на применении отвальной вспашки, высоких доз

минеральных удобрений, не препятствуют проявлению водной и ветровой эрозии, сохранению влаги, разрушению органического вещества и биологической активности почвы.

2. Энергосберегающие обработки при внесении навоза или наличии органических остатков, разнообразной микробиоты формируют биологически активный слой почвы.

3. Комбинированное действие органики, сообщества микроорганизмов, оптимальных доз химических удобрений в поверхностном слое почвы способствует обеспечению растений доступными формами питания; снижает экологическую нагрузку и помогает сохранению почвенного плодородия.

Список литературы

1. Седов В.В. Восточные Славяне в 6-13 веке. М.: Наука, 1982. 141 с.
2. Величко М.Г. Физиология сельскохозяйственных животных: курс лекций. Гродно: УО Гродненский государственный аграрный университет, 2011. С. 141-146.
3. Ковтун И.И. А как же быть с заделкой органических удобрений? // Земледелие. 1988. № 5. С. 21-22.
4. Лысенко Т.Д. Биологические основы применения удобрений // Вопросы питания растений и применения удобрений // Сельхозгиз. 1957. С. 183-205.
5. Росстат по Краснодарскому краю и Республике Адыгея. Пресс-выпуск от 09 марта 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://krsstat.gks.ru/> (дата обращения: 15.12.2022).
6. Турчин В.В., Сисин А.В., Баленко Е.Г. Действие компоста из куринного помета на урожайность и качество семян подсолнечника // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2017. № 4. С. 14-19.
7. Звягинцев Д.Г. Почвы и микроорганизмы. М.: Изд-во МГУ, 1987. 247 с.
8. Bais H.P., Perry L.G., Gilroy S., Vivanco J.M. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Anni. Rev. Plant. Biol.* 2006. № 57. P. 233-266. DOI: 10.1146annurev.arplant.57.032905.105159.
9. Куликова А.Х., Яшин Е.А., Хисамова К.Ч. Влияние соломы яровой пшеницы на урожайность ячменя и баланс элементов питания в черноземе типичном // Агрохимия. 2017. № 3. С. 48-57.
10. Фаизова В.И. Изменение свойств и микробиологических показателей черноземов Центрального Предкавказья при сельскохозяйственном использовании: дис. ... д-ра с.-х. наук. Ставрополь, 2016. С. 211-235.
11. Павлюшин В.А., Новикова И.И., Бойкова И.В. Микробиологическая защита растений в технологиях фитосанитарной оптимизации агроэкосистем: теория и практика // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. № 3. С. 421-438.
12. Селезнева Н.А., Тишкова А.Г., Федорова Т.Н., Савченко Н.Е., Асеева Т.А. Изменение химических и микробиологических свойств почвы при антропогенном воздействии в полевом севообороте // Достижение науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 6. С. 5-10.
13. Лебедева Т.Н., Масютенко Н.П., Семенов В.М., Когут Б.М., Зинякова Н.Б., Акименко А.С. Действие биологических способов оптимизации плодородия типичного чернозема на качество органического вещества // Агрохимия. 2018. № 7. С. 12-21.
14. Звягинцев Д.Г. Регуляция почвенных микробных сообществ и их воздействие на рост растений // Почвоведение. 2011. № 11. С. 1393-1394.
15. Поляк Ю.М., Сухаревич В.И. Почвенные ферменты и загрязнение почв: биодegradация, биоремедиация, биоиндикация // Агрохимия. 2020. № 3. С. 83-93.

16. Chen Zhu, Yue Jingjing, Hu Hongxiang, Yan Yainan, Di Yunfei. Effects of straw incorporation and reduction of chemical fertilizer on soil nutrients and crop yield in farmland. *SCIREA Journal of Agriculturs*. 2016. Vol. 1. No. 1. P. 124-134.
17. Марциняквичене А., Богужас В., Балните С., Пупалене Р., Величка Р. Влияние севооборотов, промежуточных посевов и органических удобрений на ферментативную активность почвы и содержание гумуса в органическом земледелии // *Почвоведение*. 2013. № 2. С. 219-225.
18. Полоус В.С., Осауленко С.Н. Могар в пожнивном посеве на черноземе обыкновенном центральной зоны Краснодарского края // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2021. № 2(62). С. 34-38.
19. Полоус В.С., Осауленко С.Н., Степанов С.П. Влияние способов и приемов обработки чернозема обыкновенного в звене севооборота: лен масличный – озимая пшеница – могар – горох на баланс гумуса // *Труды КубГАУ*. 2021. № 1 (88). С. 105-110.
20. Полоус В.С., Осауленко С.Н., Прокопова Л.О., Сокирко В.П. Влияние способов и приемов обработки чернозема обыкновенного на активность и разнообразие почвенной биоты и урожайность озимой пшеницы // *Труды КубГАУ*. 2020. № 6(87). С. 95-99.
21. Мерзляя Г.Н. Биологические факторы в системах удобрений // *Агрохимия*. 2017. № 10. С. 24-36.
22. Oleghe E., Naveed M., Baggs E.M., Hallett P.D. Residues with varying decomposability interact differently with seed or root exudate compounds to affect the biophysical behavior of soil. *Geoderma*. 2019. Vol. 343. P. 50-59.
23. Kooch Y., Ehsani S., Akbarinia M. Stratification of soil organic matter and biota dynamics in natural and anthropogenic ecosystems. *Soil&Tillage research*. 2020. Vol. 200. P. 5-12.
24. Лазарев В.И., Ильин Б.С., Лазерева Р.И., Золотарева И.А. Отзывчивость сельскохозяйственных культур на отдельные виды минеральных удобрений и их сочетания в длительном стационарном опыте // *Агрохимия*. 2017. № 2. С. 28-33.
25. Рыжих Л.Ю., Липатников А.И. Расчеты доз применения минеральных удобрений в севооборотах: методическое пособие / Казанский федеральный университет. Институт экологии и природопользования. Казань, 2018. 19 с.
26. Ульянова О.А., Белоусова Е.Н. Система применения удобрений: учебно-методическое пособие / ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет». Красноярск, 2017. 124 с.
27. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема. Майкоп: Изд-во ОАО «Полиграф-Юг», 2015. 229 с.
28. Соколов А.В. Распределение питательных веществ в почве и урожай растений. М.; Л.: АН СССР, 1947. 330 с.
29. Справочник по прямому посеву на открыты грунтах / Аграрный факультет, университет Буенос-Айрос, 2012. 159 с.
30. Трофимова Т.А. Научные основы совершенствования основной обработки и регулирования плодородия почв ЦЧР: дис. ... докт. с-х. наук. Воронеж, 2014. 399 с.
31. Шуинская И.А., Самсонова Н.Е., Антонова Н.А. Влияние корневого и foliarного питания растений минеральными удобрениями и соединениями кремния на показатели фотосинтетической деятельности и урожайность зерна яровой пшеницы // *Агрохимия*. 2017. № 2. С. 11-18.
32. Фокин А.Д. Роль растений в перераспределении веществ по почвенному профилю // *Почвоведение*. 1999. № 1. С. 125-133.
33. Васбиева М.Т., Ямалтдинова В.Р., Фомин Д.С. Влияние длительного применения систем удобрений на фракционный состава минеральных фосфатов и содержание подвижного фосфора по профилю дерново-подзолистой почвы // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021. № 2. С. 43-48.
34. Постников П.А., Попова В.В. Влияние удобрений на урожайность культур и вынос питательных элементов в зернопаросидеральном севообороте // *Агрохимия*. 2021. № 4. С. 42-48.
35. Зезюков Н.И., Острецов В.Е. Сохранение и повышение плодородия черноземов. Воронеж: Центр.-Чернозем. кн. изд-во, 1999. 312 с.
36. Христенко А.А. Проблема изучения фосфатного состояния почвы // *Агрохимия*. 2001. № 6. С. 89-95.
37. Савич В.И., Наумова Л.М., Муради Л.М., Трубицина Е.В. Скрытое отрицательное действие удобрений и мелиорантов // *Земледелие*. 1988. № 10. С. 24-26.
38. Еремин Д.И., Ахтямова А.А. Минерализация гумуса в пахотном черноземе при использовании минеральных удобрений // *Земледелие*. 2018. № 7. С. 16-18.
39. Сокирко В.П. Агробиологическое оздоровление почв Кубани – стабильный путь повышения урожая зерновых культур // *Труды КубГАУ*. 2014. № 3(48). С. 95-97.
40. Steffen W., Richardson K., Rockstrom J., Cornell S.E., Fetzer I., Bennett E.M. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science*. 2015. № 347. P. 1259855. DOI: 10.1126/science.1259855.
41. van der Heijden M.G.A., Bardgett R.D., Van Straalen N.M. The unseen majority|soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecol.Lett*. 2008. № 11. P. 296-310. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x.
42. Прянишников Д.Н. Об удобрениях полей в севооборотах. М: Издательство МСХ РСФСР, 1952. 255 с.
43. Симакин А.И. Удобрение, плодородие почв и урожай в условиях интенсивного земледелия. Краснодар: Краснодарское книжное изд-во, 1988. 270 с.
44. Козлов Е.М. Экологические проблемы в сельскохозяйственном производстве и некоторые соображения о путях их преодоления // *Материалы 5-ой международной научно-практической конференции / Центр научного знания «Лотос»*. Ставрополь, 2014. С. 4-15.
45. Хусайнов Х.А., Абасов М.Ш., Тунтаев А.В., Муртазалиев М.С., Завалин А.А. Изменение агрохимических показателей чернозема типичного при различных приемах обработки и использовании средств химизации и биологизации // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 6. С. 30-33.
46. Завалин А.А., Чернова Л.С., Сапожников С.Н., Коваленко А.А. Потребление растениями азота почвы при использовании удобрения, сидерата и биопрепарата (исследования $C^{15}N$) // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019. № 6. С. 36-39.
47. Байбеков Р.Ф. Природоподобные технологии – основа стабильного развития земледелия // *Земледелие*. 2018. № 2. С. 5-8.
48. Бережная В.В., Клыкков А.Г., Сидоренко М.Л., Слепцова Н.А., Тимофеева Я.О. Использование штаммов микроорганизмов для повышения урожайности яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 6. С. 3-6.
49. Котляров В.В., Котляров Д.В., Шулепина С.А. Основы биологизации агротехнологий. Краснодар: КубГАУ, 2021. 208 с.
50. Шабает В.П. Отзывчивость растений на применение азотфиксирующей бактерии в различных почвенных условиях // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021. № 4. С. 51-54.

СТАТЬЯ

УДК 630*566

ПАРАМЕТРЫ ДИНАМИКИ РОСТА ПОСЛЕРУБОЧНЫХ ПИХТОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В КАНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ**Калачев В.А., Козлов Н.В., Вайс А.А.***ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева», Красноярск, e-mail: kalacheff.vladis@yandex.ru*

В соответствии с поставленной целью определены и построены аппроксимирующие кривые роста основных таксационных показателей модальных послерубочных пихтовых древостоев Канского лесничества, сформировавшихся после проведения сплошных рубок. Построение регрессий производилось в программах Curve Expert 1.3 и Microsoft Office Excel. Для аппроксимации связей таксационных показателей ($H = f(A)$, $D_{1.3} = f(A)$) пихтовых насаждений подобраны парные нелинейные эмпирические уравнения (функция Modified Exponential), а для связи $M = f(A)$ использовалась функция роста Б. Гомпертца. В процессе исследования произведен сравнительный анализ хода роста послерубочных пихтовых насаждений с данными пихтовых древостоев Сибири по основным таксационным показателям. В результате исследования установлено следующее: в послерубочных насаждениях формируются пихтово-лиственные (чаще лиственно-пихтовые) древостои, которые значительно отличаются по составу от материнских древостоев и подпологового подроста. Динамика послерубочных показателей диаметров и запасов пихтачей существенно отличается от текущих показателей дорубочных (коренных) пихтовых насаждений. При этом ростовые процессы в высоту идентичны, что указывает на однородность условий местопроизрастания. Высокий запас послерубочных пихтачей объясняется смешанным составом и высокой плотностью формирующихся древостоев. Нормативы послерубочных пихтовых насаждений существенно отличаются по ходу роста от общих таблиц, составленных для модальных пихтовых древостоев Сибири. Результаты исследований возрастной динамики основных таксационных показателей модальных послерубочных пихтовых насаждений Канской лесостепи необходимо учитывать при проведении лесохозяйственных мероприятий по уходу за лесом, повышении продуктивности пихтовых древостоев, а также при назначении сплошных рубок в коренных (дорубочных) древостоях.

Ключевые слова: пихта сибирская (*Abies sibirica* L.), ход роста, регрессионные модели, таксационные показатели, сплошные рубки

PARAMETERS OF GROWTH DYNAMICS OF POST-HARVEST FIR STANDS IN THE KANSK FOREST-STEPPE**Kalachev V.A., Kozlov N.V., Vays A.A.***M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technologies, Krasnoyarsk, e-mail: kalacheff.vladis@yandex.ru*

In accordance with this goal, the approximating growth curves of the main taxation indicators of the modal post-harvest fir stands of the Kansk forestry formed after continuous logging were determined and constructed. The regressions were built in the program Curve Expert 1.3 and Microsoft Office Excel. Paired nonlinear empirical equations (the "Modified Exponential" function) were selected to approximate the relationship of taxation indicators ($H = f(A)$, $D_{1.3} = f(A)$) of fir plantations, and the growth function of B. Gompertz was used for the relationship $M = f(A)$. In the course of the study, a comparative analysis of the growth of post-harvest fir plantations with the data of Siberian fir stands on the main taxation indicators was carried out. As a result of the study, the following was established: in post-harvest plantations, fir-deciduous (more often deciduous-fir) stands are formed, which differ significantly in composition from the parent stands and the undergrowth. The dynamics of post-harvest indicators of diameters and stocks of fir trees differ significantly from the current indicators of pre-cutting (indigenous) fir plantations. At the same time, the growth processes in height are identical, which indicates the uniformity of the growing conditions. The high stock of post-harvest firs is explained by the mixed composition and high density of the emerging stands. The standards of post-harvest fir stands differ significantly in the course of growth from the general tables compiled for modal fir stands in Siberia. The results of studies of the age dynamics of the main taxation indicators of modal post-harvest fir plantations of the Kansk forest-steppe should be taken into account when carrying out forestry measures to care for the forest, increase the productivity of fir stands, as well as when assigning continuous logging in indigenous (pre-logging) stands.

Keywords: *Abies sibirica* L., the course of growth, regression models, taxation indicators, solid logging

В постсоветский период разработано достаточное количество нормативов хода роста лесных насаждений (нормальные, модальные), основанных на бонитетной и типологической основе. Таблицы хода роста имеют общий и местный характер. В настоящее время в связи с изменением климатических условий и антропогенным воздействием нормативы хода роста нуждаются в актуализации.

Соответствующие работы по актуализации таблиц проводятся исследователями в области лесной таксации [1–4]. Нормативы разрабатываются на локально-территориальном уровне, имеют определенные отклонения от региональных таблиц хода роста. Ряд ученых представили методические особенности и показатели роста искусственных лесных насаждений [5–7].

Необходимо отметить, что с учетом технологических новаций в развитии лесной отрасли на территории Средней Сибири активизируются процессы быстрого освоения лесных участков со значительным изъятием древесной биомассы. В результате возникает проблема необходимости изучения формирования и прогноза динамики, закономерностей и особенностей роста хвойных и лиственных насаждений после

проведения сплошных рубок в различных типолого-территориальных условиях.

Цель исследования – оценка таксационных показателей послерубочных пихтовых насаждений на основе регрессионных уравнений в условиях Канской лесостепи.

Материалы и методы исследования

Объект изучения – пихтовые насаждения после сплошных рубок.

Таблица 1

Таксационная характеристика послерубочных насаждений с учетом периода после рубки

Период после рубки, лет	Состав	Порода	Д, см	Н, м	А, лет	Полнота	Бонитет	Тип леса	М, м ³ /га
до 20	47Б(65)30П(35)19Е4К	Б	18,6	19,9	65	0,8	2	Б _{ВЕЙН}	166
		П	11,9	11,8	35				
	78П(45)18К4Е	П	13,3	13,1	45	0,8	3	П _{ВЕЙН}	150
	77П(30)15Б7Е1К	П	10,9	10,4	30	0,6	2	П _{ВЕЙН}	84
	71П(25)18Б11Е	П	9,3	9,8	25	0,6	3	П _{ВЕЙН}	71
48П(25)44Б5Е3К	П	9,2	9,1	25	0,5	3	П _{ВЕЙН}	56	
21-40	61Ос(40)21К18П(35)	Ос	9,8	12,7	40	0,5	2	Ос _{РТ}	73
		П	12,0	11,4	35				
	45П(25)44Ос7Б4К	П	10,2	9,0	25	0,9	3	П _{РТ}	110
	86П(25)8Е4Ос2Б	П	9,9	10,3	25	0,6	3	П _{РТ}	86
	68П(25)23Ос4К4Е1Б	П	9,2	10,8	25	0,8	3	П _{РТ}	111
	40К(80)29П(40)17Ос10Б4Е	К	26,2	18,2	80	0,9	3	К _{РТЗМ}	252
		П	11,4	10,6	40				
	24Ос(60)23Б22П(35)19К12Е	Ос	15,5	18,9	60	0,6	2	Ос _{РТЗМ}	176
		П	9,9	10,3	35				
	51П(50)29К15Е5Ос	П	12,9	12,4	50	1,0	3	П _{РТЗМ}	221
51П(50)28К13Ос5Б4Е	П	11,6	12,0	50	0,9	3	П _{РТЗМ}	180	
46К(80)30П(45)19Ос3Б2Е	К	24,8	15,5	80	0,8	3	К _{РТЗМ}	162	
	П	9,8	11,1	45					
41-60	77Б(65)15П(40)Е3К ед Ос	Б	14,4	16,4	65	1,2	3	Б _{РТ}	189
		П	11,0	9,0	40				
	51П(80)29К13Б7Е	П	26,3	21,0	80	0,7	4	П _{РТ}	221
	72Б(65)18Е5П(75)5К	Б	18,5	17,9	65	1,0	3	Б _{РТ}	209
		П	16,7	14,0	75				
	41Б(65)35Е14К10П(55)	Б	16,4	16,4	65	0,9	3	Б _{РТ}	226
		П	12,6	12,5	55				
49П(80)24Б15Е12К	П	22,9	18,3	80	0,9	3	П _{РТ}	221	
40Б(65)40П(80)16К4Е	Б	13,6	13,6	65	1,2	3	Б _{РТ}	242	
	П	20,3	16,5	80					

Примечание: Д – средний диаметр, см; Н – средняя высота, м; А – возраст, лет; П_{ВЕЙН} – пихтач вейникового типа леса; П_{РТЗМ} – пихтач разнотравно-зеленомошного типа леса; П_{РТ} – пихтач разнотравного типа леса; Б_{ВЕЙН} – березняк вейникового типа леса; Ос_{РТ} – осинник разнотравного типа леса; К_{РТЗМ} – кедряч разнотравно-зеленомошного типа леса; Б_{РТ} – березняк разнотравного типа леса.

Для реализации поставленной цели отобрано 46 лесных участков (лесосеки), территориально расположенных в Таежном участке лесничества Канского лесничества, на которых в период с 1961 по 2015 г. проведены сплошные рубки пихтовых древостоев.

Таксационная характеристика послерубочных насаждений получена в результате полевых и камеральных работ в 2020 г. (табл. 1), а также анализа лесных участков арендованных территорий 2018 г.

Послерубочные насаждения характеризуются разнотравной группой типов леса вне зависимости от преобладающей древесной породы (пихта, кедр, береза и осина). Насаждения смешанные. При этом доминируют по составу пихтачи, затем березняки, кедрячи и осинники. Послерубочные пихтачи развиваются по 3-му классу бонитета. Закономерности, связанные с изменением количественных показателей насаждений после периода рубки (до 20 лет, 21–40 лет, 41–60 лет), выявляются не явно, поскольку древостои формируются как из предшествующих, так и последующих генераций подроста. Следует отметить, что насаждения после 41–60 лет характеризуются высокой полнотой (0,7–1,2).

Возрастная последовательность естественного восстановления лесных участков Канского лесничества после сплошной рубки изображена на рис. 1.



Рис. 1. Восстановительные стадии послерубочных пихтовых насаждений

Прогнозирование роста основных таксационных показателей выполнялось на основе научно-методических рекомендаций отечественных авторов [8, 9].

Проведение статистического анализа данных и подбор аппроксимирующих кри-

вых выполнялись в программах Microsoft Office Excel, Curve Expert 1.3.

Результаты исследования и их обсуждение

Для представления об особенностях до-рубочных насаждений выполнена статистическая оценка пихтовых древостоев на исследуемой территории:

- состав (количество преобладающего пихтового элемента леса в составе древостоя 7 единиц (диапазон 6–9 единиц), сопутствующие элементы представлены породами ель, кедр, береза (вариация в составе от 1 до 4 единиц));

- средний возраст – 128 ± 5 лет (возрастной диапазон насаждений 100–160 лет);

- средний диаметр – $19,9 \pm 0,7$ см (размах средних диаметров от 16 до 26 см);

- средняя высота – $19,1 \pm 0,4$ м (вариация 17–22 м);

- средний класс бонитета $IV \pm 0,1$ (III–IV);

- средняя полнота $0,8 \pm 0,02$ (интервал полнот 0,6–0,9);

- средний запас насаждений – $234 \pm 7,7$ м³/га (от 170 до 260 м³/га);

- насаждения преимущественно относятся к зеленомошниковой группе типов леса;

- состав подроста (количество главного пихтового элемента в составе 8 единиц (диапазон 6–10 единиц), сопутствующие – ель, кедр, береза 1–4 единицы);

- средний возраст подроста 20 ± 3 года (10–35 лет);

- средняя высота подроста – $1,5 \pm 0,2$ м (1,0–3,5 м);

- средняя густота подроста $5,6 \pm 0,8$ тыс. шт./га (2,0–15,0 тыс. шт./га).

Применительно к послерубочным насаждениям установлены следующие диапазоны таксационной характеристики:

- по составу (в среднем количество пихтового элемента леса в составе насаждений составило 5 единиц (лимит представленности от 3 до 8 единиц);

- сопутствующими или преобладающими элементами леса являлись ель, кедр, береза, осина; вариация в составе 2–7 единиц;

- диапазон возраста пихтовых древостоев 5–100 лет;

- средний диаметр пихтачей от 2 до 26 см;

- средняя высота пихтовых насаждений 3–21 м;

- класс бонитета III;

- полнота насаждений 0,4–1,0;

- средний запас насаждений 5–252 м³/га;

- насаждения относятся к разнотравной группе типов леса.

На первом этапе статистически обработаны основные средние таксационные показатели послерубочных пихтовых насаждений (диаметр, высота, и запас) по периодам после рубки (табл. 2).

Необходимо отметить, что таксационные показатели формирующихся древостоев до 20 лет имеют большую изменчивость и, соответственно, высокую точность опыта (14,0–28,8%). Объяснить это можно наличием на вырубках подроста как предшествующей, так и последующей генерации. Выборки «21–40» и «41–60» лет репрезентативны (максимальная точность опыта не превысила 11,2%).

Следующий этап – это получение прогнозного сценария динамики основных таксационных показателей модальных послерубочных пихтовых насаждений Канской лесостепи. Для этого использовались парные нелинейные трехпараметрические уравнения (функция Modified Exponential (1, 2 типа) и функция роста Б. Гомпертца (3)).

С целью объективного получения прогноза динамики роста послерубочных пихтовых насаждений в качестве входной переменной использовали возраст, а выходные переменные – диаметр, высота и общий запас насаждения (вне зависимости от преобладающей породы в составе).

$$D = 33,69 * e^{(-43,8155/A)}, \quad (1)$$

где D – диаметр, см;
A – возраст, лет.

Экспоненциальное уравнение. Коэффициент корреляции составил 0,82. Стандартная ошибка – 3,3 см. Уравнение достоверно, поскольку критерий Фишера (F) составил 36. Все коэффициенты значимы ($p < 0,05$). Диапазон действия возраста древостоя 5–100 лет.

$$H = 23,69 * e^{(-31,744878/A)}, \quad (2)$$

где H – высота, м;
A – возраст, лет.

Экспоненциальное уравнение. Коэффициент корреляции составил 0,76. Стандартная ошибка – 2,9 м. Уравнение достоверно, так как $F_{\phi} (90) > F_{\text{таб}} (\geq 5)$. Все коэффициенты значимы ($p < 0,05$). Диапазон действия возраста древостоя 5–100 лет.

$$M = AS/10^{10^{(-0,0222+0,4232/A)}}, \quad (3)$$

где M – запас, м³/га;
A – возраст, лет;
AS – расстояние между нижней и верхней асимптотами запаса (252 м³/га).

Уравнение Гомпертца. Коэффициент корреляции составил 0,98. Стандартная ошибка – 55 м³/га. Уравнение достоверно $F = 24$. Все коэффициенты уравнения значимы, поскольку $p < 0,05$. Диапазон действия уравнения A = 5–100 лет.

Модальные пихтаци зеленемошниковой группы типов леса III и IV класса бонитета являются коренными дорубочными насаждениями, в которых в возрасте спелости и перестойности назначаются сплошные рубки.

Таблица 2

Показатели описательной статистики таксационных показателей послерубочных насаждений по временным периодам рубки (лет)

Таксационный показатель	Среднее арифметическое	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %	Точность опыта, %
до 20 лет				
Диаметр, см	5,3±0,94	2,83	53,0	17,7
Высота, м	5,1±0,72	2,15	42,0	14,0
Запас, м ³ /га	24±7,0	21,1	86,4	28,8
21–40 лет				
Диаметр, см	10,8±0,33	1,3	12,1	3,0
Высота, м	10,7±0,30	1,19	11,2	2,8
Запас, м ³ /га	149±16,6	66,4	44,7	11,2
41–60 лет				
Диаметр, см	21,6±2,03	4,06	18,8	9,4
Высота, м	17,4±1,47	2,95	16,9	8,5
Запас, м ³ /га	230±14,2	34,8	15,1	6,2

Примечание: оценка получена при уровне доверительной вероятности $p = 0,954$.

Таблица 3

Ход роста дорубочных и послерубочных пихтачей
Канского лесничества и пихтовых древостоев Сибири

Таксационные показатели	Возраст, лет											
	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Среднесибирский подтаежно-лесостепной район (КГБУ «Канское лесничество»)												
Модальные послерубочные пихтачи разнотравные (III класс бонитета)												
Диаметр, см	–	0,4	1,8	3,8	7,8	11,3	14,0	16,2	18,0	19,5	20,7	21,7
Высота, м	–	1,0	2,9	4,8	8,2	10,7	12,6	14,0	15,0	15,9	16,6	17,2
Запас, м ³ /га	2	7	15	28	68	115	157	190	213	228	237	243
Модальные дорубочные пихтачи зеленомошниковые (III–IV класс бонитета)												
Диаметр, см	–	–	–	5,8	8,2	10,5	12,4	14,2	15,8	17,3	18,6	19,7
Высота, м	–	–	–	5,9	8,3	10,5	12,3	14,0	15,5	16,7	17,9	18,9
Запас, м ³ /га	–	–	–	32	58	89	119	147	171	189	204	215
Модальные пихтачи средне- и южнотаежных экорегионов Среднесибирского плоскогорья (III класс бонитета)												
Диаметр, см	–	–	–	3,1	6,5	10,2	13,6	16,7	19,3	21,4	23,1	24,4
Высота, м	–	–	–	4,2	7,7	10,9	13,8	16,2	18,1	19,6	20,8	21,7
Запас, м ³ /га	–	–	–	17	47	86	125	160	188	210	227	240
Модальные пихтачи горных экорегионов юга Центральной Сибири (III класс бонитета)												
Диаметр, см	–	–	–	–	8,5	12,6	16,1	19,0	21,3	23,0	24,3	25,2
Высота, м	–	–	–	–	9,0	12,5	15,4	17,5	19,1	20,3	21,1	21,7
Запас, м ³ /га	–	–	–	–	66	105	140	169	192	209	223	233

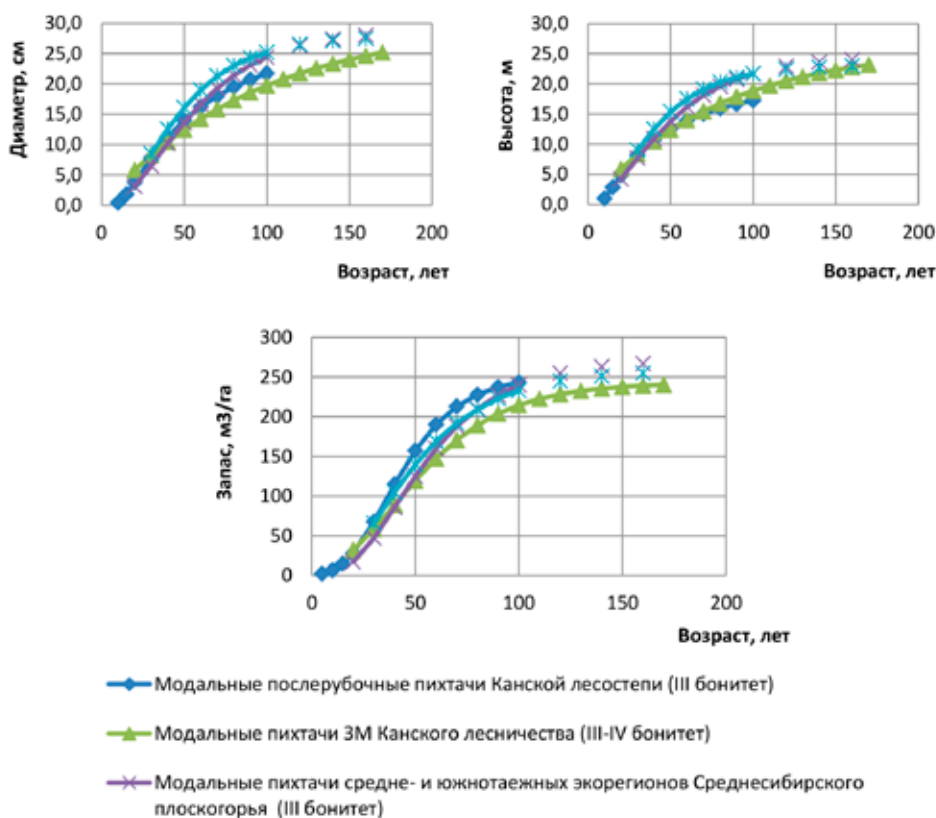


Рис. 2. Сравнительный анализ хода роста таксационных показателей пихтовых древостоев

Сравнение данных хода роста дорубочных и послерубочных пихтовых насаждений Канского лесничества выполнялось с данными хода роста древостоев пихты Сибири [10, 11] и представлено в табл. 3 и на рис. 2.

Визуальное представление линий развития пихтачей (рис. 2) позволяет установить следующие особенности роста. Отличие кривой диаметров послерубочных насаждений от динамики кривых в дорубочных условиях (в естественных условиях места произрастания), объясняется высокой густотой и активным ростом послерубочной генерации пихтового подроста, а также высокой сохранностью благонадежного подроста предшествующей генерации.

Динамика высот пихтачей послерубочных (зеленомошниковых) и дорубочных (зеленомошниковых) имеет идентичную кривизну линии роста (условия меняются незначительно). Различие кривых в возрасте 80–90 лет связано с сукцессионным циклом (циклическостью пихтовой представленности в составе древостоя) по причине естественного отпада деревьев пихты, являющихся ранее подростом предшествующей генерации (для них наступает стадия распада).

Кривая запасов послерубочных насаждений выше сравниваемых линий, что объясняется высокой густотой, составом древостоя (преобладание лиственных пород), более высоких диаметров. Активный рост по запасу наблюдался в возрастном периоде 25–75 лет, и, в свою очередь, к 100 годам величина достигла своего максимума. Это связано с интенсивным ростом лиственных пород. Далее начинается сукцессионная стадия формирования из лиственных пихтовых насаждений.

Кривые средних диаметров и высот пихтачей Канского лесничества расположены ниже соответствующих линии для условий средне- и южнотаежных экорегионов Среднесибирского плоскогорья и горных экорегионов юга Центральной Сибири, исключением явилась регрессия запасов.

Заключение

В результате проведенного исследования получен ряд выводов.

– В послерубочных насаждениях происходит формирование пихтово-лиственных (чаще лиственно-пихтовых) древостоев, сильно отличающихся по составу от материнских древостоев и подпологового подроста. Количество пихтового элемента в насаждениях по мере роста увеличивается за счет прироста последующей генерации.

– Получен ряд регрессионных уравнений, прогнозирующих динамику роста основных таксационных показателей фор-

мирующихся послерубочных пихтовых насаждений Канского лесничества до 100 лет после проведения сплошных рубок.

– Динамика роста средних диаметров и запасов послерубочных пихтачей существенно отличается от дорубочных (коренных) пихтовых насаждений. По высоте эти древостой идентичны, что указывает на однородность условий местопроизрастания. Но при этом высокий запас послерубочных пихтачей объясняется смешанным составом и высокой густотой формирующихся древостоев.

– Ход роста дорубочных и послерубочных насаждений отличается от действующих нормативных таблиц применительно к возрастной динамике модальных пихтовых древостоев Сибири.

Результаты возрастной динамики основных таксационных показателей послерубочных модальных пихтовых насаждений необходимо учитывать при проведении сплошных рубок в условиях Канской лесостепи, а также для организации мероприятий по уходу с целью повышения продуктивности пихтовых древостоев.

Список литературы

1. Третьяков С.В., Горбунов А.А., Феклисов П.А. Ход роста смешанных модальных среднетаежных насаждений с преобладанием сосны в Архангельской области // Известия высших учебных заведений. 2013. № 5. С. 47–53.
2. Турчин Т.Я., Завгородняя А.С. Ход роста чистых и смешанных насаждений тополя белого в пойме Дона // Лесоведение. 2013. № 1. С. 23–29.
3. Батвенкина Т.В. Регрессионные модели хода роста основных лесообразующих пород Кюндинского лесничества // Хвойные бореальные зоны. 2015. Т. 33. № 3–4. С. 116–121.
4. Ветошкина И.Н., Вайс А.А., Батвенкина Т.В. Ход роста лиственных насаждений в условиях Алтае-Саянского горно-лесного района // Хвойные бореальные зоны. 2019. Т. 37. № 5. С. 284–288.
5. Осипенко А.Е., Залесов С.В. Ход роста в высоту и по диаметру искусственных сосновых насаждений в зависимости от положения на рельефе // Молодой ученый. 2016. № 1 (105). С. 273–276.
6. Басакова И.Н. Ход роста искусственных насаждений сосны обыкновенной в условиях Бузулукского бора // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике: материалы XV международной научно-практической конференции, (Кемерово, 06–07 декабря 2016 г.). С. 718–722.
7. Старунова Н.А., Ким Е.Э. Ход роста искусственных насаждений лиственницы Даурской // Современные технологии воспроизводства экологической среды на урбанизированных территориях: материалы международной научно-практической студенческой конференции (Хабаровск, 11–16 октября 2016 г.). Хабаровск, 2016. С. 77–81.
8. Моисеев В.С., Мошкалева А.Г., Нахабцев Н.А. Методика составления таблиц хода роста и динамики товарной структуры модальных насаждений. Л.: ЛенЛТА, 1968. 87 с.
9. Семечкин И.В. Опыт использования данных глазомерной таксации для изучения динамики насаждений // Организация лесного хозяйства и инвентаризация лесов: сб. ст. Вып. 1. Красноярск, 1962. С. 119–131.
10. Калачев В.А., Вайс А.А. Ход роста модальных пихтовых насаждений в различных типологическо-территориальных группах // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 1 (103). Ч. 2. С. 107–114.
11. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Нильссон С., Булуй Ю.И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород северной Европы // Нормативно-справочные материалы. 2-е изд., доп. М., 2008. С. 887.

СТАТЬИ

УДК 658.567.1:575.834

**ЭКОЛИЗИНГ В КОНВЕРГЕНТНОМ РЕЦИКЛИНГЕ
ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА****Гладун В.Д., Бабукова А.А.***Егорьевский технологический институт (филиал)**ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»»,**Егорьевск, e-mail: nastyusha-zadumina@yandex.ru*

Переработка отходов бизнес-процессов минеральных удобрений лимитирует устойчивость развития техносферы, ограниченной проблемами экологической безопасности производства. Массовые объемы ежегодных накоплений указанных отходов достигают миллионов тонн и продолжают расти в связи с демографической эволюцией населения и снижением плодородия почвы. Затраты на хранение и логистику отходов производства измеряются сегодня уже миллиардами рублей в год. Эколизинг конвергентного рециклинга отходов производства минеральных удобрений в сочетании с отходами деревообработки в экологически чистую щелочную целлюлозу позволяет не только снижать производственные затраты, но и синтезировать целевой продукт, востребованный в широком спектре потребления в условиях целевого импортозамещения. В работе на примере промышленного рециклинга фосфогипса, кремнегеля совместно с древесно-стружечными материалами, усугубляющими экологическую опасность жизнедеятельности в ряде промышленных регионов страны, обоснованы перспективы использования экономики в управлении техносферной безопасностью. Щелочная варка как процесс, который обычно используется при рециклинге промышленных отходов, является гетерофазным процессом, в котором должны участвовать как жидкая фаза (гидросиликат кальция), так и твердая фаза (отходы деревообработки). Температурные условия варки отхода производства минерального удобрения при синтезе целлюлозы позволяют управлять экономикой процесса – регулировать его продолжительность и выход целевого продукта. Эколизинг дает возможность применять современное отечественное экологическое оборудование с минимальными затратами финансовых ресурсов на осуществление конвергентного рециклинга отходов производства минеральных удобрений.

Ключевые слова: конвергентный рециклинг, эколизинг, проблемы развития, отходы производства**ECO-LEASING IN CONVERGENT RECYCLING
OF PRODUCTION WASTE****Gladun V.D., Babukova A.A.***Egoryevsk Institute of Technology (branch) of Moscow State University of Technology «STANKIN»,**Egoryevsk, e-mail: nastyusha-zadumina@yandex.ru*

Recycling of waste from the business processes of mineral fertilizers limits the sustainability of the development of the technosphere, limited by the problems of environmental safety of production. The massive volumes of annual accumulations of these wastes reach millions of tons and continue to grow due to the demographic evolution of the population and the decline in soil fertility. The costs of storage and logistics of production waste are measured today in the billions of rubles a year. Eco-leasing of convergent recycling of waste from the production of mineral fertilizers in combination with wood waste into environmentally friendly alkaline cellulose allows not only to reduce production costs, but also to synthesize a target product that is in demand in a wide range of consumption under conditions of targeted import substitution. Using the example of industrial recycling of phosphogypsum, silica gel together with wood chip materials, which aggravate the environmental hazard of life in a number of industrial regions of the country, the prospects for using the economy in the management of technosphere safety are substantiated. Alkaline pulping used in waste recycling is a heterophasic process that involves a liquid phase (calcium hydrosilicate) and a solid phase (woodworking waste). The temperature conditions for the pulping of waste from the production of mineral fertilizers in the synthesis of cellulose make it possible to control the economics of the process - to regulate its duration and the yield of the target product. Ecoleasing allows the use of modern domestic environmental equipment with minimal financial resources for the implementation of convergent recycling of waste from the production of mineral fertilizers.

Keywords: convergent recycling, eco-leasing, development problems, production waste

Проблемы обращения с разнообразными отходами производства лимитируют устойчивое развитие техносферы, что предопределяет актуальность поиска эффективных экономических методов управления техносферной безопасностью. На юго-востоке Московской области накоплено значительное количество отходов производств (фосфогипс, кремнегель, древесно-стружечные материалы), усугубляющих экологическую

опасность жизнедеятельности ряда промышленных городов региона. Фосфогипс (миллионы тонн в год) образуется при промышленном производстве различных минеральных удобрений из «экстракционной фосфорной кислоты с использованием апатитовых концентратов. Кремнегель (десятки тысяч тонн в год) представляет собой высокодисперсное вещество на основе оксида кремния и образуется при промышленном

производстве фтористого алюминия. Отходы древесно-стружечных материалов – опилки, щепа, древесная пыль, обрезки пиломатериалов, фанеры» [1] и ДСП содержат в своем составе токсичные клеевые композиции на основе карбамидоформальдегидных и фенолформальдегидных смол.

Цель исследования заключается в обосновании перспектив использования эко-лизинга как вида финансовых услуг в

управлении техносферной безопасностью на примере рециклинга фосфогипса, кремнегеля совместно с древесно-стружечными материалами, усугубляющими экологическую опасность.

Материалы и методы исследования

Разработана комплексная технология рециклинга вышеуказанных отходов в целевой продукт (рис. 1).

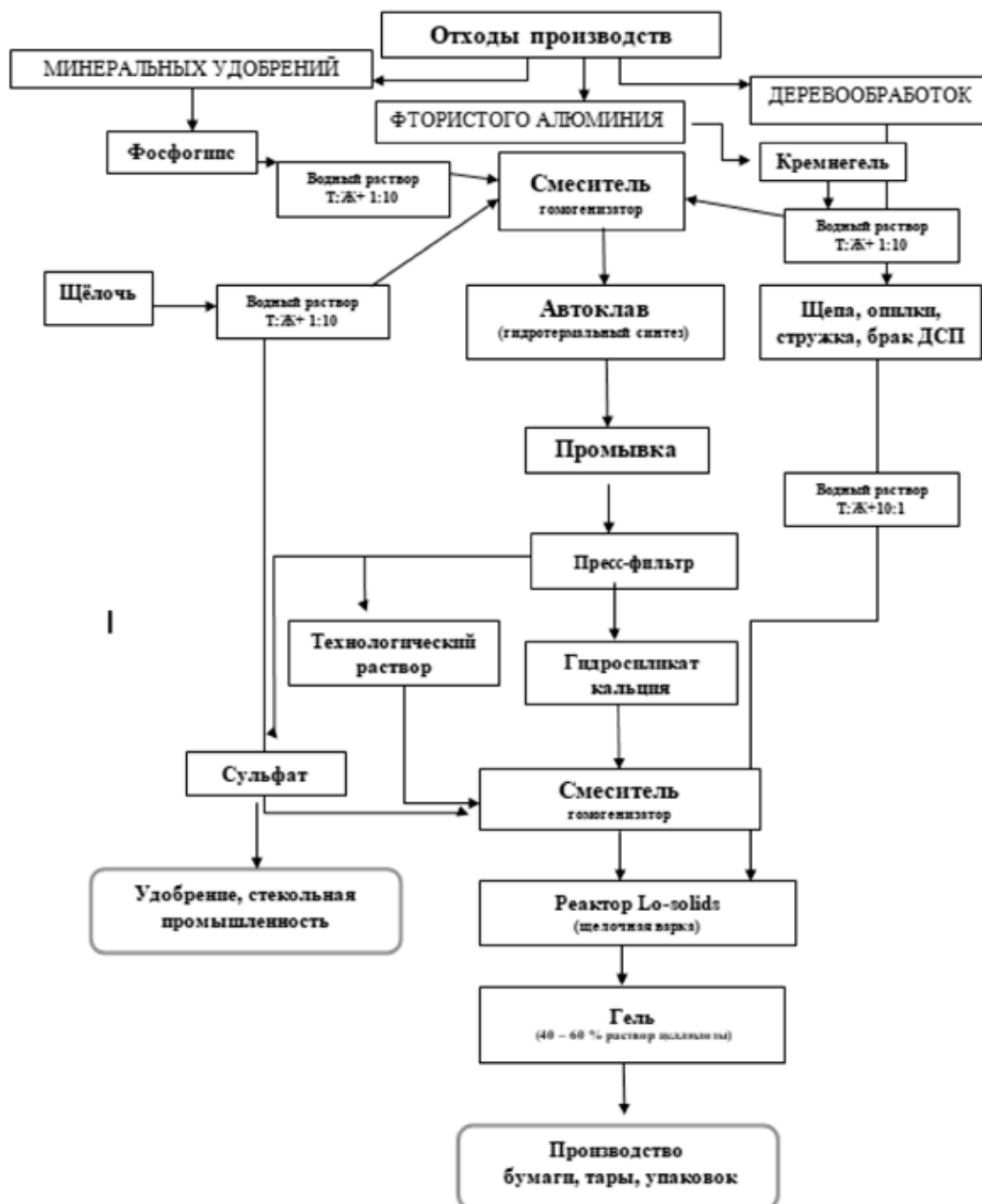


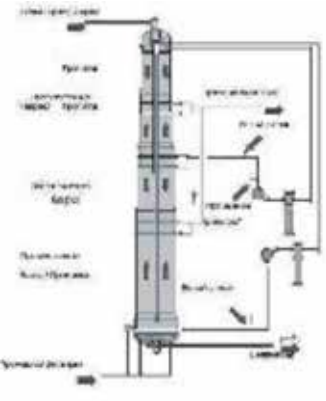




Рис. 1. Схема конвергентного рециклинга отходов производств фосфогипс – древесно-стружечные материалы – фтористый алюминий

Рассмотрим пример списка необходимого оборудования для оценки затрат на реализацию вышеуказанного технологического процесса (табл. 1).

Таблица 1

Оборудование, необходимое для оценки затрат на реализацию конвергентного рециклинга отходов производств

	<p>Водные растворы – CMX Plant Batch Solid-Liquid Mixing System</p>
	<p>Пресс-фильтр Керамический дисковый фильтр КДФ (вакуум-фильтр КДФ)</p>
	<p>Реактор Lo-solids</p>
	<p>Автоклав Ezma</p>
	<p>Смеситель – скруббер типа SMV</p>

«Промышленный отход производства в процессе гидротермального синтеза (ГТС) превращают в гидросиликат кальция (ГСК) и сульфат. Гидротермальный синтез силиката кальция является рентабельным технологическим процессом при рециклинга фосфогипса» [1]. Брутто реакция происходящего процесса гидротермального синтеза минерала ($\text{Ca}_6[\text{Si}_6\text{O}_{17}](\text{OH}_2)$) из фосфогипса ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) и кремнегеля ($\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$) позволяет получать гель сульфата с наполнителем из ГСК (рис. 2).

«В зависимости от типа используемой щелочи (alkali – «А») получают различные сульфаты (φ – sulphate), изменяя одновременно себестоимость продуктов рециклинга – [сульфат + $\text{Ca}_6[\text{Si}_6\text{O}_{17}](\text{OH}_2)$]» [2]:

1) $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ {2,8 т (0,93 \$)} + $\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ {2,8 т (7,4 \$)} + NaOH (10%) {0,56 т (180 \$)} \Rightarrow (sulphate) Na_2SO_4 {1,2 т (120 \$)} + $\text{Ca}_6[\text{Si}_6\text{O}_{17}](\text{OH}_2)$ {1 т (68 \$)} + H_2O (в обороте);

2) $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ {2,8 т (0,93 \$)} + $\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ {2,8 т (7,4 \$)} + KOH (10%) {0,56 т (298 \$)} \Rightarrow (sulphate) K_2SO_4 {1,5 т (288\$)} + $\text{Ca}_6[\text{Si}_6\text{O}_{17}](\text{OH}_2)$ {1 т (18,3 \$)} + H_2O (в обороте);

3) $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ {2,8 т (0,93 \$)} + $\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ {2,8 т (7,4 \$)} + NH_4OH (10%) {0,56 т (96\$)} \Rightarrow (sulphate) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ {1,1 т (183 \$)} + $\text{Ca}_6[\text{Si}_6\text{O}_{17}](\text{OH}_2)$ {1 т (-79 \$)} + H_2O (в обороте).

«Водные растворы [K_2SO_4 и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$] используют в качестве соответственно жидких калийных и азотных удобрений, а – [Na_2SO_4] применяют в стекольной промышленности как основной составляющий ингредиент шихты» [2]. В конвергентном рециклинге ГСК используют при щелочной варке целлюлозы.

Отходы деревообработки в виде технологической щепы и тонкомерной древесины применяют для производства сульфатной целлюлозы. Стоит отметить, что «промышленное значение имеют лишь некоторые виды растений. Из хвойных пород древесины чаще используются ель, сосна, пихта, из лиственных – тополь, осина, береза, бук, эвкалипт» [3].

Варочный раствор, который предназначен для процесса щелочной варки (белый щелок), в основном содержит в составе один активный реагент, позволяющий растворять лигнин, – гидроксид натрия.

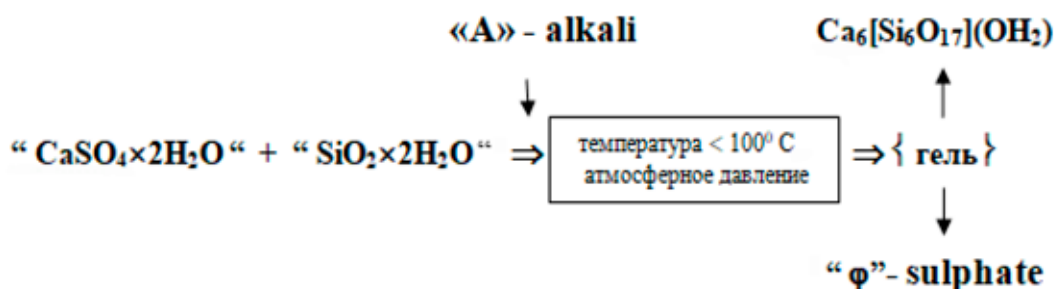


Рис. 2. Схема реакции гидротермального синтеза геля, необходимого для варки целлюлозы

В белом сульфатном щелоке из-за неполноты происходящих реакций каустизации и восстановления сульфата также присутствуют сульфат натрия, карбонат. «В процессе сульфатной варки целлюлозы древесина обрабатывается варочным щелоком в течение нескольких часов при высокой температуре» [4].

«Цель щелочной варки заключается в растворении лигнина, однако наряду с этим происходит и нежелательное растворение полисахаридов. Потери целлюлозы могут достигать ~10% от ее количества в исходном отходе древесины. Основное количество щелочи (до 75%) потребляется на реакции с углеводами, и только 25% щелочи идет на растворение лигнина» [3].

«Щелочная варка является гетерофазным процессом, в котором участвуют жидкая фаза (варочный раствор) и твердая фаза (отход деревообработки). Температура варки отхода при синтезе целлюлозы оказывает влияние на продолжительность процесса и выход целевого продукта» [2]. Общий объем получаемой химическим способом целлюлозы зависит как от устройства для варки, так и от вида отхода древесины. «Количественный выход целлюлозы снижается до величин 40–65%, поскольку при варке из отхода древесины удаляются не целлюлозные вещества, однако при этом образующие свойства волокон из отходов улучшаются» [3].

Результаты исследования и их обсуждение

«Абсолютно “чистых” производств в настоящее время не существует. Тем не менее, промышленность должна минимизировать свое вредное воздействие на окружающую среду» [5].

Чтобы бизнес-процесс на промышленном предприятии определялся как более экологичный и оказывал минимальное негативное воздействие на окружающую нас

среду, а также собственные убытки предприятия, необходимы долгосрочные инвестиции. Собственная разработка оборудования для конвергентного рециклинга отходов производств минеральных удобрений и древесно-стружечных материалов – дорогостоящий процесс.

«Несмотря на достаточно высокий уровень развития и использования кредитных элементов в России, финансовые компании обычно предпочитают выдавать кредиты на реализацию гораздо более определенных и менее рискованных проектов» [6]. Не имея достаточных и определенных перспектив возврата собственных денежных средств, оценивая значительный размер выдаваемой суммы, а также высокую степень риска, банки чаще всего отказываются предприятию в предоставлении кредитных инструментов или предлагают настолько жесткие условия, что использовать их становится нерентабельно. «Одним из возможных и эффективных способов финансирования экологических проектов, к которым относится конвергентный рециклинг, является эколизинг» [6]. Он способствует привлечению финансовых ресурсов в промышленные отрасли и их целевому использованию, обеспечивает необходимую поддержку предпринимательской деятельности, позволяя решать насущные проблемы, с которыми непременно сталкиваются все хозяйствующие субъекты в процессе осуществления своей деятельности.

«Согласно международному опыту, доля лизинга в основной капитал достигает сегодня более 40%, что свидетельствует о перспективах развития экологического лизингового рынка в России» [6]. Эффективность лизингового механизма будет достигаться в случае узкой отраслевой направленности. В настоящее время в России практически отсутствуют лизинговые компании, имеющие экологическую направленность, что значительно затрудняет развитие

экологической безопасности функционирования промышленных предприятий.

Используя механизмы эколизинга, государство способно восстановить потерянные экологические связи между предприятиями, а также решить различные проблемы, обусловленные возможностью сбыта продукции в основных отраслях производства. «Интенсивное развитие и поддержка государством малого предпринимательства также предполагает развитие эколизинговой деятельности, так и адекватного законодательства, регулирующего эти отношения» [6]. В настоящее время на международном уровне достаточное развитие получила Конвенция УНИДРУА о международном финансовом лизинге, которая была использована в нормах действующего Гражданского кодекса Российской Федерации в части регулирования лизинговых отношений.

«Предметом договора эколизинга могут стать любые непотребляемые вещи, в том числе предприятия и другие имущественные комплексы, здания, сооружения, оборудование, движимое и недвижимое имущество, которое будет использоваться в бизнес-процессе» [7]. Для оценки целесообразности использования эколизинга для реализации конвергентного рециклинга отходов производства сравним предложенные элементы лизинга и условия обобщенного кредита согласно таблице 2.

Рассмотрим содержание таблицы 2 подробнее:

– предприятие создает или обновляет фонд средств и промышленного оборудования по экологическому направлению за счет

ускоренной амортизации на имущество, находящееся в лизинге;

– приобретенное посредством лизинга имущество может использоваться сразу;

– имущество полностью соответствует заявленной предприятием потребности, и этот факт исключает возможность нецелевого использования средств;

– на лизингодателе как на собственнике лежит риск утраты или повреждения имущества;

– лизинговые операции осуществляются по определенной ставке, которая защищает лизингополучателя от инфляционных колебаний, что актуально для предприятий, работающих по экологической направленности;

– лизинг позволяет получить доступ к современной технике и новейшим экологическим технологиям;

– лизингополучатель по окончании срока действия договора лизинга может приобрести оборудование в собственность по остаточной стоимости.

Проведем сравнение затрат на приобретение оборудования по предлагаемому проекту в предположении наличия свободных средств для приобретения оборудования, когда оставшаяся часть средств после авансовых платежей размещается на депозите и срок кредитования равен сроку лизинга. Обратимся к таблице 3.

Затраты по отношению к первоначальной стоимости оборудования за срок лизинга меньше, чем если бы имущество было приобретено за счет кредита или за счет собственных средств, на 11,1%.

Таблица 2

Основные преимущества лизинга перед кредитом [5]

№ п/п	Основные параметры процесса	Источники финансирования	
		Лизинг	Кредит
1.	Срок принятия решения о выдаче (включая сбор документов)	2–6 недель	3–6 недель
2.	Срок получения	1 неделя	1 неделя
3.	Минимальная сумма сделки	На усмотрение лизингодателя	На усмотрение банка
4.	Помощь в сборе документов	Нет	Нет
5.	Возмещение НДС	Да	Нет
6.	Ускоренная амортизация	Да	Нет
7.	Наличие залога	Нет	Да
8.	Наличие бизнес-плана	Нет	Да
9.	Возможность нецелевого использования	Нет	Да

Таблица 3

Сравнение примера затрат на приобретение оборудования (автоклава)

Источник финансирования	Финансовый лизинг	Банковский кредит	Собственные средства
Предмет финансирования	Автоклав для гидротермального синтеза	Автоклав для гидротермального синтеза	Автоклав для гидротермального синтеза
Стоимость предмета финансирования (в качестве предположения)	1 000 000 руб.	1 000 000 руб.	1 000 000 руб.
Срок амортизации имущества	120	120	120
Срок договора (месяцев)	40	–	–
Аванс, процент от первоначальной стоимости	25%	25%	25%
Аванс	250 000	250 000	–
Ставка кредита, процент годовых	16%	16%	–
Лизинговая комиссия от стоимости имущества	4%	–	–
Ставка депозита	10,00%	10,00%	–
Срок равен сроку лизингового договора			
Аванс	–250 000	–250 000	–1 000 000
Лизинговые платежи (без учета налога на имущество)	–1 041 696	0	0
Налог на имущество	0	0	0
Погашение кредита	0	–750 000	0
Погашение процента	0	–205 000	0
НДС к снижению за срок лизинга	197 038	152 542	152 542
Снижение налога на прибыль за срок лизинга	218 931	97 497	56 497
Чистый доход от депозита за срок лизинга	200 000	200 000	–
Суммарные расходы за срок лизинга	–675 726	–754 960	–790 960
Затраты, отнесенные к первоначальной стоимости оборудования, процент	67,7	75,5	79,1

Заключение

Эколизинг позволит применять современное экологическое оборудование с минимальными затратами финансовых ресурсов на осуществление конвергентного рециклинга отходов производства. В результате конвергентный рециклинг отходов производства минеральных удобрений в сочетании с отходами деревообработки в экологически чистую щелочную целлюлозу позволяет не только снижать производственные затраты, но и синтезировать целевой продукт, востребованный в широком спектре потребления в условиях целевого импортозамещения.

Список литературы

1. Гладун В.Д., Бабукова А.А. Обеспечение безопасности труда при рециклинге отходов // Экономика XXI века: инновации, инвестиции, образование. 2022. Т. 10. № 2. С. 86-89.

2. Гладун В.Д., Гладун В.В. Комплексное использование продуктов рециклинга отходов производства фосфорных удобрений. Берлин: Lambert Academic Publishing, 2018. 85 с.

3. Иванов Ю.С., Никандров А.Б., Кузнецов А.Г. Производство сульфатной целлюлозы: учебное пособие. Ч.1 / ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2017.

4. Наилучшие доступные технологии (НДТ). Справочный документ для производства целлюлозы, бумаги и картона. Директива о Промышленных Выбросах 2010/75/ЕС. (Комплексное предотвращение и контроль загрязнений). 2015. С. 43.

5. Третьякова Е.М., Петрухин Я.В. Целлюлозно-бумажная промышленность: обеспечение безопасности и проблемы переработки отходов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2012. Вып. 1. С. 43–45.

6. Яшалова Н.Н. Применение лизинга в экологической сфере: проблемы и перспективы // Вестник УГТУ-УПИ. Серия экономика природопользования. 2010. № 5. С. 107.

7. Гражданский кодекс Российской Федерации от 30 ноября 1994 года N 51-ФЗ // ГК РФ. Ст. 666. Предмет договора финансовой аренды / КонсультантПлюс (consultant.ru) (дата обращения: 01.05.2022.).

УДК 911:33

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ МИГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Дядик В.В.

*Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина Кольского научного центра РАН,
Апатиты, e-mail: v.dyadik@ksc.ru*

Исследование посвящено анализу и экономическому обоснованию основных депопуляционных закономерностей в российской Арктике. Выявлены и показаны тенденции опережающего по сравнению со средне-российскими темпами снижения численности населения арктических регионов, значительное накопленное отрицательное сальдо миграционного баланса и основные направления миграции населения из регионов Северо-Западной части Арктической зоны Российской Федерации. Проведен краткий обзор основных теоретических экономических моделей, объясняющих миграцию. На основе его результатов разработана методология, основанная на теоретической базе гипотезы Ч. Тибу, для обоснования причин миграционного оттока населения из наиболее подверженных депопуляционным тенденциям регионов российской Арктики. На основе предложенной методологии с использованием данных официальной статистики проведены расчеты и получены выводы, экономически обосновывающие основные направления миграции населения из регионов Северо-Западной части российской Арктики. Результаты работы могут быть использованы исследователями и управленцами-практиками для определения направления и интенсивности воздействия экономических факторов на принятие жителями регионов решений о переезде, а также для оценки объема ресурсов, необходимых для стабилизации миграционных процессов и сокращения миграционной убыли населения на региональном уровне.

Ключевые слова: межрегиональная миграция, социально-экономическое развитие Арктики, население Арктики, гипотеза Чарльза Тибу, экономические причины миграции

MAIN TRENDS AND ECONOMIC BASIS OF MIGRATION PROCESSES IN THE NORTH-WESTERN PART OF RUSSIAN ARCTIC

Dyadik V.V.

*Luzin Institute for Economic Studies – Subdivision of the Federal Research Centre
«Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences», Apatity, e-mail: v.dyadik@ksc.ru*

The study is devoted to the analysis and economic justification of the main depopulation patterns in the Russian Arctic. The tendencies of population decline in the Arctic regions ahead of the average Russian rates, a significant accumulated negative migration balance and the main directions of population migration from the regions of the North-Western part of the Arctic zone of the Russian Federation are identified and shown. A brief review of the main theoretical economic models that explain migration has been carried out. Based on its results, a methodology based on the theoretical basis of Ch. Tiebout's hypothesis was developed to substantiate the reasons for the migration outflow of the population from the regions of the Russian Arctic that are most prone to depopulation trends. Based on the proposed methodology, using official statistics, calculations were made and conclusions were obtained that economically justify the main directions of population migration from the regions of the North-Western part of the Russian Arctic. The results of the work can be used by researchers and practitioners to determine the direction and intensity of the impact of economic factors on the decision of residents of the regions to move, as well as to assess the amount of resources needed to stabilize migration processes and reduce the migration loss at the regional level.

Keywords: Interregional migration, socio-economic development of the Arctic, population of the Arctic, Charles Tiebout hypothesis, economic causes of migration

Арктические территории в современном экономическом и геополитическом контекстах являются зоной самого пристального внимания национальных правительств, международных политических альянсов, крупного бизнеса. Природные ресурсы и логистические возможности Арктики делают ее территорией жесткой геополитической конкуренции, в условиях которой обеспечение национальных интересов России невозможно без комплексного научного понимания социально-экономической проблематики развития этого макрорегиона.

Одной из наиболее актуальных проблем развития российской Арктики явля-

ется ее депопуляция. Помимо тенденции к естественной убыли, значимой причиной сокращения населения АЗРФ служит миграционный отток, отнесенный Основами государственной политики Российской Федерации в Арктике до 2035 г. и Стратегией развития Арктики до 2035 г. к числу первоочередных опасностей, вызовов и угроз, формирующих риски для развития Арктической зоны и обеспечения национальной безопасности.

В исследовательской литературе как в России, так и за рубежом сформировался обширный теоретический аппарат, посвященный исследованию и объяснению

причин миграционных процессов. Среди большого объема социогуманитарных теоретических концепций, объясняющих этот феномен, отдельное место принадлежит экономическим теориям миграции, позволяющим с помощью эконометрических методов обеспечить количественное (стоимостное) измерение причин и следствий миграции.

Целью настоящей работы является попытка адаптации теоретического аппарата и методологии одной из объясняющих миграцию экономических концепций – гипотезы Тибу – для исследования причин миграции населения из регионов АЗРФ. Результаты работы могут быть использованы исследователями и управленцами-практиками для определения направления и интенсивности воздействия экономических факторов на принятие жителями регионов решений о переезде, а также для оценки объема ресурсов, необходимых для стабилизации миграционных процессов и сокращения миграционной убыли населения на региональном уровне.

Специфика депопуляционных процессов в северо-западной части российской Арктики

В соответствии с Указом Президента РФ от 02.05.2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» (в редакции Указа Президента Российской Федерации от 05.03.2020 г. № 164) к арктическим территориям РФ относятся административно-территориальные единицы следующих регионов: Мурманская область, Ненецкий автономный округ, Чукотский автономный округ, Ямало-Ненецкий автономный округ – полностью

и отдельные районы Республики Коми, Республики Карелия, Красноярского края, Республики Саха (Якутия) и Архангельской области. На протяжении двух последних десятилетий на территории этих субъектов РФ наблюдались устойчивые депопуляционные тенденции (табл. 1).

За этот период регионы, полностью или частично расположенные в АЗРФ, продемонстрировали сокращение численности населения на порядок (от 12,6 до 21,3 раза) превышающее среднероссийский уровень. В Красноярском крае сокращение численности населения происходило меньшими темпами, но, тем не менее, в 4,5 раза превысило среднероссийский уровень. Из общей картины выбиваются Республика Саха и Ямало-Ненецкий автономный округ Тюменской области, где в анализируемом периоде численность населения выросла. Главными драйверами позитивных демографических изменений в этих регионах стали крупные газовые проекты, обусловившие создание большого количества рабочих мест и фактически новый этап экономического освоения территорий. Вместе с тем в целом рост численности населения этих регионов не переломил общей тенденции к депопуляции АЗРФ.

Важнейшей причиной сокращения численности населения арктических регионов выступает многолетний эффект отрицательной миграции. Сопоставление абсолютной и относительной статистики убыли населения (табл. 2) позволяет выделить тройку регионов-анти-лидеров по накопленному отрицательному балансу миграции – Республику Коми, Архангельскую и Мурманскую области.

Таблица 1

Сокращение численности постоянного населения регионов АЗРФ с 2001 по 2020 гг.

	Численность населения, человек		Сокращение численности населения, %
	январь 2001 г.	январь 2020 г.	
Российская Федерация*	146 303 611	144 835 968	1,0
Ямало-Ненецкий автономный округ (Тюменская область)	498 271	544 444	-9,3
Республика Саха (Якутия)	957 478	971 996	-1,5
Красноярский край	3 000 891	2 866 255	4,5
Чукотский автономный округ	57 534	50 288	12,6
Республика Карелия	728 813	614 064	15,7
Архангельская область (с Ненецким автономным округом)	1 369 118	1 136 535	17,0
Мурманская область	922 875	741 404	19,7
Республика Коми	1 042 880	820 473	21,3

Источник данных: [1]; расчеты автора.

*Без Республики Крым.

Таблица 2

Миграционная убыль постоянного населения регионов АЗРФ с 2001 по 2020 гг.

Регион	Накопленное сальдо миграции, человек	Рейтинг по показателю накопленного сальдо миграции	Накопленное сальдо миграции по отношению к численности населения в 2001 г., %	Рейтинг по показателю относительного накопленного сальдо миграции
Республика Коми	-155 591	1	-14,9	2
Архангельская область (с Ненецким автономным округом)	-125 907	2	-9,2	5
Мурманская область	-117 052	3	-12,7	3
Республика Саха (Якутия)	-104 120	4	-10,9	4
Ямало-Ненецкий автономный округ	-42 824	5	-8,6	6
Чукотский автономный округ	-11 554	6	-20,1	1
Республика Карелия	-5 124	7	-0,7	7
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	52 520	8	3,8	8

Источник данных: [1]; расчеты автора

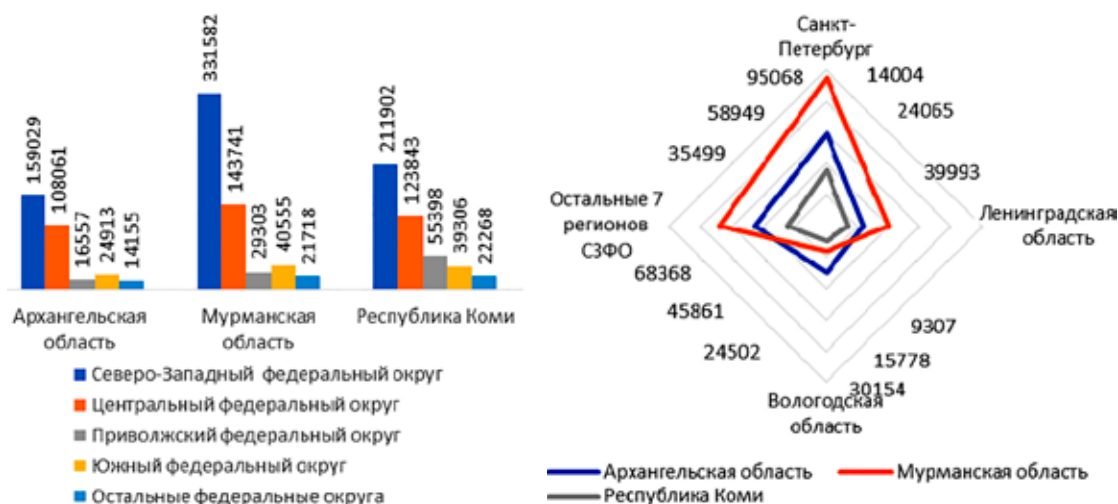


Рис. 1. Численность населения, выехавшего из Республики Коми, Мурманской и Архангельской областей в 2000–2021 гг., в разрезе территорий назначения: федеральных округов (левая диаграмма), регионов СЗФО (правая диаграмма). (составлено автором на основании данных: Росстат, ответ от 19.12.2022 г. № 8307/ОГ на обращение № 31393)

Основные направления миграции населения с территории этих субъектов Федерации представлены на рисунке 1. Обращает на себя внимание факт, что подавляющее большинство выезжающих выбирают в качестве территории назначения регионы Северо-Западного и Центрального федеральных округов. В свою очередь, наиболее популярным направлением миграции внутри СЗФО является г. Санкт-Петербург.

Очевидно, что высокая «популярность» и многолетняя стабильность основных направлений миграции населения северо-западных регионов российской Арктики должны иметь серьезные предпосылки. С нашей точки зрения, ключевое место в совокупности причин, мотивирующих резидентов арктических регионов к смене места жительства, занимает экономическая составляющая.

Материалы и методы исследования

На сегодняшний день в мировой исследовательской практике сформировались четыре группы экономических подходов к теоретическому обоснованию миграционных процессов:

- совокупность концепций, обусловленных макро- и микроэкономическими (подробно описаны, например, в [2–5]) факторами в рамках неоклассической экономики;

- новая экономика миграции (*New Economics of Labor Migration, NELM*) [6] – подход, основанный на идее о коллективном (как правило, в рамках семьи или домохозяйства) принятии решения о миграции как стратегии минимизации факторов, оказывающих воздействие на группу социально-экономических рисков;

- теория двойного рынка труда (см., например, [4]) утверждающая, что международная миграция вызвана постоянным спросом на труд мигрантов, который присущ экономической структуре развитых стран;

- предложенная И. Валлерстайном [7] теория мировых систем, основанная на идее о том, что проникновение капиталистических экономических отношений в периферийные, некапиталистические общества создает мобильное население, склонное к миграции за границу.

Интересно отметить, что, различаясь в объяснении причин миграционных процессов на макроуровне, эти теоретические концепции схожи в обосновании поведения конкретных индивидов, принимающих решения о смене места жительства. В большинстве перечисленных моделей эти действия объясняются с позиции теории рационального выбора, лежащей в основе неоклассической экономической теории. Люди (работники) склонны к переезду в области, где их труд будет оплачен выше.

Под несколько иным углом экономическая мотивация к смене места жительства представлена в модели американского экономиста Ч. Тибу. Им была предложена идея [8] о том, что, принимая решение о переезде, люди «голосуют ногами» за оптимальное, с их точки зрения, соотношение предоставляемых местными сообществами (муниципалитетами) наборов социальных благ и их стоимости. Важным достоинством «гипотезы Тибу» является более широкий взгляд на мотивирующие к переезду основания. В отличие от мотивации, основанной исключительно на факторе максимизации оплаты труда, мотивация в модели Ч. Тибу базируется на оценке спроса домохозяйства

на набор социальных благ, предоставляемый конкретной территорией, и готовности домохозяйства платить определенную фискальную цену за возможность пользоваться этим набором.

Консолидируя перечисленные основные теоретические объяснения миграции на микроэкономическом уровне, то есть в контексте принятия решения о переезде конкретным индивидом или домохозяйством, можно выделить в качестве определяющих факторы межрегиональной дифференциации в размерах оплаты труда и соотношения между предложением (с учетом параметров объема и качества) социальных благ и их фискальной ценой. Одновременный комплексный учет обоих факторов является важной методологической позицией применительно к реализации главной цели настоящей работы, заключающейся в определении экономических предпосылок депопуляции арктических регионов РФ.

Анализ межрегиональной дифференциации в уровне оплаты труда не представляется методологически сложной задачей, официальная российская статистика располагает соответствующей информацией. В то же время учет второго фактора в отечественных условиях имеет определенную специфику.

Дело в том, что в силу ряда особенностей российского налогового и административно-территориального устройства отдельные элементы теоретической конструкции и методологии, предложенных Ч. Тибу, в «чистом виде» непригодны для анализа мотивации к переездам жителей российских регионов. В то же время базовый принцип «гипотезы Тибу», заключающийся в сопоставлении объема благ, которые человек получает, и цены, которую он за них платит на определенной территории, как экономического мотива для принятия решения о смене места жительства представляется исключительно важным. Для обеспечения возможности его учета в российских реалиях необходима определенная трансформация «классического вида» модели Тибу.

Решение этой задачи предлагается осуществить исходя из следующей теоретической предпосылки. Поскольку в российских условиях как уровни предложения социальных благ, производимых всеми этажами государственной системы, так и их фискальная цена являются относительно гомогенными, можно сделать вывод, что мотивацию к переезду формирует

соотношение между предложением и ценой остальных (производимых в частном секторе) благ, потребляемых жителями (домохозяйствами) территорий. В такой постановке вопроса совокупный объем благ, которые может позволить себе средний житель региона, определяется средним размером заработной платы на соответствующей территории. В свою очередь, минимальная гарантированная цена, которую должен заплатить житель региона за проживание на соответствующей территории, представляет собой величину прожиточного минимума для соответствующей категории населения. Разница между средним размером заработной платы в регионе и величиной прожиточного минимума, скорректированная с учетом межрегиональной дифференциации стоимости жизни (уровня покупательной способности населения), в данном случае будет представлять собой стоимостной эквивалент набора благ, приобретение которых может позволить себе житель после уплаты минимальной гарантированной цены проживания в регионе. Максимизация этой разницы и будет являться основным мотивом к выбору места жительства.

Изложенный подход может быть формализован следующим образом. Для анализа наличия у населения региона экономических мотивов к смене места жительства необходимы расчет и сопоставление для потенциальных региона-донора и региона-реципиента показателя стоимостного эквивалента совокупности потребляемых благ (СЭСБ) – разницы между средним размером заработной платы и величиной прожиточного минимума, откорректированной с учетом уровня покупательной способности населения:

$$\text{СЭСБ}_i = (\text{СРЗП}_i - \text{ПМ}_i) \times K_{\text{ППСН}_i}, \quad (1)$$

где СЭСБ_i – стоимостной эквивалент совокупной стоимости потребляемых благ в i -м регионе;

СРЗП_i – средняя заработная плата в i -м регионе;

ПМ_i – прожиточный минимум для трудоспособного населения в i -м регионе;

$K_{\text{ППСН}_i}$ – коэффициент паритета покупательной способности населения в i -м регионе.

$$K_{\text{ППСН}_i} = \text{СФН}_i / \min(\text{СФН}), \quad (2)$$

где СФН_i – стоимость фиксированного набора потребительских товаров и услуг в i -м регионе.

Регионы с наибольшими значениями СЭСБ будут являться приоритетными для проживания по сравнению с регионами, где значение СЭСБ меньше.

Результаты исследования и их обсуждение

Приведенная в первой части работы статистика показывает, что главным направлением выезда на постоянное место жительства резидентов Республики Коми, а также Мурманской и Архангельской областей является г. Санкт-Петербург. В соответствии с логикой, положенной в основу разработанной методологии, данный факт должен свидетельствовать о том, что в этом субъекте Федерации в среднем после осуществления обязательных минимальных платежей совокупность доступных к потреблению благ больше по сравнению с регионами-донорами. На рисунке 2 приведена динамика показателя стоимостного эквивалента совокупности потребляемых благ (СЭСБ) для всех четырех регионов за период с 2002 по 2020 гг. В качестве начала интервала выбран 2002 г., поскольку в базе данных Росстата за более ранние годы отсутствует полная информация о прожиточном минимуме и стоимости фиксированного набора потребительских товаров и услуг.

Представленные данные позволяют сделать два вывода. Во-первых, необходимо отметить, что с 2006 по 2020 гг. совокупный объем благ, доступных к потреблению жителям Санкт-Петербурга после осуществления расходов, обусловленных необходимостью обеспечения прожиточного минимума, устойчиво превышал аналогичные показатели для Мурманской и Архангельской областей и Республики Коми, что является подтверждением выдвинутой ранее гипотезы о наличии экономических причин миграции населения между регионами Северо-Западной части АЗРФ. Во-вторых, очевидно, что межрегиональные разрывы в величине располагаемых доходов нарастают. Если с 2002 по 2005 гг. экономические условия во всех четырех регионах были достаточно однородными, то с 2006 г. наблюдается последовательный рост межрегиональных различий. Это обстоятельство также свидетельствует о нарастании на протяжении последних полутора десятилетий значимости экономической детерминанты миграции населения из регионов АЗРФ.



Рис. 2. Динамика показателя стоимостного эквивалента совокупности потребляемых благ для Республики Коми, Мурманской и Архангельской областей и г. Санкт-Петербурга в 2002–2020 гг. (составлено автором по [9, 10])

Выводы

Проведенное исследование позволило получить ряд новых теоретических, методологических и практических результатов.

На основе анализа современных экономических теорий миграции, а также в результате адаптации теоретического аппарата гипотезы Тибу была разработана методологическая модель, основанная на данных официальной российской статистики, предназначенная для исследования экономических причин межрегиональной миграции населения России. Апробация модели на статистических данных регионов Северо-Запада АЗРФ за 2002–2020 гг. показала ее состоятельность.

В результате укрупненного анализа демографических процессов в российской Арктике были выявлены основные депопуляционные тенденции этого макрорегиона: общее снижение численности населения и миграционный отток. С помощью предложенных теоретических обоснований и методологии было проведено исследование лежащих в их основании причин. Результатом исследования стали выводы о наличии у населения регионов АЗРФ существенных экономических мотивов к выезду в другие субъекты Федерации. Главным экономическим фактором, обуславливающим такого рода мотивацию, является разница между доходами населения и совокупностью показателей, характеризующих стоимость жизни на конкурирующих за население с АЗРФ территориях.

Предложенная в статье методология межрегиональных сопоставлений стоимостного эквивалента совокупности благ, приобретение которых могут позволить себе жители различных территорий, позволяет в дальнейшем сформировать подход к экономической оценке объема ресурсов, необходимых для сокращения масштаба миграционного оттока путем повышения благосостояния населения.

Список литературы

1. Численность постоянного населения на 1 января. [Электронный ресурс]. URL: <https://showdata.gks.ru/report/278928> (дата обращения: 28.12.2022).
2. Czaika M. Migration and Economic Prospects. *Journal of Ethnic and Migration Studies*. 2015. V. 41. № 1. P. 58-82.
3. Gurieva L.K., Dzhioev A.V. Economic Theories of Labor Migration. *Mediterranean Journal of Social Sciences*. 2015. V. 6. № 6 S7. P. 101.
4. Абылкаликов С.И., Винник М.В. Экономические теории миграции: рабочая сила и рынок труда // *Бизнес. Общество. Власть*. 2012. Экономические теории миграции. № 12.
5. Porumbescu A. Critical Perspective on the Neoclassical Economics and Labor Migration Theory. *Revista Universitară de Sociologie*. 2018. V. XIV. № 2. P. 8-17.
6. Nzima D., Duma V., Moyo P. Theorizing migration-development interactions: towards an integrated approach. *Migration and Development*. 2017. Т. 6. Theorizing migration-development interactions. № 2. P. 305-318.
7. Валлерстайн И. Анализ мировых систем и ситуация в современном мире / Пер. с англ. П.М. Кудюкина; под общ. ред. канд. полит. наук Б.Ю. Кагарлицкий. СПб.: Университетская книга, 2001. 416 с.
8. Tiebout C.M. A pure theory of local expenditures. *Journal of political economy*. 1956. V. 64. № 5. P. 416-424.
9. ЕМИСС. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31052> (дата обращения: 28.12.2022).
10. ЕМИСС. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/30957> (дата обращения: 28.12.2022).

УДК 639.1.055.36(470.630)

ОЦЕНКА ФЛОРИСТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗАКАЗНИКА «СТРИЖАМЕНТ»

Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е., Коровин А.А., Окрут С.В., Халикова В.А.
*ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», Ставрополь,
e-mail: tamara.zelenskaya2016@yandex.ru*

В статье отражены результаты оценки флористического состояния заказника «Стрижамент». На современном этапе развития человеческого общества необходимость оценки и сохранения биологического разнообразия стала особенно острой. Эту проблему исследуют ученые во всем мире и не только биологи, экологи, но и экономисты, политологи, потому что величина биологического разнообразия – это тот фактор, на котором основывается не только устойчивость экосистем, биоценозов, но и комфортное, полноценное существование людей. Устойчивость экосистем тесно связана с биологическим разнообразием, так как каждый компонент экосистемы выполняет свою, особенную роль, при исчезновении одного компонента экосистема испытывает нагрузку, однако справляется с ней благодаря способности сохранять свою структуру – это свойство экосистем принято называть стабильностью экосистемы. Стабильность отражает величину внешнего воздействия на экосистему, при котором в экосистеме не начнутся разрушительные процессы и деградация. Чем больше компонентов экосистемы нарушено, тем сложнее ей самовосстанавливаться и сопротивляться факторам внешней среды. Поэтому очень важно проводить оценку биоразнообразия, чтобы на раннем сроке выявить, какой вид нуждается в особой охране. На сегодняшний день, в связи с нарастающей техногенной нагрузкой на экосистемы, исчезновение видов носит глобальный характер. По современным оценкам биоразнообразия были выделены основные причины его уменьшения: недостаточная изученность природных сообществ, фрагментация и модификация среды обитания, загрязнение окружающей среды, вытеснение естественных видов интродуцированными и сельскохозяйственными видами.

Ключевые слова: видовое разнообразие, антропогенное воздействие, рекреационная депрессия, заказник, покрытие территории

ASSESSMENT OF THE FLORISTIC STATE OF THE RESERVE «STRIZHAMENT»

Zelenskaya T.G., Stepanenko E.E., Korovin A.A., Okrut S.V., Khalikova V.A.
Stavropol State Agrarian University, Stavropol, e-mail: tamara.zelenskaya2016@yandex.ru

The article reflects the results of the assessment of the floristic state of the reserve “Strizhament”. At the present stage of human society development, the need to assess and preserve biological diversity has become particularly acute. This problem is being investigated by scientists all over the world and not only biologists, ecologists, but also economists, political scientists, because the magnitude of biological diversity is the factor on which not only the stability of ecosystems, biocenoses, but also the comfortable, full-fledged existence of people is based. Ecosystem stability is closely related to biological diversity, since each component of the ecosystem performs its own special role, when one component disappears, the ecosystem experiences stress, but copes with it due to the ability to maintain its structure – this property of ecosystems is commonly called ecosystem stability. Stability reflects the magnitude of the external impact on the ecosystem, in which destructive processes and degradation will not begin in the ecosystem. The more components of the ecosystem are disrupted, the more difficult it is for it to self-repair and resist environmental factors. Therefore, it is very important to assess biodiversity in order to identify at an early stage which species needs special protection. Today, due to the increasing anthropogenic load on ecosystems, the extinction of species is global in nature. According to modern estimates of biodiversity, the main reasons for its decline have been identified: insufficient knowledge of natural communities, fragmentation and modification of the habitat, environmental pollution, displacement of natural species by introduced and agricultural species.

Keywords: species diversity, anthropogenic impact, recreational degradation, nature reserve, territory coverage

На современном этапе развития человеческого общества необходимость оценки и сохранения биологического разнообразия стала особенно острой. Эту проблему исследуют ученые во всем мире и не только биологи, экологи, но и экономисты, политологи, потому что величина биологического разнообразия – это тот фактор, на котором основывается не только устойчивость экосистем, биоценозов, но и комфортное, полноценное существование людей [1].

Устойчивость экосистем тесно связана с биологическим разнообразием, так как каждый компонент экосистемы выполняет

свою, особенную роль, при исчезновении одного компонента экосистема испытывает нагрузку, однако справляется с ней благодаря способности сохранять свою структуру – это свойство экосистем принято называть стабильностью экосистемы. Стабильность отражает величину внешнего воздействия на экосистему, при котором в экосистеме не начнутся разрушительные процессы и деградация. Чем больше компонентов экосистемы нарушено, тем сложнее ей самовосстанавливаться и сопротивляться факторам внешней среды. Поэтому очень важно проводить оценку отдельных компонентов эко-

системы, чтобы на раннем сроке выявить, какой вид нуждается в особой охране [2].

На сегодняшний день, в связи с нарастающей техногенной нагрузкой на экосистемы, исчезновение видов носит глобальный характер. По современным оценкам биоразнообразия были выделены основные причины его уменьшения: недостаточная изученность природных сообществ, фрагментация и модификация среды обитания, загрязнение окружающей среды, вытеснение естественных видов интродуцированными и сельскохозяйственными видами [3].

Цель исследования – оценка флористического состояния заказника с определением степени нарушенности фитоценозов.

Материалы и методы исследования

«...Работа выполнена на основе анализа полевых экспедиционных исследований 2019–2021 гг., проведенных сотрудниками кафедры экологии и ландшафтного строительства Ставропольского государственного аграрного университета». Собран материал и дана оценка флористического состояния заказника. Обработка данных и анализ результатов проводились на базе лаборатории экологического мониторинга Ставропольского ГАУ. Определение жизненных форм растений производили по К. Раункиеру [4]. Оценку современного состояния заказника «Стрижамент» проводили с помощью

шкалы рекреационной депрессии лесной и степной экосистем. Основные параметры ООПТ находили с помощью компьютерной программы MapInfoProfessional 10.0.1 ru. Тип ландшафта, лежащего в основе изучаемых ООПТ, определяли по В.А. Шальневу (2002) [5].

Местонахождением государственного природного заказника «Стрижамент» является территория муниципального образования Стародворцовского сельсовета Кочубеевского муниципального округа и муниципального образования Темнолесского сельсовета Шпаковского муниципального округа. Площадь заказника составляет 4383,98 га. Если посмотреть на Стрижамент сверху, то степные платообразные участки горы напоминают подкову. В районе бывшей крепости стыкуются ее крылья – Большая поляна, иначе называемая Солдатской, и Малая поляна, или Бугор (рис. 1) [6].

Сейчас заказник на г. Стрижамент существует как ядро будущего природного каркаса, где будут сохраняться и воспроизводиться лесостепные биоценозы, находящиеся на грани исчезновения. Главной задачей ООПТ является «...повышение защищенности и восстановление биологического и ландшафтного разнообразия степных экосистем путем...» [7] мониторинга флористического разнообразия заказника «Стрижамент», а также усиления режима его охраны.

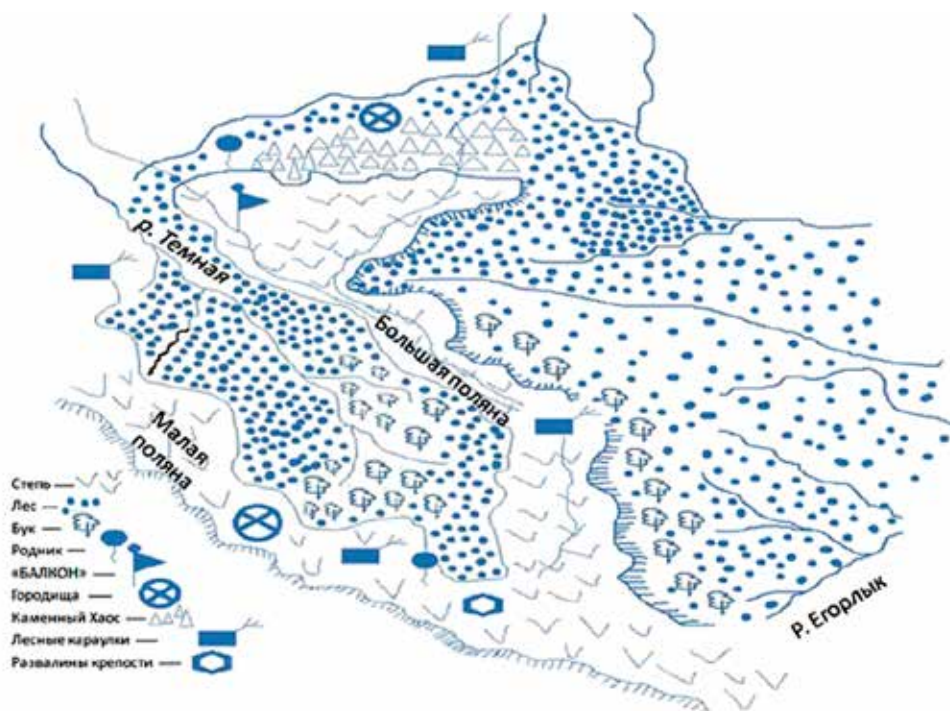


Рис. 1. План расположения Малой и Большой полян на горе Стрижамент (Ю.А. Дударь, А.А. Лиховид, 2002)

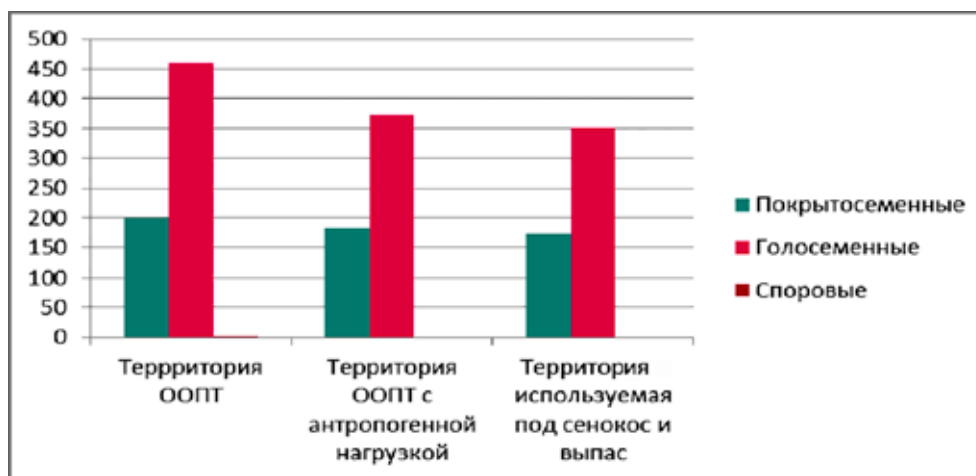


Рис. 2. Сравнение концентраций видового разнообразия фитоценозов заказника и близлежащей территории

Из-за распашки в прошлые годы значительная часть Солдатской поляны представляет собою старовозрастную залежь. В силу природных условий на отдельных склонах бывает очень много оползней. Однако стоит отметить, что некоторое сокращение биологического разнообразия является нормой в экологическом плане, это обусловлено эволюционными процессами. Вымирают наиболее слабые и неприспособленные к выживанию в современных условиях виды. Но место вымершего вида в трофической цепи или в биоценозе будет занято гомогенным видом.

Стоит отметить, что такой показатель, как концентрация видового разнообразия, может быть использован для установления общего разнообразия природоохранной территории, в этом случае можно получить усредненные данные о биоразнообразии, для точности показателей выделяют наиболее однородные участки фитоценозов или ареалов и считают отдельно по каждому. Благодаря такой системе появляется возможность отследить изменения концентрации разнообразия и найти очаги, в которых виды испытывают наибольшую нагрузку.

Благодаря предыдущим исследованиям в государственном заказнике «Стрижамент» определено наличие всех видов растительности. Так, флора степных участков составляет здесь почти 200 видов покрытосеменных растений на 100 м^2 , насчитывается от 50 до 80 на 1 м^2 – от 25 до 47 видов и около 460 видов голосеменных расте-

ний на 100 м^2 насчитывается от 80 до 120, на 1 м^2 – от 47 до 70 видов (рис. 2).

Из полученных данных можно сделать вывод, что наиболее высокая концентрация видового разнообразия наблюдается на территории заказника, в тех местах, где антропогенное воздействие минимально. Также стоит отметить, что при сравнении территории заказника, подвергшейся антропогенному воздействию, и близлежащей к заказнику территории, на которой ведется заготовка сена и редко выпас скота, концентрация биоразнообразия имеет практически одинаковые показатели, это говорит о том, насколько серьезные последствия имеет антропогенная и рекреационная нагрузка. Более устойчивы к антропогенному воздействию покрытосеменные растения, тогда как голосеменные испытывают большую нагрузку, особенно при пастбищном использовании территории.

Установлено, что основная часть заказника находится в хорошем состоянии и соответствует первой стадии рекреационной депрессии (рис. 3).

Уровень флористического разнообразия в заказнике «Стрижамент» отмечен как высокий: на 1 м^2 более 50 видов растительности. Анализ «...материалов по флоре государственного природного заказника «Стрижамент показал, что среди сосудистых растений здесь встречаются представители 902 видов. Наиболее богаты видами следующие семейства: астровые, злаковые, бобовые, розоцветные, капустные...» [8].

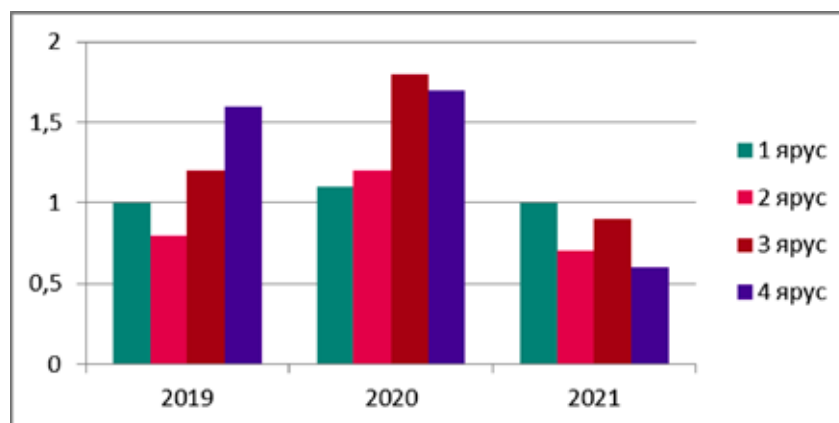


Рис. 3. Мониторинг рекреационной депрессии, вызванной антропогенной нагрузкой

Среди редких видов, находящихся на территории заказника «Стрижамент», есть виды, встречающиеся крайне редко, у этих видов отмечается меньшая жизнеспособность, чем у остальных, это связано с тем, что данные виды, подвергаясь антропогенному воздействию, а также изменению окружающей среды, не смогли восстановить свою популяцию в прежнем объеме. Необходимость охраны данных видов стоит особенно остро. Также среди редких видов выделяют доминирующие виды, а также рассеянные виды, их жизнеспособность невелика, всего 2–3 балла, что дает основания для охраны данных видов.

Лекарственные растения представлены «...еще более широким спектром видов – зверобой, золототысячник, душица, валериана, тысячелистник, бессмертник, чабрец, примула, подорожник, пижма, шиповник, буквица, донник, козлятник и многие другие, ресурсы и генетическое разнообразие которых в крае и на Северном Кавказе заметно подорваны...» [8].

«...Сородичи культурных растений. Это особо важная группа видов, так как может служить источником генофонда для улучшения существующих или выведения новых сортов. Среди них ведущее место занимают кормовые травы, особо ценные для лугопастбищного хозяйства, а также некоторые лекарственные, декоративные, пищевые и другие растения.

Наиболее ценной в научном, природоохранном и практическом отношении является луговая степь Солдатской поляны. В западной части она имеет высокую степень сохранности, так как никогда не распаивалась, хотя и подвергалась периодическим заготовкам сена и интенсивному выпасу

крупного рогатого скота. Здесь выявлены два варианта степи:

1. Мезофильный с ассоциациями: коротконожковый, разнотравно-коротконожковый, низкоосоково-коротконожковый, полевичковый.

2. Ксерофильный с ассоциациями: низкоосоковой, злаково-низкоосоковой, ковыльной ассоциациями...» [9].

Выявлены небольшие изменения фитоценозов, выраженные в замедлении роста, развития деревьев и кустарниковых видов, в единичных случаях наблюдались механические повреждения. Отмечено, что подлесок с подростом обладают разновозрастной структурой, средней густотой, имеют хорошие показатели жизнеспособности, выявлено только около 25% экземпляров с повреждениями, выраженными в усыхании или поражении болезнями.

Также определено покрытие территории, расчеты проводились на нескольких участках леса и степи, выявлены усредненные значения (табл. 1).

Таблица 1

Соотношение растительного покрытия территории заказника «Стрижамент»

№ п/п	Таксономическая единица	Покров территории, %
1	Мхи, лишайники	20
2	Травяной покров	43 (в основном луговая)
3	Кустарнички и кустарники	37

Выявлено незначительное, нарушение состояния почв и подстилки, выраженное в уплотнении, на таких участках отмечает-

ся оголение корней деревьев, наблюдается большее вытаптывание. Для предотвращения негативных последствий требуется незначительное регулирование рекреационной нагрузки.

В соответствии с полученными данными и со шкалой антропогенной преобразованности, определено, что индекс антропогенной преобразованности территории заказника «Стрижамент» колеблется в пределах 128–173, что соответствует слабой степени преобразованности.

Стоит отметить, что не на всей территории заказника индекс однороден, участки, на которых туристическая активность отсутствует или минимальна, нарушены в минимальной степени в силу деятельности животных и климатических условий, эти участки уместно отнести к очень слабой степени антропогенной преобразованности.

Соответственно, наибольшая степень рекреационной депрессии, а также антропогенной преобразованности, отмечены на местах, где проходят дорога и туристические тропы, на караулах. В целом за период исследований отмечена равномерная, умеренная антропогенная нагрузка на фитоценозы.

На протяжении мониторинга состояния фитоценозов государственного заказника

«Стрижамент» нами выявлено, что растительные системы не испытывают серьезных нагрузок в связи с деятельностью человека. Определенно, тропы, стоянки и в принципе территория, подвергающаяся рекреационному воздействию на постоянной основе, изменены, местами наблюдается довольно сильная депрессия, однако по отношению к остальной территории, которая не испытывает такого массивного влияния, средние показатели депрессии остаются на удовлетворительном уровне.

Однако даже на достаточном отдалении от туристических троп были обнаружены участки с сильной депрессией, всему виной расширение и довольно большой прирост стад кабанов, косулей.

В жаркое время кабаны роют углубления для того, чтобы охладиться и отдохнуть от зноя, освободиться от назойливых паразитов, реже роют землю в поисках пропитания.

После зимы кабаны раскапывают большие территории в поисках съедобных корней и корнеплодов, так, например, вблизи опушек, где растет топинамбур (*Helianthus tuberosus*), стада кабанов находят пропитание, тем самым перекапывают верхний слой почвы на глубину около 10–15 см.

Таблица 2

Изменения флоры заказника «Стрижамент» вследствие изменения погодных условий

№ п/п	Таксон	Изменения в структуре фитоценозов		
		2019	2020	2021
1	Мхи, лишайники	Состояние подстилки хорошее, депрессия на участках с рекреационной нагрузкой	Состояние подстилки хорошее, депрессия на обширных территориях, выраженная в изменении цвета и иссыхании	Состояние подстилки хорошее, депрессия на участках с рекреационной нагрузкой, в местах прохождения звериных троп
2	Травяной покров	Состояние хорошее, высокий уровень биоразнообразия, хорошая жизнеспособность травостоя, практически отсутствуют адвентивные виды	Состояние удовлетворительное, снижен уровень биологического разнообразия, заметна депрессия фитоценозов, выражающаяся в угнетении роста и развития растений, наличие проплешин, на территориях смежных с хозяйственными увеличено число рудеральной и гемерофитной растительности	Состояние хорошее, высокий уровень биоразнообразия, хорошая жизнеспособность травостоя, адвентивные виды присутствуют
3	Кустарнички и кустарники	Состояние хорошее, отмечен высокий уровень жизнеспособности	Состояние хорошее, отмечен высокий уровень жизнеспособности	Состояние хорошее, отмечен высокий уровень жизнеспособности
4	Древостой	Состояние хорошее, отмечен высокий уровень жизнеспособности, небольшие морфологические изменения в зонах рекреационной активности	Состояние хорошее, отмечен высокий уровень жизнеспособности, небольшие морфологические изменения в зонах рекреационной активности	Состояние удовлетворительное, хороший уровень жизнеспособности, у покрытосеменных сильное загущение кроны, отмирание отдельных веток

Из-за деятельности стад копытных животных происходит вытаптывание территорий.

Помимо антропогенного, огромное влияние на экосистемы оказывают климатические условия. За время исследования погодные условия были довольно разнообразны, в связи с чем наблюдались изменения в видовом составе фитоценозов заказника. Данные изменения не носили глобальный характер, однако довольно существенно отразились на содержании доминирующих видов травостоя (табл. 2). На фитоценозах древесной растительности заказника изменение погодных условий практически не отразилось, отмечены в основном лишь морфологические изменения.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что наибольшие изменения состояния фитоценозов происходили в 2020 и 2021 гг. В 2020 г. изменения фитоценозов в основном вызваны погодными условиями, а именно – крайне неустойчивым увлажнением, за март – август выпало около 160 мм осадков. Кроме того, с конца апреля началась засуха с ветрами-суховеями, средняя температура воздуха 22,6 °С. Переходный период после зимних холодов практически отсутствовал, с апреля средняя температура выросла с 6,7 до 14 °С. Кроме погодных условий повлияли в большей степени деятельность копытных животных и в меньшей степени антропогенное воздействие.

В 2021 г. погодные условия были более благоприятными, количество осадков значительно увеличилось до 190–200 мм, переходный период более длительный и выраженный, однако в марте ударили заморозки, что повлияло на древесной, молодые побеги деревьев промерзли и засохли, вследствие чего наблюдалось сильное загущение кроны, видоизменение и меньшие показатели роста повторных побегов. В большей степени заморозки отразились на покрытосеменных, ведь они совпали с временем цветения, что повлекло за собой иссыхание и опад цветов; как итог, у покрытосеменных большая часть жизненной энергии перераспределена на восстановление и закусение кроны, а не на завязь плодов. У голосеменных также отмечена меньшая жизненность, ухудшение показателей роста, развития. В связи с тем, что голосеменные растения, а это практически все травянистые виды заказника, на некоторое время отстали в росте, это дало толчок для роста и развития гемерофитной и рудеральной растительности. В особенности это отмечено на территориях около троп, стоянок, а также на приграничной степной

территории, используемой под сенокосы. На этих территориях так же наблюдались проплешины и значительное уменьшение видового разнообразия. Однако, было отмечено, что вследствие уменьшения разнообразия сосудистых растений степных фитоценозов, увеличился прирост сорных и корневищных растений, в частности полевых ирисов (*iris sibirica*), или в простонародье касатиков.

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что на территории государственного заказника «Стрижамент» необходимо установить жесткий контроль по соблюдению правил нахождения в заказнике, а также учет рекреационной нагрузки. Решение проблемы уменьшения биоразнообразия происходит в основном за счет создания новых ООПТ, однако это крайне сложная, долгая и дорогостоящая процедура, особенно остро этот вопрос стоит в аграрных районах, где проблема изъятия земель из сельскохозяйственного оборота является основной. Существенно проще охранять уже существующие ООПТ, используя более эффективные методы оценки и мониторинга биологического разнообразия [10].

Список литературы

1. Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е. Мониторинг антропогенного влияния особо охраняемых территорий // Образование. Наука. Производство. 2019. С. 49-51.
2. Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е., Окрут С.В., Безгина Ю.А., Халикова В.А. Оценка рекреационной нагрузки на Тебердинский государственный природный биосферный заповедник // Успехи современного естествознания. 2021. № 11. С. 58-63.
3. Пименова Е.В. Особо охраняемые природные территории как элемент землепользования в условиях городской среды / Под редакцией М.Б. Ивановой // Географическое изучение территориальных систем. 2020. С. 55-58.
4. Попченко М.И. Система жизненных форм растений К. Раункиера: учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2014. 34 с.
5. Шальнев, В.А. Ландшафты Северного Кавказа: эволюция и современность. Ставрополь: СГУ, 2002. 264 с.
6. Дударь Ю.А., Лиховид А.А. Гора Стрижамент: к организации заповедника // Степной бюллетень. 2002. № 12. С. 46-72.
7. Объекты природного наследия и экотуризм: материалы Международной научно-практической конференции (Улан-Удэ – п. Гремячинск, 25–27 августа 2014 г.) / Под общ. ред. проф. М.В. Слипенчука. М.: Издательство МГУ, 2014. 320 с.
8. Шальнев В.А., Каторгин И.Ю., Кизилова А.Е. Стрижамент. Уникальный природный комплекс Ставрополя. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет (СКФУ), 2017. 102 с.
9. Овдиенко Н.И., Мовсесова В.В. Оценка туристско-рекреационных ресурсов и их критерии на примере Кавказских Минеральных Вод // Курортно-рекреационный комплекс в системе регионального развития: инновационные подходы. 2013. № 1. С. 281–284.
10. Окмянская В.М. К вопросу мониторинга земель объектов особо охраняемых природных территорий // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2020. № 2. С. 4.

УДК 63:58.084.2:58.087:581.4:581.5

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ БИОЦЕНОЗОВ ПО СОСНЕ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

¹Зыков И.Е., ²Федорова Л.В., ³Баранов С.Г., ¹Ежкова В.Г.

¹Государственный гуманитарно-технологический университет, Орехово-Зуево,
e-mail: zikov-oz@yandex.ru;

²Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова,
Москва, e-mail: fedorova-oz@yandex.ru;

³ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
Владимир, e-mail: bar.serg58@gmail.com

Проведен анализ современных методов биоиндикации степени чистоты воздуха по сосне обыкновенной, разработанных С.В. Алексеевым, Т.Я. Ашихминой, А.И. Федоровой и А.Н. Никольской, О.П. Мелеховой и Е.И. Егоровой. Установлена их недостаточная информативность по отдельным морфометрическим характеристикам этого вида. Для более точной оценки состояния окружающей среды использованы совокупности нескольких признаков и ряд новых параметров. Предложена оригинальная методика интегральной балльной оценки степени чистоты воздуха по сосне обыкновенной, разработанная на основе принципа группировки структуры явления и структурных сдвигов, происходящих в нем, выявления связи и зависимости между явлениями. В качестве группировочных признаков использованы: плотность и средняя продолжительность жизни хвои, среднегодовые окружность и длина прироста главного побега, среднегодовое количество боковых побегов. По этим параметрам проведен расчет количества групп, численности совокупности, степени вариации признака. В результате вторичной группировки выявлено 5 групп значений для каждого признака, используя которые можно вычислить средний балл состояния окружающей среды района исследования. Для нахождения среднебалльной оценки нужно найти балл, соответствующий полученному результату по каждому параметру, а затем сложить все полученные баллы и разделить на количество оцениваемых параметров, производя округление по законам нахождения среднего.

Ключевые слова: биоиндикация, сосна обыкновенная, морфометрия, метод группировки признаков, интегральная оценка

PROPOSAL OF AN INTEGRATED ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF FOREST BIOCENOSSES FOR THE COMMON PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

¹Zykov I.E., ²Fedorova L.V., ³Baranov S.G., ¹Ezhkova V.G.

¹State University of Humanities and Technology, Orekhovo-Zuyevo, e-mail: zikov-oz@yandex.ru;

²The first Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov, Moscow,
e-mail: fedorova-oz@yandex.ru;

³Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir,
e-mail: bar.serg58@gmail.com

The analysis of modern methods of bioindication of the degree of purity of the air for scots pine, developed by S.V. Alekseev, T.Ya. Ashikhmina, A.I. Fedorova and A.N. Nikolskaya, O.P. Melekhova and E.I. Egorova, is carried out. Their insufficient information content on individual morphometric characteristics of this species been established. For a more accurate assessment of the state of the environment, aggregates of several features and a number of new parameters used. An original method of integral point estimation of the degree of purity of the air for the common pine is proposed, developed on the basis of the principle of grouping the structure of the phenomenon and structural shifts occurring in it, identifying the relationship and dependence between the phenomena. The following grouping features used: density and average life expectancy of needles, average annual circumference and length of growth of the main shoot, average annual number of lateral shoots. According to these parameters, the calculation of the number of groups, the number of the population, the degree of variation of the trait carried out. As a result of the secondary grouping, 5 groups of values for each feature were identified, using which the average score of the environmental condition of the study area can be calculated. To find the average score, you need to find the score corresponding to the result obtained for each parameter, and then add up all the points obtained and divide by the number of estimated parameters, rounding according to the laws of finding the average.

Keywords: bioindication, scots pine, morphometry, feature grouping method, integral assessment

Биоиндикация – одно из приоритетных направлений диагностики состояния окружающей среды. Она доступна всем категориям исследователей, поскольку не требует специ-

ального оборудования. Реакция биоиндикаторов – это комплексный ответ на изменения состояния среды обитания, отражающий весь спектр воздействия разнообразных факторов.

Материалы и методы исследования

Широко известны современные методики оценки степени чистоты воздуха по одному из эталонных биоиндикаторных видов средней полосы России – сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Однако большинство из них основывается на ограниченном числе морфологических параметров этого вида [1-3].

Главными критериями оценки степени загрязнения воздуха по методике С.В. Алексеева [1] является состояние хвои и ее возраст. В состоянии хвои автором выделено три класса повреждения и четыре класса усыхания. Каждому классу повреждения хвои соответствует шкала степени чистоты воздуха. Однако наши исследования показывают, что даже в достаточно чистых районах на одном дереве часто обнаруживается хвоя всех классов повреждения и усыхания. К тому же максимальный возраст хвои в 4 года может сочетаться со всеми тремя классами повреждения. Поэтому из методики С.В. Алексеева неясно, к какой степени загрязнения должна быть отнесена совокупность всех классов повреждения. Выделение классов усыхания вообще не имеет смысла, поскольку они не используются в определении состояния воздуха.

Т.Я. Ашихмина [2] представляет серию методик оценки степени чистоты воздуха, каждая из которых основана на каком-то одном параметре состояния вегетативных или генеративных органов сосны обыкновенной. Первая из них основана на изучении состояния хвои, которая собирается с боковых побегов средней части кроны 15-20-летних сосен и распределяется по трем группам: неповрежденная, поврежденная и усыхающая. Интерпретация результатов базируется на сравнительном анализе динамики состояния хвои за несколько лет. При впервые проводящемся таком анализе трактовка результатов бывает затруднена вследствие отсутствия градации степени повреждения хвои. Однако идея выделения трех групп в состоянии хвои представляется более надежным вариантом биоиндикации по сравнению с экспресс-анализом С.В. Алексеева [1].

Вторая методика Т.Я. Ашихминой [2] основана на обследовании длины и диаметра шишек сосны, которые в загрязненном воздухе могут снижаться на 15-20%, наряду с уменьшением их количества.

Третья методика предполагает определение загрязнения атмосферы по состоянию прироста центрального побега последнего года жизни. В условиях загрязнения, по мнению Т.Я. Ашихминой, он может снижаться на 20-60%. Этот параметр видится нам более лабильным и противоречивым, поскольку в загрязненных местообитаниях мы не раз наблюдали не снижение прироста, а его увеличение вследствие компенсаторного эффекта на уменьшение общей фотосинтезирующей поверхности хвоинок в результате их повреждения или усыхания. Таким образом, прирост, вероятно, следует учитывать не отдельно, а в совокупности с распределением хвои по классам повреждения [4].

Продолжительность жизни хвои оценивается Т.Я. Ашихминой как самостоятельный параметр, хотя С.В. Алексеев рассматривал его в совокупности с характером ее повреждений. Т.Я. Ашихмина вводит формулу для вычисления индекса продолжительности жизни хвои, который зависит от количества осмотренных деревьев и класса повреждения хвоинок.

А.И. Федорова и А.Н. Никольская [5] предлагают интегральную оценку состояния воздуха по комплексу признаков хвои, прироста побегов и почек. Хвою они обследуют на предмет продолжительности жизни, повреждения, а также учитывают ее длину, ширину и массу. Авторы вводят еще один параметр – количество хвоинок на 10 см побега. Считается, что из-за ухудшения роста побегов укороченные побеги сосны более сближены, и на 10 см побега их должно быть больше. К сожалению, не совсем ясно, каким образом учитывать хвоинки на этих 10 см, ведь в прямой ряд они не выстраиваются. Возможно, авторы имеют в виду количество хвоинок на всю площадь побега, имеющего длину 10 см. Чтобы оптимизировать этот аспект, мы вводим такой параметр, как плотность хвои (P) [4], которая равна отношению количества хвоинок (X) к площади поверхности побега (S), т.е. к произведению его длины на длину окружности ($P = X / S$).

Методика А.И. Федоровой и А.Н. Никольской предполагает изучение побегов: длину прироста каждого года жизни, его толщину и ветвление, а также измерение длины и толщины почек. На основании полученных результатов выводится средняя величина по каждому показателю.

Все биометрические данные изучения хвои, побегов и почек выражаются в баллах от 1 до 5, где самый высокий балл соответствует чистой зоне. Однако какой балл какому цифровому значению соответствует, авторами методики не указано. Все параметры снимаются с предварительно срезанных одновозрастных побегов, расположенных на высоте 2 м в той части кроны, которая обращена к зонам загрязнения воздуха. Таким образом, не предполагается обследование одних и тех же побегов, что явно ведет к росту варибельности результатов.

Работа О.П. Мелеховой и Е.И. Егоровой [3] описывает метаморфозы сосны в условиях радиоактивного загрязнения и воздействия оксида серы (IV). Примечательно, что под воздействием радиации у сосны может наблюдаться как торможение роста в виде гибели почек, хвои и побегов, так и обратная реакция – увеличение прироста в течение вегетационного периода, многопочечность. Эти явления отмечены нами в ходе многолетних наблюдений в зонах техногенного загрязнения.

Анализ перечисленных методик позволяет констатировать, что в отдельности морфологические характеристики сосны обыкновенной недостаточно информативны. Совокупность параметров, а также введение новых позволяет дать более точную оценку состояния окружающей среды с помощью этого индикаторного вида.

Результаты исследования и их обсуждение

Сбор и первичная обработка полевого материала

1. Выбрать точку исследования, на территории которой можно найти сосны 10-15-летнего возраста высотой 1-1,5 м.

2. Описать местоположение выбранной точки исследования, особо обратив внимание на антропогенную нагрузку, ориента-

цию объектов-загрязнителей окружающей среды по сторонам света, направление господствующих ветров и т.д.

3. В точке исследования выбрать 5 сосен нужного возраста и высоты, растущих друг от друга на расстоянии 5-10 м.

3.1. Определить возраст каждого дерева по количеству мутовок главного побега плюс 2 (в первые 2 года жизни рост боковых побегов не происходит). Данные занести в таблицу 1.

3.2. Определить продолжительность жизни хвои [1; 5; 6]. Для этого обследовать приросты главного побега, начиная с прироста последнего года. На каком количестве приростов последних лет, начиная с верхнего, сохранилась хвоя, столько лет она и прожила. Продолжительность жизни хвои может быть выражена не только целым, но и дробным числом, если на последнем охвоенном участке ствола сохранилась только часть хвои [1; 7].

3.3. Изучить ежегодный прирост [2; 8; 9] главного побега каждого дерева в длину и толщину, особенности ветвления. Для этого у каждой сосны измерить длину прироста главного побега от его верхушки до боковых побегов, окружность побега в точке ветвления, подсчитать количество боковых побегов. Начинать лучше сверху, с прироста последнего года, продвигаясь к основанию ствола. Провести измерения только главного побега, формирующего ствол дерева. Данные занести в таблицу 1.

3.4. С каждой сосны собрать всю хвою с прироста главного побега предпоследнего года жизни в отдельный пакет с указанием № пробной площадки, ее местоположения, № сосны, Ф.И.О. сборщика, даты сбора материала.

Изучение повреждений и усыханий хвои производят в лабораторных условиях с использованием бинокля не позднее чем через неделю после сбора основного материала.

Таблица 1

Результаты измерения побегов сосны № 1...5 на пробной площадке (местоположение)

№ п/п прироста главного побега, начиная с последнего сверху	Длина прироста главного побега (см)	Длина окружности прироста главного побега (см)	Число боковых побегов в мутовках (шт.)
1			
2 и т.д.			
Среднее			

*Камеральная обработка
полевого материала*

1. Собранный хвою с предпоследнего прироста главного побега изучают у каждой сосны отдельно. Предварительно разложив ее на столе, подсчитывают количество пар хвоинок, то есть укороченных побегов. В условиях сильного загрязнения воздуха особенности роста укороченных побегов часто нарушаются: хвоинки могут расти пучками по 3, 4, 5 в пазухах чешуевидных листьев. Такие укороченные побеги необходимо учитывать отдельно. Данные изучения укороченных побегов внести в таблицу 2.

2. Разделить хвоинки по одной и, используя бинокляр, разложить по классам повреждения и усыхания. При анализе нужно помнить, что окраска кончика хвоинки всегда более светлая.

Классы повреждения и усыхания:

1 класс – хвоя без повреждений и усыханий;

2 класс – хвоя поврежденная: с микро- и макронекрозами;

3 класс – усыхающая хвоя (кончик хвоинки, половина хвоинки, полностью сухая хвоинка);

4 класс – повреждения хвои насекомыми: погрызы, проколы и т.д.

3. Вычислить средние биометрические параметры. Для нахождения среднегодовой длины окружности (4 столбец таблицы 3) суммировать длины окружностей всех побегов (3 столбец таблицы 1) данной сосны и разделить на количество побегов. Аналогичным образом найти среднегодовые длины приростов и среднее количество боковых побегов. По полученным по каждой сосне данным вывести средние значения для точки исследования. Для этого средние результаты (столбцы 2, 3, 4 таблицы 1) одной сосны сложить со средними результатами соответствующих столбцов других сосен и разделить на количество исследованных деревьев. Полученные средние значения занести в таблицу 3.

4. Найти плотность (ρ_0) хвои по формуле:

$$\rho_0 = N / a \times b,$$

где ρ_0 – плотность, N – количество хвоинок на предпоследнем приросте главного побега (шт.), a – длина предпоследнего прироста главного побега (см), b – длина окружности предпоследнего прироста главного побега (см). Данные занести в таблицу 4.

Таблица 2

Результаты исследования хвои по классам повреждения и усыхания на пробной площадке (местоположение)

№ сосны	Общее количество хвоинок	По 2 хвоинки в укороченном побеге		По 3 и более хвоинки в укороченном побеге		1 класс (без повреждений)		2 класс (повреждения)		3 класс (усыхания)		4 класс (повреждения насекомыми)	
		шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
1													
2 и т.д.													
Среднее													

Таблица 3

Средние результаты измерения побегов на пробной площадке (местоположение)

№ сосны	Возраст сосен (лет)	Продолжительность жизни хвои (лет)	Среднегодовая окружность прироста главного побега (см)	Среднегодовая длина прироста главного побега (см)	Среднегодовое количество боковых побегов (шт.)
1					
2 и т.д.					
Среднее					

Таблица 4

Плотность хвои на предпоследнем приросте главного побега, шт./см²

№ сосны	Длина прироста (см)	Длина окружности (см)	Площадь поверхности (см ²)	Общее количество хвоинок (шт.)	Плотность хвои (шт./см ²)
1					
2 и т.д.					
Среднее					

Результаты исследования и их обсуждение

Ниже представлен алгоритм разработки интегральной методики оценки степени чистоты воздуха по метрическим характеристикам вегетативных органов сосны обыкновенной, апробированной авторами в течение пяти лет на 20 пробных площадках восточного Подмосковья (г. Орехово-Зуево и Орехово-Зуевского района). Для получения балльной оценки мерные параметры обработаны с помощью методов математической статистики.

Полученные результаты в каждой точке исследования обобщены и систематизированы путем подсчета общих итогов по совокупности единиц наблюдения (сводки) и сгруппированы. Примененный метод группировки направлен на изучение структуры явления и структурных сдвигов, происходящих в нем, выявление связи и зависимости между явлениями [10; 11].

Проведение сводки и группировки предполагает:

- 1) выбор группировочного признака;
- 2) определение порядка формирования групп;
- 3) разработку статистических показателей для характеристики групп и выборки в целом;
- 4) разработку макетов статистических таблиц для представления результатов сводки.

В качестве группировочных признаков использованы:

- 1) плотность хвои;
- 2) средняя продолжительность жизни хвои;
- 3) среднегодовая окружность прироста главного побега;
- 4) среднегодовая длина прироста главного побега;
- 5) среднегодовое количество боковых побегов.

После определения основания группировки решен вопрос о количестве групп, численности совокупности, степени вариации признака.

Число групп определено по формуле Стерджесса:

$$n \approx 1 + \log_2 N, \text{ или } n \approx 1 + 3,322 \cdot \lg N,$$

где n – число групп, N – число единиц совокупности.

В совокупности обследовано 100 деревьев: по 5 на 20 пробных площадках.

$$n \approx 1 + \log_2 100 = 1 + 6,64 = 7,64,$$

$$n \approx 1 + 3,322 \cdot \lg 100 = 1 + 6,644 = 7,644$$

$$n = 8$$

После установления числа групп определен интервал группировки (размах выборки R) как разность между верхней и нижней границами интервала: $R = x_{max} - x_{min}$

$$R_1 = 3,8; R_2 = 1,9; R_3 = 9,2;$$

$$R_4 = 92,7; R_5 = 20,5; R_6 = 1,8$$

и величина интервала группировки: $h = R / n$

$$h_1 = h_1 = 0,5; h_2 = 0,2; h_3 = 1,2;$$

$$h_4 = 12; h_5 = 2,6; h_6 = 0,2.$$

Далее обозначены границы групп с равными интервалами (табл. 5).

После выбора интервалов группировки определены частоты – количество n_i элементов выборки, попавших в i -интервал (элемент, совпавший с правой границей интервала, относится к последующему интервалу). Получен статистический ряд: в верхней строке содержатся середины интервалов группировки, а в нижней – частоты n_i (табл. 6).

Аналитические группировки вносят погрешность в дальнейшие вычисления (погрешность растет с увеличением числа интервалов), т.к. связаны с потерей части информации, заключенной в выборке. Однако они позволяют установить связь и определить направление между результативным и факторным признаком.

Таблица 5

Группировка полевого материала
по основным метрическим параметрам сосны обыкновенной

Признак	Группа							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	до 1,1	1,1–1,6	1,6–2,1	2,1–2,6	2,6–3,1	3,1–3,6	3,6–4,1	4,1 и более
2	до 1,6	1,6–1,8	1,8–2,0	2,0–2,2	2,2–2,4	2,4–2,6	2,6–2,8	2,8 и более
3	до 41,8	41,8–53,8	53,8–65,8	65,8–77,8	77,8–89,8	89,8–101,8	101,8–113,8	113,8 и более
4	до 11,4	11,4–14,0	14,0–16,6	16,6–19,2	19,2–21,8	21,8–24,4	24,4–27,0	27,0 и более
5	до 2,8	2,8–3,0	3,0–3,2	3,2–3,4	3,4–3,6	3,6–3,8	3,8–4,0	4,0 и более

Таблица 6

Таблица частот и средин интервалов группированной выборки

Признак 1	0,85	1,35	1,85	2,35	2,85	3,35	3,85	4,35
	5	5	5	1	0	0	1	3
Признак 2	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9
	0	1	3	6	3	6	0	1
Признак 3	35,8	47,8	59,8	71,8	83,8	95,8	107,8	119,8
	2	3	2	2	4	3	3	1
Признак 4	10,1	12,7	15,3	17,9	20,5	23,1	25,7	28,3
	1	0	2	5	2	2	2	6
Признак 5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1
	0	0	2	1	5	1	3	8

Таблица 7

Таблица частот и средин интервалов вторичной группированной выборки

Признак 1	0,6	1,6	2,6	3,6	4,6
	5	10	1	1	3
Признак 2	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0
	0	4	9	6	1
Признак 3	29,8	53,8	77,8	101,8	125,8
	2	5	6	6	1
Признак 4	8,8	14,0	19,2	24,4	29,6
	1	2	7	4	6
Признак 5	2,6	3,0	3,4	3,8	4,2

В действительности на изменение величины результативного признака оказывает влияние множество факторов, действующих в разных направлениях. Для изучения таких многофакторных связей используют вторичные и многомерные группировки.

Проведена вторичная группировка на основе ранее построенной группировки путем объединения первоначальных интервалов. Построен статистический ряд, в верхней строке которого отмечены середины интервалов вторичной группировки, а в нижней – частоты n_i (табл. 7).

Таблица 8

Балльная оценка состояния окружающей среды
по метрическим параметрам сосны обыкновенной

Параметры Баллы	Плотность хвои (шт./см ²)	Средняя продолжи- тельность жизни хвои (лет)	Среднегодовая окружность прироста главного побега (см)	Среднегодовая длина прироста главного побега (см)	Среднегодовое количество боковых побегов (шт.)
1 – относительная норма	до 1,1	более 2,8	более 11,4	более 27,0	более 4,0
2 – слабое загрязнение, фоновое состояние	1,1-2,1	2,4-2,8	9,0-11,4	21,8–27,0	3,6-4,0
3 – среднее загрязнение	2,1-3,1	2,0-2,4	6,6-9,0	16,6–21,8	3,2-3,6
4 – сильное загрязнение	3,1-4,1	1,6-2,0	4,2-6,6	11,4–16,6	2,8-3,2
5 – очень сильное загрязнение, тревога	более 4,1	до 1,6	до 4,2	до 11,4	до 2,8

В результате вторичной группировки выявлено 5 групп значений для каждого признака, представленных в итоговой таблице 8, используя которые можно вычислить средний балл состояния окружающей среды района исследования. Для нахождения среднебалльной оценки нужно найти балл, соответствующий полученному результату по каждому параметру, а затем сложить все полученные баллы и разделить на количество оцениваемых параметров, производя округление по законам нахождения среднего [10; 11].

Например, в точке N получены значения плотности хвои – 0,9 шт./см² (балл 1), средней продолжительности жизни хвои – 2 года (балл 3), среднегодовой окружности прироста главного побега – 9,5 см (балл 2), среднегодовой длины прироста главного побега – 21,1 см (балл 3); среднегодового количества боковых побегов – 3,7 шт. (балл 2). Сумма баллов составляет 1+3+2+3+2=11. Среднее арифметическое 11/5 равно 2,2. Округляя, получаем интегральный балл 2, что соответствует фоновому состоянию окружающей среды района исследования.

Следует отметить, что чем выше плотность хвои, тем больше количество брахибластов на удлинённых побегах. Их рост стимулирован повреждением фотосинтетического аппарата сосны обыкновенной, т.е. компенсаторным эффектом, поэтому наименьшие значения признака свидетельствуют о лучшем состоянии окружающей среды

(до 1,1) – 1 балл – условная норма. Последовательность значений в остальных группах признаков обратная, поскольку снижение интенсивности нарастания и ветвления побегов свидетельствует об ухудшении состояния окружающей среды.

Заключение

Предложенная методика не претендует на исчерпывающую полноту. Это лишь попытка интегральной балльной оценки экологического состояния лесных биоценозов по метрическим параметрам сосны обыкновенной. Возможно, в других регионах страны [12-14] будут получены иные результаты, и им будет дана иная интерпретация.

Список литературы

1. Алексеев С.В., Груздева Н.В., Муравьев А.Г., Гушина Э.В. Практикум по экологии: учебное пособие / под ред. С.В. Алексеева. М.: АО МДС, 1996. 189 с.
2. Ашихмина Т.Я. Экологический мониторинг. М.: Академический проект, 2005. 416 с.
3. Мелехова О.П., Егорова Е.И. Биологический контроль окружающей среды: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М.: ИЦ Академия, 2007. 288 с.
4. Зыков И.Е., Федорова Л.В. Современные технологии биоиндикации: методические рекомендации по организации и проведению научно-исследовательской работы в школе и ВУЗе. Орехово-Зуево: РИО ГГТУ, 2016. 40 с.
5. Федорова А.И., Никольская А.Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М.: Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС, 2001. 288 с.
6. Лебедев В.Г. Анализ изменчивости количественных признаков хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в связи с дифференциацией популяций: дис. ... канд. биол. наук. Киров, 2014. 146 с.

7. Шаяхметова Р.И., Егорова Н.Н. Анатомические особенности хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на территории Нижневартовского района, Хмао-Югра // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 6 (140). С. 72-77.
8. Данчева А.В., Залесов С.В. Использование комплексного оценочного показателя при оценке состояния сосняков государственного лесного природного резервата «Семей Орманы» // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. Вып. 215. С. 41–54. DOI: 10.21266/2079-4304.2016.215.41-54.
9. Вахнина И.Л., Ларин В.С., Пак Л.Н. Влияние эколого-генетических факторов на морфометрические параметры и динамику годичного прироста древесины в испытательных культурах *Pinus sylvestris* L // Успехи современного естествознания. 2020. № 1. С. 5-11.
10. Общая теория статистики: учебник / под ред. М.Г. Назарова. М.: Омега-Л, 2018. 320 с.
11. Лысенко С.Н. Дмитриева И.А. Общая теория статистики: учебное пособие. М.: Вузовский учебник, 2019. 216 с.
12. Данчева А.В., Залесов С.В. Взаимосвязь параметров ассимиляционного аппарата деревьев с коэффициентом напряженности роста в сосняках Барнаульского ГНПП // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2017. № 3. С. 4-12. DOI 10.21178/2079-6080.2017.3.4.
13. Захаров А.Б. Дендроиндикация загрязненности окружающей среды урбанизированных территорий на примере искусственных популяций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) Балахнинской низменности: дис. ... канд. биол. наук. Нижний Новгород, 2014. 140 с.
14. Скрипальщикова Л.Н. Морфолого-анатомические особенности хвои сосны обыкновенной под влиянием промышленных выбросов города Красноярска // Сибирский лесной журнал. 2016. № 3. С. 46-56.

УДК 551.578.4:57.044

ГЕНОТОКСИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ УГОЛЬНО-ПОРОДНЫХ ПЫЛЕВЫХ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ТЧ10 И ТЧ0,1, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ПРОБ СНЕГА, В КУЛЬТУРЕ КЛЕТОК A549*

Ларионов А.В., Баранова Е.Д., Ощепкова К.И.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово,

e-mail: alekseylarionov09@gmail.com

Твердые частицы (ТЧ) размером <10 мкм представляют собой неоднородную группу объектов, способных проникать в дыхательные пути человека. Настоящее исследование направлено на выделение образцов грубых и ультрадисперсных ТЧ на некотором расстоянии от предприятий добычи угля открытым способом (1–1,5 км от границы карьеров за пределами санитарно-защитной зоны). ТЧ были выделены и сконцентрированы из образцов снега, что позволило аккумулировать относительно большое количество ультрадисперсных частиц (50–60 мг) с пяти объектов: трех разрезов (P1, P2, P3), угольной электростанции (Т) и двух контрольных территорий (K1, K2). Токсичность оценивали в альвеолярных эпителиоцитах карциномы человека A549 после шестичасового контакта *in vitro* с образцами ТЧ. Пролиферация клеток A549, подвергшихся воздействию образцов ТЧ0,1, была значительно ниже ($p < 0,01$) в пробах P2, P3 и Т, чем у клеток, экспонированных воздействию ТЧ-10 в той же концентрации. Образцы ТЧ0,1 в пробах Т, K1 и K2 показали повышенный уровень повреждений (микроядра, %) по сравнению с образцами ТЧ10. Полученные данные были сопоставлены с проведенным ранее анализом фракционного и химического состава ТЧ. Результаты исследования показывают, что ультрадисперсные частицы ТЧ0,1 заслуживают особого внимания как биологический агент, отличный от более крупных ТЧ. Их токсичность может быть вызвана физико-химическими свойствами кристаллической фазы, а не специфическими компонентами источника загрязнения.

Ключевые слова: ТЧ, наночастицы, ультрадисперсные частицы, загрязнение воздуха, химические свойства ТЧ, микроядра, A549

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-50114.

GENOTOXIC EFFECTS OF CARBON-ROCK PM10 AND PM0.1 ISOLATED FROM SNOW SAMPLES IN A549 CELL CULTURE

Larionov A.V., Baranova E.D., Oshchepkova K.I.

Kemerovo State University, Kemerovo, e-mail: alekseylarionov09@gmail.com

Particulate matter (PM) <10 μm in size represents a heterogeneous group of objects capable of entering the human respiratory tract. The present study is aimed at isolating samples of coarse and ultrafine PM at some distance from open-pit coal mining enterprises (1–1.5 km from the boundary of the quarries outside the sanitary protection zone). PM were isolated and concentrated from snow samples, which allowed the accumulation of relatively large amounts of ultrafine particles (50–60 mg) from five sites: three sections (P1, P2, P3), a coal-fired power plant (T) and two control areas (K1, K2). Toxicity was assessed in alveolar epithelial cells of human carcinoma A549 after 6 h of *in vitro* contact with PM samples. The proliferation of A549 cells exposed to PM0.1 samples was significantly lower ($p < 0.01$) in P2, P3 and T samples than in cells exposed to PM-10 at the same concentration. Samples of PM0.1 in samples T, K1 and K2 showed an increased level of damage (microkernels, %) compared with samples of PM10. The data obtained were compared with previous analysis of the fractional and chemical composition of PM. The results of the study showed that ultrafine PM0.1 particles deserved special attention as a biological agent distinct from larger PM. Their toxicity can be caused by the physicochemical properties of the crystalline phase, rather than by the specific components of the source of contamination.

Keywords: PM, nanoparticles, ultrafine particles, загрязнение воздуха, химические свойства ТЧ, микроядра, A549

Добыча полезных ископаемых сопровождается выбросом большого объема аэрозолей, которые включают твердые частицы (ТЧ). В процессе добычи угля большая часть ТЧ образуется в результате механического разрушения угля и материнских пород. ТЧ могут участвовать в переносе газообразных компонентов и аэрозолей, которые способны воздействовать на дыхательные пути. Высокая влажность может сократить выбросы ТЧ; технические процессы, например бурение и взрывы, удаление верхнего слоя почвы, транспортировка угля, эрозия открытых складов полезных ископаемых

и многие другие факторы, могут увеличить выбросы ТЧ [1]. Распространение пыли от источника может меняться от сезона к сезону. В исследуемом районе снижение температуры и средней скорости ветра зимой приводит к уменьшению перемешивания воздушных масс и распространению ТЧ в нижних пограничных слоях атмосферы. Угольные хранилища и отвалы также являются важным источником ТЧ, а горные породы с низкой влажностью способны генерировать больше пыли, чем сам уголь [2]. Транспортировка угля железнодорожным и автомобильным транспортом значительно

увеличивает местную генерацию ТЧ, особенно вдыхаемых ТЧ3 и ТЧ10. Даже если расстояние перевозки невелико, дороги могут располагаться вблизи жилых домов и рабочих мест, и генерируемые ТЧ напрямую влияют на людей [3, 4].

Крупные частицы от 2,5 до 10 мкм (ТЧ10) откладываются в верхних дыхательных путях, тогда как мелкая фракция размерами 0,1–2,5 мкм (ТЧ2,5) проникает в нижние дыхательные пути и альвеолы. Фракция ТЧ2,5 считается наиболее опасной и способна вызывать химические реакции в альвеолярных областях и перенос токсичных компонентов к альвеолярной стенке. Площадь поверхности ТЧ0,1 может быть до 100 раз выше, чем у крупных частиц сопоставимой массы; кроме того, они обладают большей способностью к поглощению тяжелых металлов и других сопутствующих загрязнителей по сравнению с крупными частицами [5]. Это обеспечивает высокую способность к адсорбции органических или неорганических загрязнителей, включая активные формы кислорода. Воздействие наночастиц часто обсуждается в связи с клеточными воспалительными реакциями и индукцией окислительного стресса, а патологические реакции легочной ткани могут включать эпителиально-мезенхимальный переход. Воздействие ТЧ0,1 может влиять на характер экспрессии генов. Наночастицы, генерируемые при сгорании дизельного топлива и биомассы, могут индуцировать экспрессию воспалительных маркеров и транскрипционных маркеров.

С нашей точки зрения, важно исследовать частицы вдыхаемых ТЧ, способных переноситься на большое расстояние от источника загрязнения и экспонировать не только в профессиональных группах, но и в условиях проживания людей. Представленное исследование было направлено на выделение образцов крупнодисперсных и ультрадисперсных ТЧ на определенном расстоянии от угледобывающих предприятий (1–1,5 км от границы карьера). Мы предположили, что эти образцы будут отражать комплексное воздействие, сочетающее распространение частиц вдоль дорог перевозки угля, воздушные потоки от объекта и т.д. Используя метод снеговой съемки, мы собрали относительно большое количество ультрадисперсных частиц (50–60 мг) для моделирования экспозиции клеток человека *in vitro*.

Настоящее исследование направлено на выделение образцов грубых и ультра-

дисперсных ТЧ на некотором расстоянии от предприятий добычи угля открытым способом (1–1,5 км от границы карьеров за пределами санитарно-защитной зоны) и исследование их генотоксических свойств на модели клеток легкого.

Материалы и методы исследования

Сбор и выделение ТЧ. Образцы частиц были собраны на территории Кемеровской области (Западная Сибирь, Россия) в конце периода снегонакопления (март 2020 г.). Все пробы собраны на отдалении 1–1,5 км от объектов угольной промышленности, за пределами санитарно-защитной зоны (табл. 1). Направление сбора проб по отношению к объекту было выбрано с учетом преобладающего направления ветра в зимний период.

Таблица 1

Точки сбора ТЧ

Пункт сбора ТЧ	Символ	Удаление от промышленных предприятий, м
Карьер «Бачатский»	P1	1250
Карьер «Новобачатский»	P2	500
Карьер «Пермяковский»	P3	1250
Угольная электростанция «Беловская»	T	1700
Р-н д. Красная	K1	>15000
Р-н п. Кузбасский	K2	>25000

Отбор проб проводился методом снеговой съемки (ГОСТ 17.1.5.05-85) на участке 5 × 5 м. Пробы собирались с помощью устройств для отбора проб снега из химически стойкого полимерного материала. В каждой точке сбора проб было отобрано десять проб снега; эти образцы сначала размораживали, а затем смешивали в равных пропорциях в лаборатории.

Замороженные образцы размораживали и подвергали последовательной фильтрации с использованием вакуумной системы Sterifil (Merck KGaA, Дармштадт, Германия) на мембранных нейлоновых фильтрах с различными диаметрами пор (10, 2,5 и 0,1 мкм) (GVS, Sanford, FL, США). Суспензии фракций ТЧ10 и ТЧ2,5 получали путем удаления фракций из фильтров в сверхчистой водной среде (Simplicity, Merck KGaA, Дармштадт, Германия) с использованием ультразвуковой ванны Elmasonic S30H (Elma, Singen, Герма-

ния). Частицы 10–2,5 и 2,5–0,1 были смешаны и в дальнейшем обозначены как ТЧ10. Таким образом, для проведения эксперимента были получены образцы ТЧ10 (10–0,1 мкм) и ТЧ0,1 (<0,1 мкм). Далее суспензии ТЧ концентрировали с использованием вакуумного роторного концентратора (Эппендорф, Гамбург, Германия) и высушивали. В качестве положительного контроля использовалась суспензия наноразмерного алюминиевого порошка ALEX (Advanced Powder Technologies, Томск, Россия). Образец стерилизовали при 121°C в течение 30 мин и ресуспендировали в ультразвуковой ванне в течение 5 мин.

Альвеолярные эпителиальные клетки карциномы человека A549 использовались для экспонирования образцами ТЧ. Для экспериментов клетки были посажены, собраны и подсчитаны, как описано ранее [6]. Финальные концентрации проб ТЧ составляли 0,25, 0,5 и 1 мг/мл, все варианты эксперимента повторялись 3 раза. Для экспонирования клетки высаживали в шестилуночные культуральные планшеты (Эппендорф, Гамбург, Германия), после чего клетки культивировали в течение 24 ч, далее 6 ч с образцами ТЧ и 48 ч со свежей средой. Параллельно выполняли пробы отрицательного («К–»), положительного («К+») и контроля разбавления («Кр»).

Выживаемость клеток рассчитывали как долю (%) жизнеспособных клеток к общему количеству клеток, определенному в образце с помощью камеры Горяева. В качестве показателя пролиферации рассчитывали «Относительное увеличение числа клеток – Relative increase in cell count» (RICC) [7] согласно уравнению (1).

Для проведения микроядерного (МЯ) теста использовали 10^5 клеток, полученных после удаления среды. Клеточные суспензии фиксировали с помощью холодного фиксатора Кларка (метанол: уксусная кислота, 3:1). Препараты оценивали с помощью флуоресцентного микроскопа Altami LUM 1 («Альтами», Санкт-Петербург, Россия) с увеличением $\times 1000$. Препараты шифровали, чтобы исключить субъективность. Было проанализировано 1000 клеток с каждого препарата.

Статистический анализ проводили с использованием программного пакета Statistica 10.0 (StatSoft, Tulsa, США). Для каждого параметра были рассчитаны средние значения и стандартные отклонения. Различия между образцами, обработанными частицами из разных точек определяли с помощью рангового теста Крускала–Уоллиса. Сравнение параметров между образцами ТЧ10 и ТЧ0,1, а также парное сравнение параметров образцов из разных точек проводили с помощью теста Манна–Уитни.

Результаты исследования и их обсуждение

Выживаемость и токсичность образцов ТЧ оценивали при экспонировании клеток суспензиями ТЧ с концентрацией 0,25, 0,5 и 1 мг/мл. Показатели выживаемости и пролиферации снижались с повышением содержания ТЧ во всех образцах. Значительное снижение пролиферации клеток отмечено в образцах Р2, Р3 и Т для фракции ТЧ0,1 и Р1 для фракции ТЧ10. Снижение выживаемости отмечено для пробы Р1 ТЧ10, а также Р1, Т, К1 и К2 для фракции ТЧ0,1 (табл. 2).

Частота микроядер в образцах клеток A549, экспонированных ТЧ, значительно превышала показатели отрицательного контроля и контроля разведения для всех проб с концентрацией 1 мг/мл. Значимое увеличение частоты МЯ отмечено в пробах положительного контроля (наночастицы $Al(OH)_3$) по сравнению с образцами отрицательного контроля ($p \leq 0,001$). Увеличение концентрации ТЧ (различие между концентрациями 0,25 до 1 мг/мл) вызывало значимое повышение частоты МЯ в образцах Р2, Р3 и К1 для ТЧ10 и Т, К1 и К2 для ТЧ0,1 соответственно (табл. 3). Сравнение эффектов ТЧ10 и ТЧ0,1 показало, что для 5 образцов из 6 точек Р2, Р3, Т, К1, К2 среднее значение МЯ для ТЧ0,1 превышало ТЧ10 ($p < 0,05$). Кроме того, не было отмечено существенной разницы между отрицательным контролем и контролем разбавления. Таким образом, можно сделать вывод, что клеточная модель была точной и отражала последовательное увеличение интенсивности экспонирования.

$$RICC = \frac{\text{Увеличение количества клеток в экспонируемой культуре} \\ (\text{число клеток в конце} - \text{число клеток в начале})}{\text{Увеличение количества клеток в отрицательном контроле} \\ (\text{число клеток в конце} - \text{число клеток в начале})}, \quad (1)$$

Таблица 2

Показатели выживаемости и пролиферации (RICC) в культурах клеток А549, экспонированных ТЧ

		RICC		Выживаемость, %	
Отрицательный контроль		100		96,7±3,2	
Контроль разведения		97,5±3,8		92,2±5,6	
Положительный контроль (1 мг/мл)		20,7±18,3		60,9±6,9	
Проба	Концентрация ТЧ, мг/мл	ТЧ10		ТЧ0,1	
		RICC	Выживаемость, %	RICC	Выживаемость, %
P1	1	33,6±7,1	55,3±16,5	45,6±7,1	43,4±13,5
	0,5	56,9±9,6	85,7±9,5	61,7±7,2	65,7±15,4
	0,25	89,2±9,1	86,0±13,1	87,9±12,2	91,7±16,2
P2	1	38,3±11,1	74,4±9,4	28,7±10,6	65,1±13,1
	0,5	59,7±12,3	78,8±14,7	53,1±15,8	75,1±16,4
	0,25	73,1±13,2	84,3±17,8	61,5±18,1	91,7±11,9
P3	1	44,7±13,0	79±8,3	34,4±8,4	66,2±15,8
	0,5	47,2±16,0	86,3±11,25	50,1±9,9	73,7±12,9
	0,25	86,3±9,5	86±13,8	68,3±16,5	91,3±12,4
T	1	22,4±12,0	64,8±13,9	18,5±5,9	49,4±17,3
	0,5	48,6±14,4	69,6±12,8	48,6±15,6	68,1±15,6
	0,25	56,1±12,6	86,5±14,6	89,7±13,8	81,8±14,7
K1	1	12,1±12,4	68,2±13,6	41,2±4,4	35,4±19,5
	0,5	22,9±16,4	74,4±16,9	54,9±9,5	51,8±15,2
	0,25	44,9±12,3	84,1±14	60,7±10,9	83,3±13
K2	1	27,7±12	79,2±13,6	45,3±7,3	35,5±19,5
	0,5	57,1±16,5	88,4±16,9	52,5±11,5	63,8±15,4
	0,25	82,4±22,3	90,7±14,9	75,9±12,9	77,5±13,2

Примечание: для выделенных значений отмечены значимые различия между образцами с меньшей и большей концентрациями ТЧ (0,25–1 мг/мл), $p < 0,01$.

Выполненный ранее анализ химического состава данных микро- и наночастиц методами абсорбционной спектроскопии позволил установить их преимущественно минеральное происхождение [6]. ТЧ содержат минеральное вещество, кристаллические частицы, элементарный углерод и органическое вещество. Значительную составляющую всех исследованных образцов составляла аморфная фаза. Образцы ТЧ10 содержали кварц. Также для образцов ТЧ10 в пробах P1, P2 и T и для всех частиц ТЧ0,1 было обнаружено значительное содержание кальцита. Присутствие аморфного углерода отмечалось в образцах ТЧ10 во всех пробах, но не в образцах ТЧ0,1, вероятно, размеры частиц углерода превышали 100 нм. Кристаллические частицы, присутствующие в образцах P1-3 и T, были представлены кальцитовыми поликри-

сталлическими кварцевыми и аморфными силикатными фазами, которые имеют развитую поверхность. Указанные особенности ТЧ могут служить источником обнаруженных генотоксических свойств, если предположить, что токсичность пропорциональна суммарной площади кристаллической поверхности и/или веществам, адсорбированным на поверхности частиц.

ТЧ0,1 считаются высокотоксичными веществами с более высокими концентрациями летучих и абсорбированных соединений, с обогащением до 50 раз в сравнении с грубыми (ТЧ10) или мелкодисперсными фракциями (ТЧ2,5). В литературе упоминается также возможность увеличения числа оксигенированных функциональных групп на поверхности, что коррелировало с высоким содержанием углерода в ТЧ0,1.

Таблица 3

Показатели микроядерного теста в клетках А549, экспонированных ТЧ

		Всего МЯ, ‰	
Отрицательный контроль		6,5±2,3	
Контроль разведения		7,5±3,6	
Положительный контроль (1 мг/мл)		26,3±3,8	
Проба	Концентрация ТЧ, мг/мл	ТЧ10	ТЧ0,1
P1	1	30±7,1	33,7±7,1
	0,5	26±4,6	31±7,2
	0,25	22±3,7	19±5,2
P2	1	27,3±3,8	33±6,5
	0,5	24,5±4,6	30,5±4,6
	0,25	13,1±3,2	24,2±2,7
P3	1	23,5±3,3	34,5±8,4
	0,5	20±3,8	33,3±3,8
	0,25	11,8±3,3	26,7±3,8
Т	1	19,7±3,7	35,9±4,7
	0,5	22±4,6	32,3±3,3
	0,25	18,3±3,4	19,7±3,8
K1	1	34±6,5	41,2±7,4
	0,5	25±5,4	38±6,5
	0,25	11±3,3	17±4,6
K2	1	22,5±12,0	38±7,3
	0,5	23,0±6,5	33,5±10,5
	0,25	16,3±4,6	21,7±3,7

Примечание: для выделенных значений, отмечены значимые различия между образцами с меньшей и большей концентрациями ТЧ (0,25–1 мг/мл), $p < 0,01$.

Кроме того, при карьерном способе добычи уголь хранится на солнечном свете при высоких температурах окружающей среды, где самопроизвольное и неполное сжигание угля может привести к выбросам ПАУ [8]. В частности, на открытых горных объектах эти токсичные вещества выбрасываются в атмосферу, где они могут образовывать сложные смеси (минеральная фракция / черный уголь / выхлопные газы транспортных средств / взрывчатые компоненты) [9]. Компоненты таких смесей могут оказывать потенциально синергетическое воздействие, и, следовательно, такие смеси представляют собой существенную угрозу для здоровья и безопасности населения, подвергнувшегося воздействию.

Заключение

В данной работе нам удалось выделить ТЧ размером менее 10 мкм, а также отдельно выделить фракцию наночастиц ТЧ0,1 и оценить их генотоксические свой-

ства, располагая информацией о физико-химическом составе ТЧ. Изолированные частицы были преимущественно кристаллическими со значительным содержанием органического углерода в микрофракции ТЧ10. Оценка биологических эффектов показала увеличение частоты микроядер и снижение пролиферативных параметров в образцах, подвергшихся воздействию ТЧ0,1, по сравнению с образцами, подвергшимися воздействию ТЧ10. Возрастание частоты микроядер было обнаружено в образцах Т (тепловая электростанция) и К1, К2 (территории без промышленной нагрузки). Полученные результаты можно интерпретировать как отражение токсических свойств нанообъектов, сопровождающих частицы разного происхождения. Мы предполагаем, что ТЧ0,1 отличаются от более крупных ТЧ повышенной токсичностью, источником которой служит преимущественно минеральная фаза.

Список литературы

1. Richardson C., Rutherford S., Agranovski I. E. Open Cut Black Coal Mining: Empirical Verification of PM_{2.5} Air Emission Estimation Techniques. *Atmospheric Res.* 2019. № 216. P. 151–159. DOI: 10.1016/j.atmosres.2018.10.008.
2. Cao Y., Liu T., He J. Fugitive Emission Rates Assessment of PM_{2.5} and PM₁₀ from Open Storage Piles in China. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2018. № 128. P. 012136. DOI: 10.1088/1755-1315/128/1/012136.
3. Akaoka K., McKendry I., Saxton J., Cottle P.W. Impact of Coal-Carrying Trains on Particulate Matter Concentrations in South Delta, British Columbia, Canada. *Environ. Pollut.* 2017. № 223. P. 376–383. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.01.034.
4. Aneja V.P., Pillai P.R., Isherwood A., Morgan P., Aneja S.P. Particulate Matter Pollution in the Coal-Producing Regions of the Appalachian Mountains: Integrated Ground-Based Measurements and Satellite Analysis. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 2017. № 67 (4). P. 421–430. DOI: 10.1080/10962247.2016.1245686.
5. Kwon H.-S., Ryu M.H., Carlsten C. Ultrafine Particles: Unique Physicochemical Properties Relevant to Health and Disease. *Exp. Mol. Med.* 2020. № 52 (3). P. 318–328. DOI: 10.1038/s12276-020-0405-1.
6. Larionov A., Volobaev V., Zverev A., Vdovina E., Bach S., Schetnikova E., Leshukov T., Legoshchin K., Eremeeva G. Chemical Composition and Toxicity of PM₁₀ and PM_{0.1} Samples near Open-Pit Mines and Coal Power Stations. *Life.* 2022. № 12 (7). P. 1047. DOI: 10.3390/life12071047.
7. OECD. Test No. 487: In Vitro Mammalian Cell Micro-nucleus Test, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. OECD. 2016. DOI: 10.1787/9789264264861-en.
8. Liu Y., Wang R., Zhang Y., Zhao T., Wang J., Wu H., Hu P. Temporal and Spatial Distributions of Particulate Matters around Mining Areas under Two Coal Mining Methods in Arid Desert Region of Northwest China. *Environ. Technol. Innov.* 2020. № 19. P. 101029. DOI: 10.1016/j.eti.2020.101029.
9. León-Mejía G., Quintana M., Debastiani R., Dias J., Espitia-Pérez L., Hartmann A., Henriques J.A.P., Da Silva J. Genetic Damage in Coal Miners Evaluated by Buccal Micro-nucleus Cytome Assay. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2014. № 107. P. 133–139. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2014.05.023.

УДК 502/504

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМ ОТБОРА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНАХ: СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД*

¹Мискевич И.В., ¹Котова Е.И., ¹Лохов А.С., ^{1,2}Нецветева О.П.

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: subarct@gmail.com;

²Национальный парк «Русская Арктика», Архангельск

Для объективного анализа изучаемого процесса необходимо в кратчайшие сроки выполнить большой объем наблюдений, однако в арктических условиях это редко бывает возможным в основном из-за их труднодоступности. Также вопрос о минимально необходимом числе наблюдений может подниматься при высокой стоимости или трудоемкости обработки и анализа образцов. Авторами проведено исследование, призванное ответить на вопрос: какое минимальное количество наблюдений необходимо для получения достоверных результатов? В качестве минимального объема для геоэкологических наблюдений было выбрано предложенное Д. Тьюки число три. Проверка этого утверждения проведена на основании данных по содержанию взвешенных веществ в снеге и воде, а также кислородонасыщению вод (устье р. Кянды, Белое море), путем исследования различных статистических характеристик. Рассчитаны изменчивость показателей среднеарифметического значения, медианы и трехсреднего значения при различной длине выборок (от 2 до 20 значений) на основе этих данных. В результате расчетов четко прослеживается максимальная изменчивость среднеарифметического значения и минимальная изменчивость медианы по мере возрастания размера выборок. Показан возможный диапазон изменчивости Т-критерия Стьюдента для малых выборок. Даны рекомендации по отбору минимум трех проб различных компонентов природной среды, с учетом характера их изменчивости. Например, в случае исследования гидролого-гидрохимических характеристик приливных устьев рек, многие из которых являются периодическими, рекомендовано проводить отбор не менее трех наблюдений в каждую фазу приливо-отливных явлений. И учитывая изменчивость этих параметров для данного случая – не менее чем в 3 местах, в соответствии с особенностями функционирования маргинальных фильтров рек.

Ключевые слова: мониторинг, Арктика, оптимизация пробоотбора, статистика, геоэкология

**Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов – литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек» (№ FMWE-2021-0006).*

ENVIRONMENTAL SAMPLING SCHEMES OPTIMIZATION IN HARD-TO-ACCESS ARCTIC AREAS: A STATISTICAL APPROACH

¹Miskevich I.V., ¹Kotova E.I., ¹Lokhov A.S., ^{1,2}Netsvetaeva O.P.

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow,

e-mail: subarct@gmail.com

²Russian Arctic National Park, Arkhangelsk

The Arctic is a hard-to-reach region. This circumstance significantly increases the cost and complexity of any research. Thus, it is necessary to collect the enough minimum number of samples for objective analysis in the shortest possible time. Paper investigates a question – what is the minimum sampling number required to obtain reliable research? We chose the number three proposed by John Tukey as the minimum sample number in environmental research. John Tukey argued that statistics begin with three analyzed numbers. To test this hypothesis, we studied the statistical characteristics (arithmetic mean, median, Tukey's trimean) for selections with different sizes (from 2 to 20 values). We use three different selections of environmental data. This is suspended matter concentration in snow and water as well as water oxygen saturation in the Kyanda river mouth (White Sea). According to calculation, it conclude that with increase of the selections size arithmetic mean variability increase and the median variability decrease. Paper describes calculation of the Student's t-test possible variability range for arbitrary small samples. Paper gives recommendations to collect at least three samples of various components taking into account them variability. For example to investigate hydrological and hydrochemical characteristics of the tidal river mouths we recommend to collect at least three sample for each tidal phase. Because most of these characteristics are periodical. According to variability of these characteristics, samples need to be taken in at least three places with pay attention to river marginal filter specialties.

Keywords: monitoring, Arctic, sampling optimization, statistic, environmental science

При исследовании природных объектов на арктических территориях в условиях отсутствия развитой транспортной инфраструктуры продолжительные и масштабные наблюдения требуют очень больших финансовых

и технических затрат. С одной стороны, для объективного анализа изучаемого процесса должно быть выполнено большое количество наблюдений, с другой – время для проведения наблюдений должно быть очень коротким.

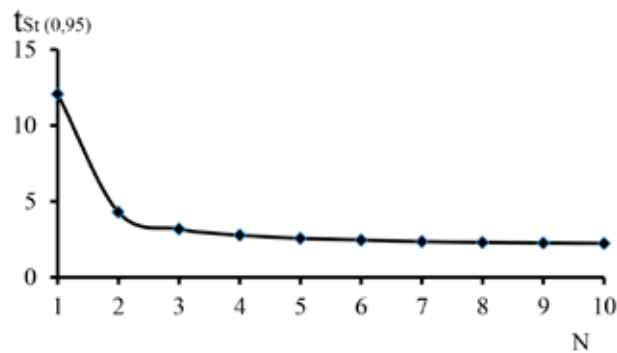


Рис. 1. Изменчивость критерия Стьюдента при доверительной вероятности в 95% для различной длины выборки данных

В первую очередь, это касается арктических островов и труднодоступных территорий, где для проведения исследований обычно необходимо применять вертолеты, ограниченные полетным временем. Определенные ограничения подобного рода возникают в морских экспедициях при высадке экспедиционного отряда на берег на шлюпке с борта морского судна для проведения серии наблюдений.

Наличие ограничений по объему возможных перевозимых грузов также накладывает ограничения на возможности объема пробоотбора. В данных ситуациях возникает вопрос определения оптимального количества необходимых наблюдений, а также достаточного объема проб, которые будут подлежать транспортировке.

В итоге должен быть найден определенный компромисс, который позволяет получать достоверную статистическую оценку изучаемого процесса при минимуме финансовых и технических затрат на проведение геоэкологических наблюдений. Он должен базироваться на определении минимального количества наблюдений, позволяющего достичь поставленных научных и (или) прикладных задач.

Известный американский математик Джон Тьюки утверждал, что статистика начинается с наличия трех анализируемых цифр [1]. Действительно, три значения, в отличие от двух значений, при проведении статистической обработки уже позволяют проводить как оценку масштаба положения (среднеарифметическое значение, медиана и т.п.), так и оценку масштаба изменчивости (стандартное отклонение, межквартильный размах и т.п.). При этом число «три» позволяет проводить такую обработку как с помощью стандартных параметров при

гипотезе сохранения нормального закона распределения данных, так и с использованием робастных статистик без учета его наличия [2].

В пользу указанного числа также говорит связь критерия Стьюдента с длиной используемой выборки данных. С трех цифр выборки начинается плавное понижение его величины (рис. 1), что снижает погрешность производимых статистических расчетов.

Исследования в данном направлении, проведенные в системе Росгидромета в конце прошлого века для гидролого-гидрохимических рядов наблюдений, позволили дать следующие рекомендации [2; 3]:

- при длине выборки пять наблюдений и меньше лучше использовать медиану;
- при длине выборки более пяти наблюдений целесообразно использовать трехсреднее значение.

Напомним, что медиана разделяет ранжированную выборку данных пополам и определяется по формуле (1):

$$C_M = \begin{cases} C_{(n+1)/2}, & \text{если } n \text{ нечетное,} \\ 0,5(C_{n/2} + C_{n/2+1}), & \text{если } n \text{ четное,} \end{cases} \quad (1)$$

где n – количество данных в выборке. Отметим, что в данном случае для расчетов использовалась её интегральная форма.

Трехсреднее значение находится по выражению (2):

$$C_{3cp} = 0,25(C_{0,25} + 2C_M + C_{0,75}), \quad (2)$$

где $C_{0,25}$ и $C_{0,75}$ – квартили, или, другими словами, медианы для половинок выборки.

Интерквартильный размах, который может выступать в качестве оценки изменчивости, определяется по формуле (3):

$$H = C_{0,75} - C_{0,25}. \quad (3)$$

Однако вышеуказанные рекомендации были получены на основе исследований выборок температуры воды и солености, которые, в отличие от многих геоэкологических параметров, обладают большей консервативностью в пределах внутрисезонных колебаний и не имеют прямой зависимости от техногенного влияния. Последнее может сформировать даже внутри малой выборки значения, отличающиеся друг от друга на 1–3 порядка.

Материалы и методы исследования

Для проверки выбора числа «три» в качестве минимального объема для геоэкологических наблюдений были исследованы статистические характеристики различных параметров для выборок данных различного размера. Рассматривались приведенные ниже параметры.

– Высота снежного покрова на метеостанции «Холмогоры» Приморского района Архангельской области. Побережье Белого моря находится в зоне активной циклонической деятельности, которая наиболее интенсивна осенью и зимой. Высота снежной толщи, помимо количества выпавших осадков, зависит от многих факторов, в частности от наличия оттепелей, которые могут приводить к уплотнению снежной толщи. В результате значения характеристик снежной толщи меняются в широком диапазоне год от года [4].

– Содержание взвешенных веществ в снежном покрове в Приморском районе Архангельской области в марте 2019 года. Вследствие многофакторности процесса формирования состава снежного покрова содержание веществ в снеге имеет значительную пространственную и временную неоднородность [5].

– Содержание взвешенных веществ в воде и степень насыщенности вод кислородом (кислородонасыщение) в зоне смешения речных и морских вод в устье р. Кянды в юго-восточной части Онежского залива Белого моря в августе 2016 года. Воды этого объекта обладают большой изменчивостью геоэкологических характеристик за счет короткопериодной приливной изменчивости фронтального раздела между пресными и солеными водами при наличии антропогенного влияния, т.к. водосбор устья р. Кянды располагается в зоне дренируемых сельскохозяйственных угодий (в период исследований здесь производилась заготовка сена и выпас скота) [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты статистических исследований показаны на рисунке 2 и в таблице.

Анализ полученных материалов показал, что данные по высоте снежного покрова распределены по нормальному закону, поэтому их статистическая интерпретация стандартным методом дает результаты не хуже, чем робастный подход. В рамках данной статьи далее они не рассматривались.

Характеристика размаха различных оценок масштаба положения для геоэкологических характеристик при изменении объема наблюдений

Показатель	N	C _{макс.} – C _{мин.}		
		C _{ср.}	C _М	C _{Зср.}
Содержание взвеси в снеге, мг/л	12	2,20	1,34	1,57
Содержание взвеси в водах устья р. Кянды	20	8,8	4,4	5,1
Кислородонасыщение вод устья р. Кянды	20	6,4	4,2	5,4

На рисунке 2 и в таблице для рассматриваемых показателей четко прослеживается максимальная изменчивость параметра C_{ср.} и минимальная – параметра C_М по мере возрастания количества наблюдений (N).

Таким образом, при планировании геоэкологических исследований в труднодоступных арктических районах для снижения финансовых издержек рекомендуется ориентироваться на отбор минимум трех проб различных компонентов природной среды.

При статической обработке полученных данных в качестве критерия оценки величины необходимо использовать медиану. Она, в отличие от среднеарифметического значения, минимизирует погрешности, возникающие при значительном сокращении количества отбираемых проб воды, снега (льда) и почвы (донных отложений).

В рамках рассматриваемой проблемы также можно дать рекомендации по минимальному количеству отбираемых проб при изучении маргинальных фильтров в устьях рек Северного Ледовитого океана. Напомним, что, согласно модели маргинального фильтра академика Лисицына А.П., в зоне устьевых вод по мере возрастания солености формируется три последовательные зоны: мутьевая, геохимическая и биологическая «пробки» [7].

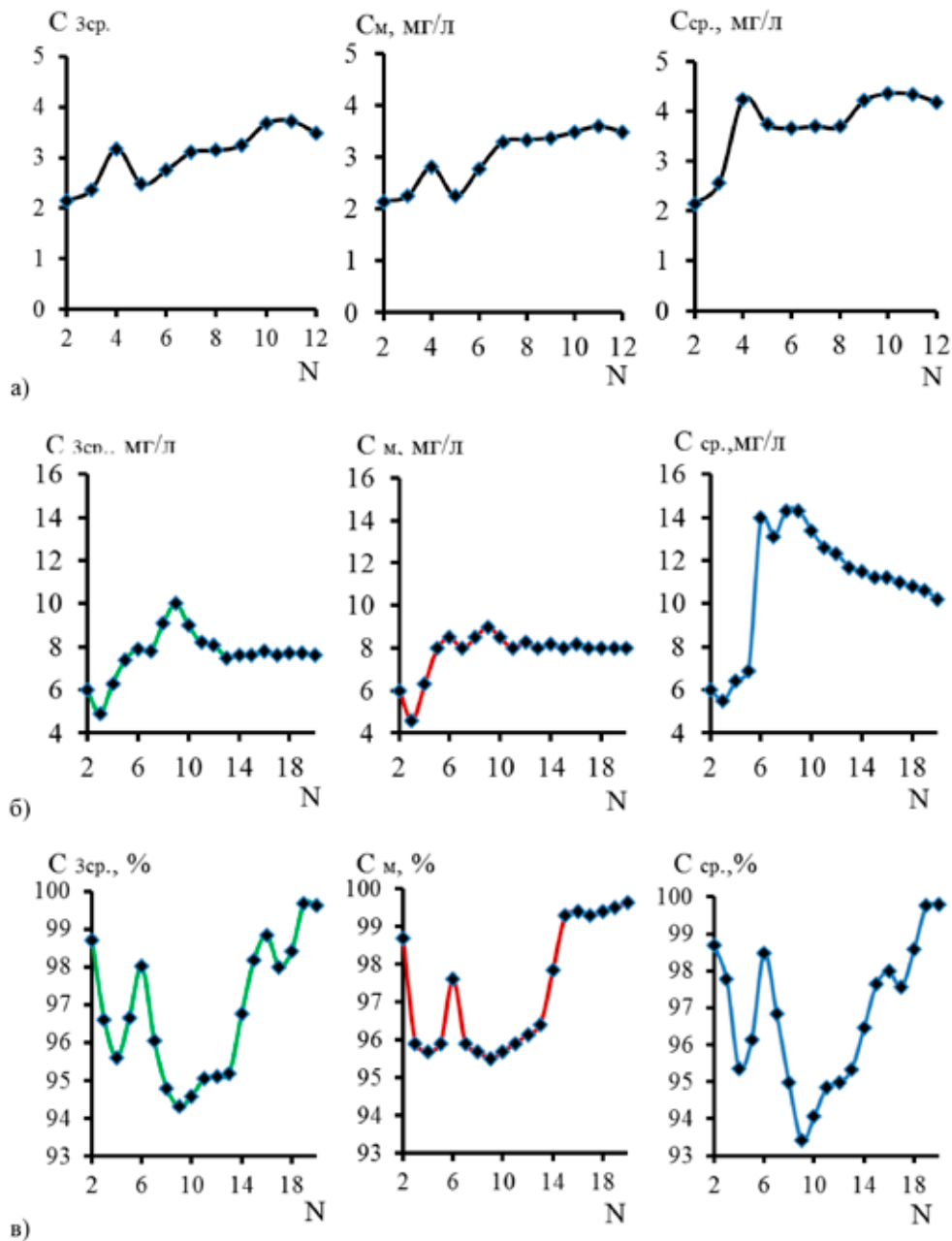


Рис. 2. Изменчивость статистик: $C_{cp.}$ – среднеарифметическое значение, C_m – медиана, $C_{3cp.}$ – трехсреднее значение, N – количество наблюдений) для:
 а) содержания взвеси в пробах снега; б) содержания взвеси в водах устья р. Кянды;
 в) кислородонасыщения вод устья р. Кянды

В первой из них фиксируются максимальные концентрации взвеси, во второй зоне отмечается наибольшая интенсивность геохимических процессов, а в третьей – повышенная биопродуктивность морских вод. Например, в Белом море первой зоне соответствует интервал солёности в 0,5–5‰, второй зоне – 5–20‰ и третьей зоне – солёность более 20‰ [8; 9].

Минимальное количество отбираемых проб при изучении маргинальных фильтров в устьях рек Северного Ледовитого океана составляет по три пробы в каждой из вышеперечисленных зон, тогда их общий минимум равняется 9.

Помимо этого, необходимо учитывать особенности конкретных геоэкологических показателей, например при исследо-

вании содержания взвесей в водах с явно выраженными приливно-отличными явлениями минимум составит 3 пробы в каждой зоне на каждую фазу прилива/отлива. Это число уже позволяет проводить необходимый корреляционный и регрессионный анализ полученных данных. Данная задача особенно актуальна для отбора воды и донных отложений на анализ дорогостоящих ингредиентов (ртуть, ХОП, ПХБ, диоксины и т.п.) [10].

Заключение

Анализ статистических характеристик для выборок геоэкологических данных различного размера показал, что при планировании геоэкологических исследований в труднодоступных арктических районах для снижения финансовых издержек рекомендуется ориентироваться на отбор минимум трех проб каждого из компонентов природной среды.

В качестве критерия оценки параметра необходимо использовать медиану, которая минимизирует погрешности, возникающие при значительном сокращении количества отбираемых проб.

При отборе проб следует учитывать особенности конкретных геоэкологических показателей и проводить три отбора в разных условиях, что кратко увеличит количество наблюдений.

Список литературы

1. Tukey J.W. *Exploratory Data Analysis* – Pearson, 2019. 720 p.
2. Микулинская С.М., Рожков В.А. Обработка малых выборок // Режимобразующие факторы, информационная база и методы ее анализа. Л.: Гидрометеоздат, 1989. С. 167–176.
3. Микулинская С.М., Михайлов Н.Н., Рожков В.А. и др. Метод анализа сезонной изменчивости неэквидистантных временных рядов гидролого-гидрохимических данных // Режимобразующие факторы, информационная база и методы ее анализа. Л.: Гидрометеоздат, 1989. С. 109–132.
4. Коршунова Н.Н., Давлетшин С.Г., Аржанова Н.М. Изменчивость характеристик снежного покрова на территории России // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т. 7. № 1. С. 80–100. DOI: 10.21513/2410-8758-2021-1-80-100.
5. Котова Е.И., Шевченко В.П. Влияние Дальнего атмосферного переноса на формирование ионного состава атмосферных осадков и снежного покрова прибрежной зоны Западного сектора Российской Арктики // Фундаментальные исследования. 2014. № 12–11. С. 2378–2382.
6. Мискевич И.В., Алабян А.М., Коробов В.Б., Демиденко Н.А., Попядухин А.А. Исследования короткопериодной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик устья реки Кянда в Онежском заливе Белого моря (28 июля–15 августа 2016 г.) // Океанология. 2018. Т. 58. № 3. С. 369–373.
7. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 4. № 5. С. 735–747.
8. Гордеев В.В., Филиппов А.С., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Покровский О.С., Шевченко В.П., Дара О.М. Особенности геохимии речного стока в Белое море // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. С. 225–308.
9. Лещёв А.В. Особенности трансформации и переноса взвеси в устьевой области реки Северной Двины // Проблемы региональной экологии. 2013. № 3. С. 114–119.
10. Коробов В.Б., Шевченко В.П., Котова Е.И. Нерешенные задачи исследования устьевой области Северной Двины // Океанологические исследования. 2022. Т. 50. № 2. С. 125–138.

УДК 913(470)

К ВОПРОСУ О ТИПОЛОГИИ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРКОВ РОССИИ

Суржиков В.И., Мальцева К.А.

ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», Владивосток,
e-mail: Viktor.Surzhirov@vvsu.ru, maltseva_ksenechka@outlook.com

Статья посвящена исследованию такой категории особо охраняемых природных территорий, как национальные парки. Авторами предпринята попытка провести типологию сети национальных парков Российской Федерации. В исследовании участвовали все 65 парков, выделен ряд типологических признаков. По географическому положению парки различаются расположением относительно границ федеральных округов, наличием или отсутствием выхода к государственной границе. По площади территории делятся на гигантские, большие, значительные, средние, малые, небольшие и карликовые. По конфигурации территории занимают компактный участок или имеют множество кластерных участков. Если национальный парк располагается в двухчасовой транспортной доступности, то в нём будет развиваться краткосрочная массовая рекреация. В случае четырёхчасовой доступности в парке преобладает краткосрочная и среднесрочная рекреация. Среднесрочная и длительная рекреация характерна для парков, располагающихся в восьмичасовой доступности. И наконец, только длительная рекреация характерна для парков, удалённых более чем на семь часов. Все парки разделены по количеству типов ландшафтов. До двух типов представлены в семи парках, от трёх до четырёх – в тридцати шести, от пяти до шести – в семнадцати и от семи до восьми – в пяти. С точки зрения биологического разнообразия парки делились по количеству видов сосудистых растений, млекопитающих, птиц, рыб. Из 65 рассмотренных только 15 парков имеют международный статус. По соотношению природного и культурно-исторического блоков туристско-рекреационных ресурсов парки подразделяются на три типа: природный, природно-культурный и культурно-природный. По признаку дифференциации туристского предложения выделены два парка с низкодифференцированным предложением, 21 со средним, 34 с высоким и 12 с очень высоким уровнем.

Ключевые слова: сеть, национальный парк, типологический признак, типология, Российская Федерация

ON THE QUESTION OF THE TYPOLOGY OF NATIONAL PARKS IN RUSSIA

Surzhikov V.I., Maltseva K.A.

Vladivostok State University, Vladivostok,
e-mail: Viktor.Surzhirov@vvsu.ru, maltseva_ksenechka@outlook.com

The article is devoted to the study of such a category of specially protected natural areas as national parks. The authors made an attempt to carry out a typology of the network of national parks of the Russian Federation. All sixty-five parks participated in the study, a number of typological features were identified. Geographically, the parks differ in their location relative to the borders of the federal districts, the presence or absence of access to the state border. By area, the territories are divided into giant, large, significant, medium, small, small and dwarf. According to the configuration of the territory, they occupy a compact area or have many cluster areas. If the national park is located within a two-hour transport accessibility, then short-term mass recreation will develop in it. In the case of a four-hour availability, short-term and medium-term recreation prevails in the park. Medium-term and long-term recreation is typical for parks located within an eight-hour accessibility. And finally, only long-term recreation is typical for parks that are more than eight hours away. All parks are divided according to the number of landscape types. Up to two types are represented in seven parks, three to four in thirty-six, five to six in seventeen, and seven to eight in five. In terms of biological diversity, the parks were divided according to the number of species of vascular plants, mammals, birds, and fish. Of the sixty-five considered, only fifteen parks have international status. According to the ratio of natural and cultural-historical blocks of tourist and recreational resources, parks are divided into three types: natural, natural-cultural and cultural-natural. On the basis of the differentiation of the tourist offer, two parks with a low-differentiated offer, twenty-one with an average, thirty-four with a high and twelve with a very high level were identified.

Keywords: network, national park, typological feature, typology, Russian Federation

Современная сеть национальных парков Российской Федерации в своём развитии прошла почти сорокалетний путь. По мировым меркам это небольшой срок, учитывая, что первый национальный парк в мире появился сто пятьдесят лет назад. До появления первого парка в России прошло двенадцать лет. С 1971 по 1982 год в научном сообществе обсуждались вопросы о целях и задачах создания национальных парков. И только в 1981 году, после утверждения «Типового положения о государственных природных национальных парках (ГПНП)»,

новая категория особо охраняемых природных территорий получила официальный правовой статус.

С 1983 года начинается этап зарождения сети национальных парков. Появляются первые парки Сочинский и Лосиный остров. Кроме них, за следующих семь лет образованы ещё десять: Самарская Лука, Марий Чодра, Прибайкальский, Забайкальский, Башкирия, Приэльбрусье, Куршская коса, Переславский (Плещеево озеро), Шорский, Валдайский. С 1991 по 1994 год наблюдается этап активного развития сети.

За четыре года появилось 16 новых парков. Общее число достигло двадцати восьми. В период 1995-1999 гг. происходит снижение темпов роста числа национальных парков. Были образованы всего семь новых. Последующие шесть лет ознаменовались стагнацией. Не было создано ни одного парка. Следующий этап характеризуется как поступательно-сдержанный. За девять лет (2006-2014 гг.) появились ещё 12 парков.

С 2015 года по настоящее время снова наступает этап активного развития сети. Каждый год образуется как минимум по одному парку, а в 2019 году – сразу семь. Особенностью этого этапа стало не столько физическое создание новых парков, а изменение категории в пользу национального парка. Так, государственный комплекс Завидово, государственные природные заповедники Крымский, Столбы, Гыданский, Тебердинский, курортный парк Кисловодский получили статус национальных парков. Таким образом, в 2021 году сеть насчитывает 65 национальных парков [1].

Различия национальных парков колоссальны. Они проявляются в географическом положении, особенностях территории, уровне транспортной доступности и, следовательно, величине туристских потоков, уровне туристско-рекреационного потенциала и т.д.

Анализ литературы по теме исследования показал, что попытки провести типологию национальных парков уже предпринимались. Так, Максаковская Н.С. и Максаковский Н.В. основываясь на зарубежном опыте, выделили три типа: парки нетронутой природы, природно-историче-

ские и этнографические [2]. Иванов А.Н. и Чижова В.П. отмечают, что парки различаются между собой размерами, расположением в староосвоенных или слабоосвоенных регионах, природными особенностями [3]. В диссертационном исследовании Макарова К.А. выделяет пять групп национальных парков в зависимости от уровня потенциала территорий для организации экотуризма [4].

Таким образом, можно констатировать, что всеобъемлющая и многопризнаковая типология национальных парков отсутствует. Данный факт обуславливает актуальность авторской попытки исследования.

Материалы и методы исследования

Для исследования были использованы материалы Федеральной службы государственной статистики, информационно-аналитической системы «Особо охраняемые природные территории России» (ИАС «ООПТ РФ»), данные официальных электронных сайтов национальных парков.

Исследование выполнено с применением следующих методов: статистический, анализа, ранжирования, типологии.

Результаты исследования и их обсуждение

Одним из самых главных типологических признаков национальных парков является их географическое положение. Все они расположены в различных регионах страны, что может влиять на их размеры, степень освоённости местности и др. По состоянию на 2021 год все парки России имеют следующее распределение по федеральным округам (табл. 1).

Таблица 1

Распределение национальных парков России по федеральным округам [5; 6]

Название федерального округа	Площадь, км ²	Население на 2021 г., чел.	Количество национальных парков, ед.	Площадь национальных парков, км ²	% площади национальных парков от федерального округа
Центральный	650205	39086462	8	7064,48	1,1
Северо-Западный	1686972	13890133	14	49495,65	2,9
Южный	447821	16426770	2	2431,6	0,5
Северо-Кавказский	170439	9994367	5	3177,9	1,9
Приволжский	1036975	28823776	10	5319,49	0,5
Уральский	1818497	12290124	5	11164,79	0,6
Сибирский	4361727	16882817	6	11972,89	0,3
Дальневосточный	6952555	8083648	15	104679,82	1,5
Россия	17125191	145478097	65	195306,62	1,1

Наибольшее количество национальных парков расположено в Дальневосточном, Северо-Западном и Приволжском федеральных округах. При этом самый высокий показатель суммарной площади парков имеет Дальневосточный федеральный округ, а по отношению площади национальных парков к площади федерального округа – Северо-Западный.

Ряд национальных парков имеет выход к государственной границе. С одной стороны, это свидетельствует о потенциале приграничного взаимодействия, с другой – об ограничении на посещение туристами. Для пребывания в парке необходимо оформить пропуск. К приграничным относятся: Алания, Берингия, Земля леопарда, Калевальский, Куршская коса, Паанаярви, Приэльбрусье, Русская Арктика, Самурский, Себежский, Сочинский, Тункинский.

Площадь национального парка влияет на его функциональную деятельность, а также определяет потенциал развития туристско-рекреационной деятельности. По данному признаку все национальные парки разделены на семь типов [5]:

- гигантские (свыше 15 000 км²): Югд Ва, Кыталык, Берингия;
- большие (10 000-15 000 км²): Русская Арктика, Ленские столбы, Тункинский, Бикин;
- значительные (5 000-10 000 км²): Гыданский, Чикой, Шантарские острова;
- средние (2 500-5 000 км²): Кодар, Водлозерский, Анюйский, Прибайкальский, Шорский, Земля леопарда, Забайкальский, Токинско-Становой;
- малые (1 000-2 500 км²): Сочинский, Онежское Поморье, Русский Север, Салаир, Валдайский, Смоленское Поозерье, Кенозерский, Алханай, Самарская Лука, Завидово, Ладожские шхеры, Мещёра, Сайлюгемский, Тебердинский, Бузулукский бор, Паанаярви, Мещёрский, Приэльбрусье;
- небольшие (100-1000 км²): Угра, Удэгейская легенда, Зюраткуль, Хибины, Башкирия, Зов тигра, Орловское Полесье, Калевальский, Таганай, Койгородский, Алания, Себежский, Припышминские боры, Самурский, Красноярские Столбы, Зигальга, Сengилеевские горы, Шушенский бор, Марий Чодра, Смольный, Крымский, Нижняя Кама, Хвалынский, Чаваш Вармане, Плещеево озеро, Нечкинский, Лосиный остров;
- карликовые (до 100 км²): Куршская коса, Кисловодский.

Самым многочисленным является тип небольшие, а самым малочисленным – гигантские и карликовые.

Кроме площади, важное значение имеет конфигурация территории. Самым оптимальным вариантом является тот случай, когда территория представлена компактным участком. Это облегчает функциональное зонирование, охрану и управление парком. С точки зрения конфигурации, 33 национальных парка имеют целостную территорию, от двух до пяти участков – 22 парка, от шести до девяти участков – пять парков, более десяти участков – ещё пять парков. А именно, Сengилеевские горы – 38 участков, Нижняя Кама – 21, Бузулукский бор – 20, Онежское Поморье и Хвалынский – 11.

Расположение национальных парков определяет их транспортную доступность. Особое значение имеет положение относительно регионов-доноров туристов. Для типологии рассчитывалось время в пути на автомобиле от границ национального парка до административного центра субъекта, в котором расположен национальный парк, до административного центра соседнего субъекта или города-миллионника. Если национальный парк располагается в двухчасовой доступности, то в нём будет развиваться краткосрочная массовая рекреация. В случае четырёхчасовой доступности в парке преобладает краткосрочная и среднесрочная рекреация. Среднесрочная и длительная рекреация характерна для парков, располагающихся в восьмичасовой доступности. И наконец, только длительная рекреация характерна для парков, удалённых более чем на восемь часов (табл. 2).

Добраться до некоторых парков возможно исключительно с использованием авиации или водного транспорта. Например, до национальных парков Берингия, Кыталык, Русская Арктика, Шантарские острова.

Ландшафтное разнообразие территории парка влияет на его привлекательность. В этом отношении все парки можно разделить по количеству типов ландшафтов. До двух типов представлены в семи парках, от трёх до четырёх – в 36, от пяти до шести – в 17 и от семи до восьми – в пяти. Наивысшее значение показателя имеют национальные парки Анюйский, Бикин, Забайкальский, Прибайкальский и Шушенский бор.

Биологическое разнообразие национальных парков, так же как и ландшафтное, оказывает влияние на их привлекательность. Так, по количеству сосудистых растений на территории национальных парков выделены парки: от 100 до 300 видов – три, от 300 до 600 – тринадцать, от 600 до 900 – двадцать шесть, от 900 до 1200 – семнадцать, от 1200 до 1500 – четыре, более 1500 – один.

Транспортная доступность [7]

Время в пути, часы	Название национального парка
До двух	Валдайский, Завидово, Земля леопарда, Кисловодский, Красноярские столбы, Крымский, Куршская коса, Лосиный остров, Марий Чодра, Мещера, Мещерский, Нижняя Кама, Онежское Поморье, Орловское полесье, Плещеево озеро, Приэльбрусье, Русский Север, Сengiлеевские горы, Смоленское Поозерье, Смольный, Сочинский, Тебердинский, Угра
До четырёх	Алания, Алханай, Аннойский, Бузулукский бор, Забайкальский, Зигальга, Зов тигра, Зюраткуль, Койгородский, Ладожские шхеры, Ленские столбы, Нечкинский, Прибайкальский, Самарская Лука, Самурский, Себежский, Таганай, Тункинский, Хвалынский, Хибины, Чаваш Вармане
До восьми	Башкирия, Бикин, Водлозерский, Кенозерский, Припышминские боры, Сайлюгемский, Салаир, Токинско-Становой, Удэгейская легенда, Чикой, Шорский, Шушенский бор, Югыд Ва
Более восьми	Берингия, Гыданский, Калевальский, Кодар, Кыталык, Паанаярви, Русская Арктика, Шантарские острова

Наибольшее значение показателя (3000 видов) имеет национальный парк Приэльбрусье.

Все 65 парков разделены по количеству видов млекопитающих: до 10 – один, от 10 до 20 – один, от 20 до 40 – двенадцать, от 40 до 60 – тридцать девять, более 60 – десять. Самыми многочисленными по количеству млекопитающих являются Чикой, Угра, Башкирия, Приэльбрусье, Тункинский, Шорский, Красноярские Столбы, Самарская Лука, Аннойский, Сочинский.

По количеству видов птиц все парки подразделяются на: до 50 видов – один, от 50 до 100 – пять, от 100 до 200 – тридцать один, более 200 – двадцать семь. Самыми многочисленными по показателю являются Прибайкальский, Тункинский, Земля леопарда. В них зарегистрировано более 300 видов птиц.

По количеству видов рыб все национальные парки делятся на: до 10 видов – восемь, от 10 до 20 – четырнадцать, от 20 до 40 – двадцать три, от 40 до 60 – шесть, от 60 до 80 – шесть. К лидерам относятся парки Берингия, Шантарские острова, Русская Арктика, Хвалынский, Куршская коса, Самарская Лука.

Особое значение для национального парка имеет наличие международного статуса: ключевая орнитологическая территория, биосферный резерват, Всемирное природное и культурное наследие ЮНЕСКО, водно-болотное угодье международного значения, включен в международную сеть особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Из шестидесяти пяти рассмотренных только пятнадцать парков имеют меж-

дународный статус. Национальным паркам Бикин, Ленские столбы, Прибайкальский, Тункинский, Югыд Ва и Куршская коса присвоен статус объекта всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО. Статус «Ключевая орнитологическая территория» имеют парки Алания, Смоленское Поозерье, Югыд Ва. Только Мещерский национальный парк носит статус «Водно-болотное угодье международного значения». Парки Башкирия, Валдайский, Водлозерский, Тебердинский, Смоленское Поозерье, Угра являются биосферными резерватами. Куршская коса, Себежский и Угра включены в международную сеть ООПТ.

Для организации туристско-рекреационной деятельности особенно важным представляется соотношение природного и культурно-исторического блоков туристско-рекреационных ресурсов. Если показатель природного блока превышает показатель культурного в два раза и больше, то тип национального парка будет природным. В случае незначительного преобладания значения природного блока над культурным тип национального парка определяется как природно-культурный, в обратном случае – культурно-природный.

Для национальных парков природного типа будет приоритетно развитие спортивных, природно-ориентированных видов туризма (бёрдвочинга, фотоохоты, рыбалки), климатолечения, отдыха на побережье морей, рек и озёр. Национальные парки природно-культурного типа будут специализироваться на природно-ориентированном, культурно-познавательном и событийном туризме.

Таблица 3

Типы национальных парков по соотношению природного и культурно-исторического блоков туристско-рекреационных ресурсов [5; 8]

Тип	Название национального парка
Природный	Башкирия, Берингия, Бикин, Бузулукский бор, Гыданский, Забайкальский, Земля леопарда, Зигальга, Зов тигра, Зюраткуль, Калевальский, Кодар, Красноярские Столбы, Крымский, Кытальк, Нечкинский, Паанаярви, Прибайкальский, Приэльбрусье, Сенгилеевские горы, Смольный, Сочинский, Таганай, Тебердинский, Токинско-Становой, Удэгейская легенда, Хибины, Чикой, Шантарские острова, Шорский, Шушенский бор, Югыд Ва
Природно-культурный	Алания, Алханай, Аннойский, Завидово, Кисловодский, Койгородский, Куршская коса, Ладожские шхеры, Ленские столбы, Лосиный остров, Марий Чодра, Мещера, Мещерский, Нижняя Кама, Онежское Поморье, Припышминские боры, Русская Арктика, Сайлюгемский, Салаир, Самурский, Смоленское Поозерье, Тункинский, Хвалынский, Чаваш Вармане
Культурно-природный	Валдайский, Водлозерский, Кенозерский, Орловское полесье, Плещеево озеро, Русский Север, Самарская Лука, Себежский, Угра

У национальных парков культурно-природного типа преобладающие виды туризма противоположны паркам с природно-культурной специализацией. В таких парках отмечается большая концентрация архитектурных объектов, музейных комплексов, религиозных объектов, памятников и памятных мест. Тем не менее, будучи национальными парками, они не исключают возможности использования природных ресурсов для развития прогулочных лыжных, велосипедных маршрутов, создания видовых и пикниковых площадок для отдыха.

Таким образом, все парки были разделены на три типа: природный, природно-культурный и культурно-природный. Так, к первому типу было отнесено 32 национальных парка, ко второму – 24, к третьему – 9 (табл. 3).

Для развития туристско-рекреационной деятельности национального парка важна дифференциация туристского предложения. Для типологии по данному признаку были учтены все виды туризма, которые сейчас успешно развиваются в национальных парках. Для удобства все они разделены на блоки: оздоровительный (климатолечение, бальнеолечение, купально-пляжный), спортивно-экстремальный (пешеходный, лыжный, конный, велосипедный, водный, сплавы, мототуризм, горнолыжный, горный (трекинг), альпинизм, спелеотуризм, парусный), культурно-познавательный (исторический, религиозный, этнографический, археологический), научно-познавательный (бёрдвоинг, фотоохота, образовательный, исследователь-

ский), утилитарный (рыболовный / охотничий, тихая охота), отдельно выделены агротуризм, событийный, эковолонтерский. Максимальное значение количества видов равнялось двадцати семи.

Выделены два парка с низкодифференцированным предложением (до пяти видов), 21 со средним уровнем (от пяти до десяти видов), 34 с высоким уровнем (от десяти до пятнадцати видов) и 12 с очень высоким уровнем (более пятнадцати видов). К паркам-лидерам относятся Алания, Онежское Поморье, Приэльбрусье, Смоленское Поозерье, Сочинский, Тункинский, Кенозерский, Самарская Лука, Зюраткуль, Паанаярви, Прибайкальский, Шорский.

Заключение

Выполненное исследование позволило провести типологию существующей сети национальных парков России по ряду признаков: географическое положение, площадь и конфигурация территории, транспортная доступность, ландшафтное и биологическое разнообразие, международный статус, соотношение природного и культурно-исторического блоков туристско-рекреационных ресурсов, дифференциация туристского предложения.

Представленная типология не является исчерпывающей. Поэтому данный вопрос требует дальнейшего исследования. Однако уже сейчас результаты работы могут быть использованы в контексте будущего развития сети национальных парков России, а также в развитии туристско-рекреационной деятельности каждого отдельного национального парка.

Список литературы

1. Государственные природные заповедники и национальные парки. Федеральной службы государственной статистики: официальный сайт. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194> (дата обращения: 10.09.2022).
2. Максаковская Н.С., Максаковский Н.В. Национальные парки России как основа природоохранного каркаса территории страны и ресурс развития туризма // Вестник МГПУ. Серия: естественные науки. 2017. № 1 (25). С. 9-20.
3. Иванов А.Н., Чижова В.П. Охраняемые природные территории: учебное пособие. М.: Географический факультет МГУ, 2010. 184 с.
4. Макарова К.А. Территориальная сеть национальных парков России как объект экологического туризма: дис. ... канд. геогр. наук. Москва, 2015. 247 с.
5. Национальные парки России. Информационно-аналитическая система «Особо охраняемые природные территории России» (ИАС «ООПТ РФ»): официальный сайт. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <http://oopt.aari.ru> (дата обращения: 12.09.2022).
6. Социально-экономическое положение федеральных округов Федеральной службы государственной статистики: официальный сайт. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11109/document/13260> (дата обращения: 10.09.2022).
7. Национальные парки и заповедники России. Веб-картографическая платформа Google Мои карты: официальный сайт. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.google.com/maps/> (дата обращения: 10.10.2022).
8. Национальные парки. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации: официальный сайт. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mnr.gov.ru/activity/oopt/> (дата обращения: 18.10.2022).

УДК 504:630

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСНОМ СЕКТОРЕ

Сучков Д.К.

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения
Российской академии наук, Волгоград, e-mail: suchkov1992@yandex.ru*

Представлены анализ использования в лесном хозяйстве технологий информационного характера и сформулированные на основе указанного анализа предложения, предполагающие необходимость создать для лесного хозяйства единую информационную систему, являющуюся ГИС-ориентированной. Охарактеризованы позитивные аспекты применения при изучении лесного фонда информационных технологий в сопоставлении с применением при подобном изучении материалов лесоустройства в бумажном формате. Отмечена необходимость осуществления лесоустройства в непрерывном режиме и отказа в этой связи от методов лесоустройства, являющихся традиционными. Требуется пополнять содержание электронной базы данных, постоянно пополняя ее сведениями в отношении изменений в лесном фонде и реализуемых мероприятий. Непрерывное лесоустройство на основе использования ГИС предполагает возможность существенным образом сократить затраты труда, повысить точность изучения лесных участков в процессе проектирования хозяйственной деятельности, установления арендных договорных отношений. За счет указанного лесоустройства обеспечивается возможность арендаторам и сотрудникам лесничеств постоянно оптимизировать относящиеся к лесному фонду сведения, минимизировать возникающие в процессе лесоустройства неточности, просчеты. Отмечена потребность в нормативном обосновании понятия подвыдела, части выдела, формируемого в случае, когда при гибели насаждений или вследствие хозяйственной деятельности применительно к части площади выдела меняется таксационное описание. Внедрение информационных технологий должно быть ориентировано на то, чтобы формировать для всех лесничеств общую таксационно-картографическую базу. За счет данной базы должны быть обеспечены возможности, связанные с наличием актуальных сведений в отношении лесного фонда и внесением изменений в соответствующие сведения. Непрерывное лесоустройство при фиксации всех относящихся к лесному фонду изменений, возникающих при проведении в лесном секторе различных работ, обеспечит возможность сокращения связанных с лесоустройственными работами затрат.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, геоинформационные системы, государственный лесной реестр, лесное хозяйство, база данных, информационные технологии, лесоустройство, таксация

GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN THE FOREST SECTOR

Suchkov D.K.

*Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, e-mail: suchkov1992@yandex.ru*

The analysis of the use of information technologies in forestry is presented, and proposals formulated on the basis of this analysis, suggesting the need to create a unified information system for forestry, which is GIS-oriented. The positive aspects of the use of information technologies in the study of the forest fund in comparison with the use of forest management materials in paper format in such a study are characterized. The necessity of implementing forest management in a continuous mode and abandoning traditional forest management methods in this regard is noted. It is required to replenish the content of the electronic database, constantly updating it with information regarding changes in the forest fund and ongoing activities. Continuous forest management based on the use of GIS assumes the possibility to significantly reduce labor costs, increase the accuracy of studying forest plots in the process of designing economic activities, establishing lease contractual relations. Due to the specified forest management, tenants and employees of forestry departments are provided with the opportunity to constantly optimize information related to the forest fund, minimize inaccuracies and miscalculations arising in the process of forest management. The need for normative fixation of the concept of a sub-division in the form of a part of the allotment is noted, which is formed in the case when, with the death of plantings or as a result of economic activity, the tax description changes in relation to a part of the allotment area. The introduction of information technologies should be focused on forming a common taxational and cartographic base for all forest areas. Due to this database, opportunities should be provided related to the availability of up-to-date information regarding the forest fund and making changes to the relevant information. Continuous forest management, while recording all changes related to the forest fund that occur during various works in the forest sector, will provide an opportunity to reduce costs associated with forest management work.

Keywords: remote sensing, geoinformation systems, state forest register, forestry, database, information technology, forest management, taxation

За счет лесов обеспечивается реализация комплекса наиболее значимых для человеческой цивилизации экологических и социально-экономических функций. В этой связи для того, чтобы организовать рациональный и эффективный переход к устойчивому раз-

витию, требуется обоснованно использовать лесной фонд. Для этого необходимо использовать дистанционное зондирование и применять материалы лесоустройства.

Средства и методы, позволяющие осуществлять комплекс операций с информа-

цией, связанных со сбором информации, ее распространением, обработкой, хранением, носят наименование информационных технологий. Сегодня существует острая потребность в том, чтобы внедрять на производственных объектах лесного хозяйства программы геоинформационного характера [1]. За счет информационных технологий возможно многократное повышение эффективности реализации присущих лесному хозяйству функций, связанных с хозяйственной деятельностью и охраной природы. Подобные результаты обеспечиваются в силу того, что применение указанных технологий позволяет повысить оперативность формирования проектов мероприятий лесохозяйственного характера в отношении масштабных территорий, получать в отношении лесного фонда аналитические данные, проводить обработку значительных объемов информации с высокой точностью и в кратчайшие сроки [2].

Многообразные участники отношений в лесной сфере – управляющие лесным фондом государственные органы, пользователи лесных ресурсов и др. – обладают заинтересованностью в том, чтобы в лесном хозяйстве активно развивались информационные технологии.

Цель исследования – провести анализ информационных технологий, сферой применения которых является лесное хозяйство, и на данной основе выявить перспективные направления последующей автоматизации в указанной сфере.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на основе анализа нормативно-правовых актов и публикаций в научных изданиях по соответствующим вопросам [3]. Проведен анализ применения в сфере лесного хозяйства ряда программных средств – АИС ГЛР (автоматизированной информационной системы государственного лесного реестра), Mapinfo, topol, ЛесГИС, АркГИС, Лесфонд, а также Excel и qgis. Проведен анализ содержания инструктивных документов по применению соответствующих программных средств. Сопоставлены временные затраты, сопутствующие исполнению запросов, являющихся стандартными, с применением информационных технологий и в ручном режиме.

Результаты исследования и их обсуждение

Ориентированная на перспективу до 2020 г. госпрограмма по развитию лесного

хозяйства [4] определила мероприятия, связанные с внедрением в сфере лесного хозяйства информационных технологий. Соответствующие мероприятия должны были оптимизировать систематизацию сведений в отношении лесных ресурсов, чтобы формировать ГЛР – государственный лесной реестр, свод сведений в отношении состояния, воспроизводства, использования, защиты, охраны лесов.

АИС ГЛР – автоматизированная информационная система ГЛР, являющаяся подсистемой ЕАИС – единой автоматизированной информационной системы Рослесхоза.

Следует отметить, что создание указанной АИС представляет собой лишь отправную точку к активному внедрению информационных технологий в анализируемой сфере. В данной АИС не предусматривается формирование относящейся к лесному фонду базы данных, соответствующей критериям достоверности, полноты, актуальности. Представленные в ГЛР сведения нередко являются противоречивыми в силу того, что они получены из материалов проведенного в отдаленном прошлом лесоустройства. Сроки давности источников присутствующих в ГЛР сведений являются различными. На систематизацию сведений в ГЛР необходимы существенные затраты.

Ввод информации в указанную АИС сопровождается лишь представлением имеющихся в бумажном формате данных в электронной форме. Выгода для лесопользователей от подобных сведений отсутствует. Цели существования указанной АИС состоят в сборе отчетности и автоматизации оборота документов в государственных структурах.

Лесоустройство позволяет собирать сведения в отношении лесного фонда, являющиеся разносторонними и достоверными, определять меры, ориентированные на то, чтобы обоснованно вести лесное хозяйство, эффективно защищать, охранять, воспроизводить леса.

На основе лесоустроительной информации формируются в том числе информационные ресурсы, которые отражают воздействие человека на природную среду. Соответствующие данные обеспечивают возможность повышения обоснованности использования природных ресурсов, определения состояния, в котором находятся объекты хозяйственной деятельности, являющиеся потенциально опасными.

При лесоустройстве, проводимом в традиционном режиме, устанавливаются при-

сущие землям лесного фонда и лесным насаждениям параметры, определяются меры, связанные с их воспроизводством, использованием, защитой, охраной. При этом периодичность должна быть следующей – лесостроительство должно осуществляться не реже, чем однократно в десятилетие. На практике сроки составляют двадцать лет и более.

При реализации методов ДЗ – дистанционного зондирования фиксируется электромагнитное излучение участков поверхности. Форма регистрации – цифровая или аналоговая. На протяжении последних десятилетий в значительном числе отраслей, в том числе в сфере лесного хозяйства, реализованы новые возможности за счет активного применения космического зондирования. Качественный уровень материалов ДЗ, их многообразие и объемы в последние годы постоянно возрастают. Системы ДЗ позволяют получать многозональные снимки с высоким и средним разрешением [5]. Применяются программные обеспечения MapInfo, ScanExImageProcessor, Scanmagic, ENVI, позволяющие проводить применительно к изображениям автоматическую обработку [2, 5]. Имеется возможность формировать системы, позволяющие проводить мониторинг в оперативном режиме с получением отражающих состояние лесов точных данных.

Эффективность оценивается исходя из динамики:

- общего среднего прироста в м³ на гектар;
- пользования с гектара земель, на которых находится лес;
- удельного веса в покрытых лесом землях насаждений, являющихся ценными;
- удельной площади погибших от пожаров ранее покрытых лесом земель;
- в случае сплошных рубок – соотношения площади лесовосстановления, являющегося искусственным.

К примеру, можно рассмотреть ГИС «ЛесФонд», разработанную фирмой «Лаб-Мастер» (г. Екатеринбург), она принципиально меняет ситуацию в обработке информации о лесном фонде [6]. Лесопользователи, использующие данную программу при ведении лесного хозяйства, могут сократить финансовые затраты на проведение лесоустроительных работ в два раза. При постоянном и непрерывном внесении информации в БД к моменту проведения лесостроительства у лесопользователя будет готовая база данных с актуальной информацией о лесном фонде [7].

Применение ДЗ есть условие адекватной оценки эффективности использования лесного фонда. При этом:

- изучается состояние, в котором находятся участки, арендуемые для того, чтобы строить и использовать не относящиеся к лесной инфраструктуре объекты;
- определяются нарушения требований, согласно которым может заготавливаться древесина;

– определяются объемы, площади, места рубок, являющихся противозаконными.

Система лесоустроительных работ, существующая сегодня, характеризуется наличием следующего ключевого недостатка – статичностью относящихся к лесному фонду сведений. Сегодня лишь в отношении 30% лесов лесостроительство проводилось в пределах нормативного срока, равного десяти годам. Объемы лесостроительства в годовом исчислении определены в размере порядка 20–25 млн га. Данные масштабы работ определены Стратегией развития лесного комплекса.

Обеспечение наличия актуальных лесоустроительных данных возможно в случае, если будут вестись БД – базы данных лесных участков и применяться ГИС – геоинформационные системы. Число выделов в арендуемом лесном участке в среднем составляет в РФ 5000. Возможность без информационных технологий осуществлять обработку таксационных описаний, анализировать соответствующие данные и принимать решения отсутствует. Данные обстоятельства обусловили стремление арендаторов к активному применению в процессе ведения лесного хозяйства компьютерной техники, БД и ГИС [7].

Сегодня в РФ отсутствуют нормативно предусмотренные технологии ГИС, позволяющие автоматизировать все относящиеся к деятельности организаций лесного хозяйства направления и этапы в комплексе. В то же время в сфере лесного хозяйства идет процесс активного ведения ГИС [4] в децентрализованном формате. На каждом из уровней отмечается тенденция осознания значимости применения соответствующих технологий.

В каждом из регионов страны при информатизации в лесном секторе применяются собственные подходы. Так, применяются программные средства Excel, qgis, ArcGis, Mapinfo и др., имеющие общее назначение. При этом применяются и специализированные разработки – topol, ЛесГис, Лесфонд.

Информационные технологии позволяют решать задачи, относящиеся к обработке, анализу характеризующей лесной фонд информации. Основу применения указанных технологий составляет совместный или обособленный анализ планшетов и таксационных описаний.

Формирование баз данных в электронной форме основывается на оцифровке материалов лесоустройства, существующих в бумажном формате. Возможно использование создаваемых БД до того, как применительно к арендуемому участку будет проведен следующий тур лесоустройства.

Чтобы более успешно внедрять информационные технологии, необходимо переходить к непрерывному лесоустройству. Подобное лесоустройство впервые было проведено в СССР в 1970-х гг.

При ее осуществлении состоялось создание методики, на основе которой должно осуществляться непрерывное лесоустройство. В некоторых относящихся к Челябинскому управлению лесами лесхозах на протяжении трех лет осуществлялись работы, связанные с непрерывным лесоустройством в соответствии с данной методикой. При указанном лесоустройстве принимаются во внимание активно возникающие в процессе ведения лесного хозяйства изменения в лесном фонде, его состоянии [5].

Ранее требовалось привлекать специалистов высокой квалификации и прилагать значительные усилия для того, чтобы анализировать мероприятия, осуществлявшиеся в рамках годового периода, принимать во внимание обусловленные стихийными бедствиями последствия и на этой основе менять сведения в тематических лесных картах и выдельной таксационной базе данных.

Непрерывное лесоустройство на основе использования ГИС предполагает возможность существенным образом сократить затраты труда. Применение компьютерных устройств формирует условия для обработки относящихся к состоянию лесного фонда массивов информации, и проведению анализа соответствующих данных. Требуется принимать во внимание и возможность анализировать относящиеся к той или иной территории снимки, полученные со спутника. В мире отмечается тенденция расширения масштабов применения подобных снимков в процессе изучения состояния лесного фонда [5, 6].

Присущие реализации непрерывного лесоустройства преимущества связаны:

- с снижением трудозатрат, связанных с ведением лесного кадастра, относящихся к учету лесов документов, обеспечением роста точности материалов, относящихся к лесоустройству;

- повышением обоснованности пользования лесными ресурсами, ростом эффективности производства в лесном хозяйстве;

- оперативной реализацией мер, ориентированных на то, чтобы устранить возникающие при ведении лесного хозяйства просчеты;

- получением точной информации применительно к отрицательным изменениям в лесном фонде, состоянию лесов, заготовке леса, обоснованности использования лесных ресурсов на участках лесного фонда, находящихся в аренде, формированию и росту насаждений;

- осуществления проектов, предполагающих развитие, организацию лесного хозяйства, при формировании которых применяются материалы лесоустройства и произошедшие в ревизионный период вследствие воздействий в отношении лесной среды, леса изменения в лесном фонде;

- повышением оперативности, гибкости управления комплексом процессов различными субъектами – пользователями, органами контроля и др. с обменом сведениями между соответствующими субъектами в электронном формате;

- постоянной корректировкой сведений в отношении ресурсов древесины по каждому из направлений лесопользования, учетом информации, относящейся к местам осуществления мероприятий, интенсивности пользования лесами, выявлением факторов, оказывающих на состояние, развитие насаждений отрицательное влияние [7].

Соответственно, на основе БД лесничеством может осуществляться поиск лесоустроительных сведений в оперативном режиме [8]. Использование указанных БД также позволяет минимизировать трудозатраты исполнителей на формирование отчетных документов. Затраты времени на отбор исходя из категорий защитности насаждений хвойных пород, являющихся перестойными и спелыми, с использованием бумажных таксационных описаний составит минимум пять часов. В случае записи данных продолжительность выполнения данной процедуры будет измеряться несколькими днями. Тогда как при исполь-

зовании БД на ее выполнение понадобится максимум пять минут.

Заключение

На основе применения лесничествами и лесопользователями программы ГИС обеспечивается возможность подготовки в автоматизированном режиме требующихся при использовании лесов документов, осуществления непрерывного лесоустройства. Программа позволяет актуализировать поведельную базу данных. При использовании программы исключается необходимость многократного внесения сведений в указанную базу.

Главное условие увеличения масштабов внедрения ГИС – нормативная регламентация актуализации связанных с лесоустройством материалов с использованием БД ГИС с учетом изменений, вносимых на протяжении ревизионного периода; разработка единых нормативов; установление для арендаторов, лесничих обязанности по внесению изменений в содержание БД лесных участков при осуществлении хозяйственной деятельности; централизация процесса.

Список литературы

1. Чермных А.И., Оплетев А.С. Анализ поведельной геобазы с использованием SQL-запросов для определения статистически достоверной информации на примере ГИС MapInfo // Леса России и хозяйство в них. 2013. № 1 (44). С. 53–54.
2. Фомин В.В., Залесов С.В. Географо-генетический подход к оценке и прогнозированию лесных ресурсов с использованием ГИС-технологий // Аграрный вестник Урала. 2013. № 12 (118). С. 18–24.
3. Вагизов М.Р., Истомина Е.П., Колбина О.Н., Яготинцева Н.В., Морщикова А.Е., Конжголадзе К.В. Разработка интеллектуальной геоинформационной системы для отрасли лесного хозяйства // Геоинформатика. 2021. № 3. С. 4–13.
4. Чернова О.А. Организационно-правовые проблемы обеспечения стратегических национальных приоритетов Российской Федерации в продовольственной сфере // Российская юстиция. 2011. № 12. С. 63–64.
5. Чибисова И.С. Информационные технологии в лесном хозяйстве // Эпоха науки. 2019. № 19. С. 85–86.
6. Чермных А.И., Годовалов Г.А. Информационные технологии в лесном хозяйстве // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 85–89.
7. Zolkin A.L., Matvienko E.V., Suchkov D.K., Shamina S.V. Digital Development of Agrarian Production – Institutional Approach. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International science and technology conference “Earth science” (ISTC EarthScience-2022). 2022. С. 042070. DOI: 10.1088/1755-1315/988/4/042070.
8. Сучков Д.К. Цифровые технологии в агропромышленном комплексе // Управленческий учет. 2021. № 6–3. С. 727–737. DOI: 10.25806/uu6-32021727-737.

СТАТЬИ

УДК 556:574

**ВЛИЯНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
РЕКИ РОГАТКА (ОСТРОВ САХАЛИН)
НА ПЕРВИЧНУЮ ПРОДУКЦИЮ, ПОГЛОЩЕНИЕ
И ЭМИССИЮ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА РЕЧНОЙ ЭКОСИСТЕМОЙ***

Латковская Е.М., Репина М.А., Пестова А.О.

*ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», Южно-Сахалинск,
e-mail: elena-sazon02@yandex.ru*

На примере р. Рогатка – малого водотока, расположенного в южной части о. Сахалин, изучили гидролого-гидрохимические параметры и оценили величину валовой первичной продукции и деструкции органического вещества отдельно для планктонного сообщества и перифитона в весенний период. В р. Рогатка величина деструкции органического вещества почти в 3 раза выше, чем продукции. Органическое вещество имеет преимущественно аллохтонное происхождение. Ведущую роль как в создании, так и в деструкции ОВ в реке играет перифитон. Ежегодно величина валовой первичной продукции автотрофов в р. Рогатка может ориентировочно достигать 1,2 т С, количество органического вещества, потребляемого планктонным и перифитонным сообществом, – 3,3 т С. Расчеты показали, что поглощение из атмосферы CO_2 р. Рогатка составляет порядка 44 тыс. т CO_2 /год или 12 тыс. т С/год. Сток CO_2 с 1 м² поверхности р. Рогатка за счет дегазации составляет ориентировочно 14,59 гС/м² в год или 53,5 г CO_2 /м² в год (без учета гидробиологических процессов разложения и создания органического вещества), что составит порядка 0,4 тС в год, что в пересчете на CO_2 около 1,6 т CO_2 /год. Эмиссия CO_2 с 1 м² поверхности р. Рогатка за счет физико-химических процессов разложения и создания органического вещества), что составит порядка 0,4 тС в год, что в пересчете на CO_2 около 1,6 т CO_2 /год. Полученные предварительные объемы поглощения и эмиссии углекислого газа, продукции и деструкции органического вещества малого водотока о. Сахалин позволят провести дальнейшие расчеты поглощения и эмиссии CO_2 поверхностными водами острова и скорректировать текущие оценки.

Ключевые слова: о. Сахалин, р. Рогатка, гидрохимические параметры, первичная продукция, деструкция, органический углерод, фитопланктон, перифитон, трофность, потоки углекислого газа

**Работа частично выполнена в рамках государственного задания ФГБОУ ВО «СахГУ» по теме «Углеродный баланс биоморфолитосистем побережья и прилегающих морских акваторий окраинных морей Дальнего Востока (FEFF-2022-0027)».*

**INFLUENCE OF HYDROCHEMICAL CONDITIONS
OF THE ROGATKA RIVER (SAKHALIN ISLAND)
ON THE ON PRIMARY PRODUCTION AND CARBON DIOXIDE FLUX**

Latkovskaya E.M., Repina M.A., Pestova A.O.

Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, e-mail: elena-sazon02@yandex.ru

We studied the hydrological and hydrochemical parameters and estimated the value of the gross primary production (GPP) and destruction of organic matter (OM) separately for the plankton and periphyton in the small river. Rogatka (Sakhalin, Far East, Russia). The value of destruction of OM is almost 3 times higher than the products. OM is predominantly of allochthonous origin. The value of the GPP of autotrophs in the river approximately 1.2 tC annually, the amount of organic matter consumed by plankton and periphyton is about 3.3 tC annually. River absorption from the atmosphere of CO_2 is about 44 thousand t CO_2 /year or 12 thousand tC/year. The sink of CO_2 per m² of the surface of the river due to degassing is approximately 14.59 gC/m² year or 53.5 g CO_2 /m² year (excluding hydrobiological processes of decomposition and creation of organic matter), which will be about 0.4 tC/year or 1.6 t CO_2 /year. Emission of CO_2 per m² of the surface of the river due to physical and chemical processes is approximately 14.59 gC/m² year or 53.5 g CO_2 /m² year (excluding hydrobiological processes). It will be about 0,4 tC per year, which in terms of CO_2 is about 1.6 t CO_2 /year from hole river. The obtained preliminary volumes carbon dioxide flux, production and destruction of organic matter of the small river form Sakhalin will allow further calculations of absorption and emission of CO_2 by the surface waters of the island and correct current estimates.

Keywords: Sakhalin Island, Rogatka river, hydrochemical parameters, primary production, destruction, organic carbon, phytoplankton, periphyton, trophic, carbon dioxide flux

Оценка экологического состояния малых рек и ручьев (малые водотоки) о. Сахалин крайне важна, поскольку большинство таких водотоков имеет нерестовое значение для многих ценных видов рыб, включая тихоокеанских лососей. Наряду с чистотой, важный аспект водотока, как среды обита-

ния гидробионтов, является его трофность. В результате региональных особенностей малых нерестовых лососевых водотоков о. Сахалин, в зимний период достигается наилучшая выживаемость икры и молоди тихоокеанских лососей в нерестовых буграх за счет низкой продуктивности, небольшого

содержания органических веществ в воде и грунте, взвешенных веществ в воде и тонких фракций в грунте, высокого содержания кислорода, хорошей омываемости бугров и т.д. В реках и ручьях (участках рек) с каменистым руслом, достаточно высокими скоростями течения 0,1–5 м/с, характеризующихся снеговым или дождевым питанием, главным автотрофным продуцентом органического вещества является перифитон, тогда как продукция фитопланктона мало значительна [1–3]. Кроме того, лентические системы являются стоком углекислого газа в атмосферу, в отличие от озерных и океанических экосистем, которые, наоборот, в большей степени поглощают углерод [4–6] и изучение трансформации баланса углерода на разделе вода – атмосфера вдоль речного континуума, начиная от истоков до устья рек, имеет большое значение [7–9]. Величина эмиссии CO₂ более изменчива в водотоках арктического и умеренного пояса, чем субтропического и тропического [10]. Сток CO₂ в атмосферу из текущих водотоков всего мира варьируются от 0,8 до 2,3 PgC/в год в пересчете на углерод [11].

Таким образом, оценка элементов биогеохимического цикла углерода в таком водотоке для о. Сахалин важна для понимания общего баланса потока парниковых газов на региональном уровне. Большинство малых водотоков о. Сахалин в верхнем и среднем течении по гидрологическим характеристикам относят к предгорному типу, поэтому перифитон будет определяющим первичную продукцию экосистемы реки компонентом, а фитопланктон – вспомогательным, а полученные оценки поглощения и эмиссии углекислого газа в дальнейшем можно применять и для других водотоков подобного типа.

Цель исследования состоит в оценке влияния гидрохимических параметров р. Рогатка на первичную продукцию фитопланктона и фитоперифитона, определение трофического статуса водотока и расчет потоков углекислого газа через речную экосистему.

Материалы и методы исследования

Река Рогатка – левый приток второго порядка, впадает в р. Красносельскую, которая, в свою очередь, впадает в р. Сусуя. Река Рогатка протекает по территории Южно-Сахалинска, на ней обустроено водохранилище (площадь водного зеркала 0,09441 км²) для хозяйственно-питьевого водоснабжения города. Длина около 10 км, площадь во-

досбора 43 км², имеет 14 притоков длиной менее 10 км [12]. Прилегающая местность гористая, густо поросшая смешанным лесом с преобладанием хвойных пород. Средняя высота водосбора составляет 390 м. Среднезвешенный уклон русла – 69%. Ширина долины по дну 100–150 м, грунты преимущественно суглинистые, местами обнажены известняковые горные породы, растворимость которых возрастает с уменьшением рН воды. Питание – смешанное с преобладанием снегового. Лед устанавливается во второй декаде декабря, начало весеннего ледохода в первой декаде апреля. Сплошного ледового покрова на реке не образуется. Ширина русла – 3–10 м, глубина реки – 0,2–0,5 м, скорость течения 1–2 м/с, среднегодовой расход воды невелик и составляет всего 0,52 м³/с, среднегодовой модуль стока – 27,4 л/с*км². Средний слой стока 863 мм, на весну (апрель – июнь) приходится 50,6%. Температура воды в реке не превышает 12 °С в течение года [12, 13]. Годовая сумма осадков по метеостанции г. Южно-Сахалинск составляет 822 мм, из которых в холодный период с ноября по март выпадает 263 мм, в теплый период – 559 мм. Мутность в течение года изменяется от 383 до 7226 мг/дм³ (в среднем 2866 мг/дм³) [14].

Химический состав воды р. Рогатка характеризуется выраженным преобладанием катионов Ca²⁺ (7,6–8 мг/л в половодье и 9–16 мг/л в межень) и анионов HCO₃⁻ (27–32 мг/л в половодье и 33–49 мг/л в межень). Суммарная концентрация ионов составляет 55–59 мг/л в период половодья и 59–88 – в меженный период. Минерализация невысокая и не превышает 100 мг/л [13].

Река Рогатка является нерестовой для тихоокеанских лососей (горбуша, кета), хотя проход на все нерестилища невозможен из-за зарегулированности русла водохранилищем.

Пробы воды, фитопланктона и перифитона отбирали весной (март – апрель) 2021 г. на пяти станциях (рис. 1). Конечно, в толще воды текущих водотоков наряду с микроводорослями присутствуют гетеротрофные организмы, поэтому понятие фитопланктон здесь весьма условное. Тем не менее в дальнейшем мы будем придерживаться именно такого определения.

Станция № 1 – располагается на территории Городского парка. Ширина русла 2 м, берега укреплены каменной наброской, которая частично смыта в русло. Глубина 5 см у берега, 20 см – на середине водотока. Каменная наброска обросла перифитоном.



Рис. 1. Схема и фото станций

Станция № 2 – располагается на территории Городского парка западнее на 200 м станции № 1. Ширина русла 3 м. Дно состоит из валунов и камней, обросших перифитоном, глубина у берега 6 см, посередине 15 см.

Станция № 3 – располагается на территории Городского парка западнее на 200 м станции № 2. Ширина русла в месте отбора проб 1,5 м. Дно состоит из камней, перифитон на которых слабо развит. Глубина в месте отбора проб 11 см.

Станция № 4 – располагается в пределах городской застройки. В 30 м от станции над рекой построен пешеходный мост. Поблизости находятся предприятия общепита и различные магазины. Ширина русла в месте отбора проб 3,6 м. Глубина в месте отбора проб 23 см. Дно состоит из камней и глины.

Станция № 5 – также располагается в пределах городской застройки ниже по течению от станции № 4 в непосредственной близости от различных зданий. Ширина русла в месте отбора проб 9 м. Глубина в месте отбора проб 16 см. Дно состоит из камней и валунов, засорено пакетами, дорожными знаками и прочим бытовым мусором.

По гидрологическим и морфологическим параметрам изученный участок можно охарактеризовать как *предгорно-равнинный*.

На месте отбора проб определяли освещенность и температуру (метеостанция Mastech MS6300), скорость течения (гидрометрическая микровертушка ГМЦМ – 1), температуру и pH воды (pH-метр Hanna,

модель HI 83141), отбирали воду в кислородные склянки для анализа кислорода (методом Винклера). Величину первичной продукции (ПП) определяли отдельно для фитопланктона (в склянки добавляли речную воду) и перифитона (в склянки добавляли навеску перифитона, собранного с точной площади) (застой склянок 24 ч) [15, 16].

Определение содержания растворенного кислорода проводили методом Винклера согласно РД 52.24.419. Биохимическое потребление кислорода определяли за 5 суток согласно РД 52.24.420. Определение содержания взвешенных веществ (ВВ) проводили в соответствии с РД 52.24.468 путем фильтрации воды через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм. Общее количество азота нитратного определяли в нефилтрованных пробах согласно ПНДФ 14.1:2:4.4 спектрофотометрическим методом на УФ-спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu).

Количество общего органического углерода рассчитывали по значению БПК₅ по уравнению регрессии, полученному Ли с соавт.: БПК₅ = 0,799ТОС-0,443 [10]. Величину валовой и чистой первичной продукции, а также траты на дыхание рассчитывали отдельно для планктонного сообщества и перифитона [12, 13]. При расчете валовой и чистой продукции исходили из длины светового дня (Т = 13 ч для марта – апреля), при расчете деструкции – Т = 24 ч.

Для оценки потоков CO₂ реки использовали формулу из работы Батмана и Рэймонда [4]:

$$fCO_2 = \sum_{IP} \left[([CO_2]_{\text{вода}} - [CO_2]_{\text{воздух}}) \times kCO_2 \times Sэ \right],$$

где fCO_2 – поток CO₂ в зависимости от порядка водотока (IP);

$[CO_2]_{\text{вода}}$ и $[CO_2]_{\text{воздух}}$ – молярная концентрация CO₂, растворенного в воде и в воде в равновесии с атмосферой;

kCO_2 – скорость переноса CO₂ в потоке (м/сут);

$Sэ$ – площадь водотока, с которого рассчитывают эмиссию CO₂.

Результаты исследования и их обсуждение

Условия среды в период отбора колебались в широком диапазоне: температура воздуха изменялась в диапазоне от -10,3 до 10 °С, освещенность – 22502–168054 lux.

Температура воды изменялась в диапазоне 1,4–5,1 °С (среднее значение составило 2,6±1,5 °С). Электропроводность воды

находилась в диапазоне 88–210 мкСм/см (в среднем 152±40 мкСм/см). Величина возрастала по мере продвижения от парка к городу (табл. 1). Надо отметить, что в период весеннего таяния снега в реки попадает большой объем талых вод, минерализация которых стремится к нулю, поэтому электропроводность речных вод весной невысока [13].

Таблица 1

Гидролого-гидрохимические показатели р. Рогатка в весенний период 2021 г.

Показатель	№ станции				
	1	2	3	4	5
Температура воды, °С	1,5	1,5	1,4	3,4	5,1
Скорость течения, м/с	0,4	0,4	0,3	0,3	1,2
Электропроводность, мкСм/см	88	141	150	170	210
Водородный показатель рН, ед.	6,43	6,84	7,07	6,73	6,86
Кислород, мг/дм ³	14,57	13,47	13,26	13,2	12,19
Кислород, % нас.	104	96	94	99	96
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	2,26	2,21	1,8	2,1	3,15
ТОС*, мг/дм ³	3,38	3,32	2,81	3,18	4,50
Азот нитратный**, мг/дм ³	0,34	0,35	0,62	0,80	1,27
Взвешенные вещества, мг/дм ³	2,7	4,7	4	5,6	6,4

Примечание: * – расчетные данные; ** – нефилтрованные пробы.

Величина рН характеризует воды р. Рогатка как слабокислые (6,43–7,07 ед., в среднем 6,78±0,21 ед.), рН воды рек о. Сахалин в период весеннего половодья снижается до кислой реакции [13], поэтому полученные значения отражают естественную сезонную динамику гидрохимического состава р. Рогатка.

Значение растворенного кислорода было высоким на всех станциях и составило 12,19–14,57 мг/дм³ (в среднем 13,34±0,76 мг/дм³). Насыщение воды кислородом изменялось в диапазоне 94–104 %.

Количество взвешенных веществ было невысоким и изменялось в диапазоне 2,7–6,4 мг/дм³, составляя в среднем 4,7±1,3 мг/дм³. Полученные значения характерны для участков рек и ручьев предгорного типа, которые даже в паводок имеют невысокую мутность. По сравнению с фоновым значением (19 мг/дм³ [12]) содержание ВВ в наших исследованиях было в среднем более чем в 4 раза ниже.

Содержание нитратного азота было довольно значительным для рек Сахалина и находилось в пределах 0,34–1,27 мг/дм³ (при среднем значении 0,68±0,34 мг/дм³), достигая максимума на ст. 5, расположенной в наиболее загрязненном районе. Эта величина значительно выше фоновой по данным СКИОВО за 2013 г. (0,205 N-NO₃ мг/дм³) [12]. По мере продвижения в сторону центра города река значительно обогащается нитратным азотом, который является индикатором наличия сточных вод.

Величина БПК₅ по станциям изменялась значительно (1,80–3,21, в среднем

2,30±0,45 мгО₂/дм³), достигая максимума на ст. 5, расположенной в наиболее загрязненном месте отбора. Полученные величины в среднем в 1,5 раза выше, чем фоновое значение. За фоновую величину для этого водотока принимают БПК₅ = 1,5 мгО₂/дм³ [12]. Часть станций отбора расположена непосредственно в городе, поэтому можно предположить, что повышенное содержание легкоокисляемых органических веществ, приводящее к увеличению величины БПК₅ на этих станциях, является следствием в первую очередь попадания неочищенных или плохо очищенных сточных вод многочисленных зданий, расположенных как непосредственно на берегу реки, так и поблизости. Повышенные значения БПК₅ р. Рогатка, отобранных в районе парка, можно объяснить несколькими источниками, в том числе наличием близко-расположенных дорог, гостиниц, заведений питания, таянием загрязненного снега.

Содержание общего органического углерода, рассчитанное через величину БПК₅ по уравнению регрессии Ли с соавт. [10] составило 2,81–4,50 мг/дм³ (в среднем 3,44±0,57 мг/дм³).

Численность фитопланктона была крайне низкой и изменялась в диапазоне 2240–4866 кл./л, составляя в среднем 3237±964 кл./л. Что касается продукции, то валовая первичная продукция фитопланктона находилась в диапазоне от 0,018 до 0,102 мгС/дм³ в сутки (в среднем 0,027 мгС/дм³ в сутки). Чистая продукция была положительной только на ст. 2 (0,045 мгС/дм³ в сутки), на остальных станциях чистая продукция была отрицательной.

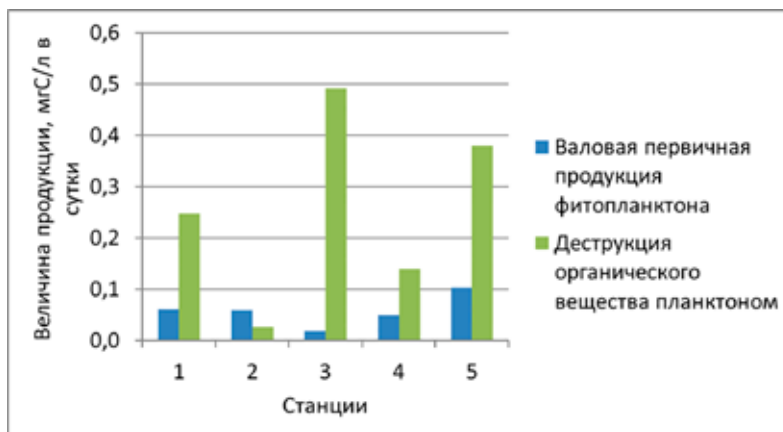


Рис. 2. Величины валовой первичной продукции фитопланктона и деструкции органического вещества планктонным сообществом в р. Рогатка весной 2021 г.

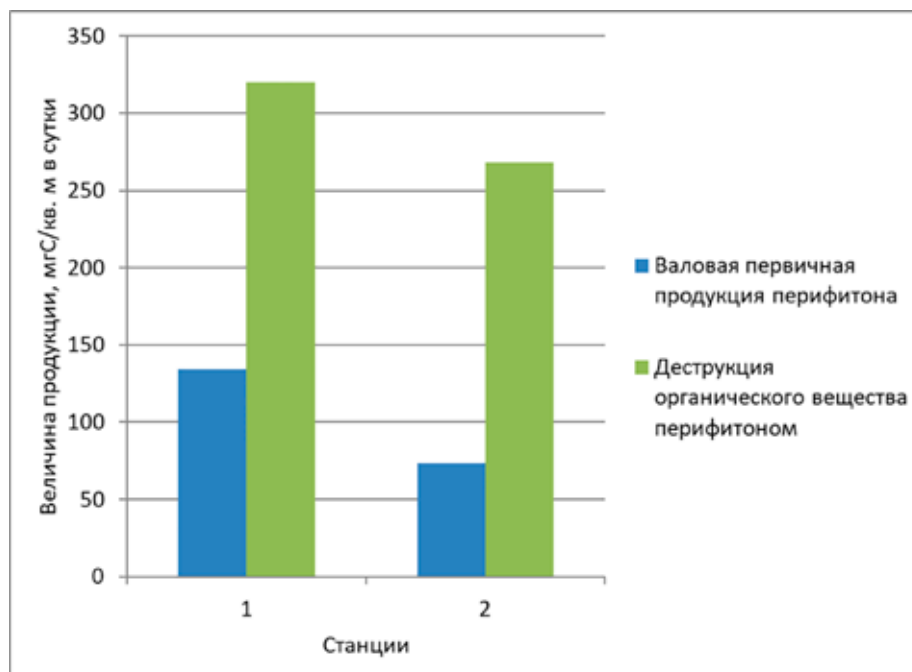


Рис. 3. Величины валовой первичной продукции и деструкции органического вещества перифитонном в р. Рогатка весной 2021 г.

Скорость деструкции органического вещества составляла 0,026–0,491 мгС/дм³ в сутки (в среднем 0,166 мгС/дм³ в сутки), что в 3–27 раз было выше скорости продуцирования (рис. 2). Такая картина (низкая чистая продукция и высокие траты на дыхание) свидетельствует о преобладании процессов разложения органического вещества над его продукцией, а также может быть связана с преобладанием в толще воды гетеротрофных организмов, потребляющих аллохтонное органическое вещество. Сообщество организмов, обитающих в тол-

ще воды текучих водотоков предгорного типа, малочисленно или вовсе отсутствует из-за невозможности противостоять течению. Среди планктона значительную часть занимают гетеротрофы (бактерии, простейшие и др.) [1]. Часто обнаруженные организмы привнесены извне (аллохтонное происхождение), т.е. смываются в водоток с почвы, лесной подстилки. Максимальный сток микроорганизмов в водоток происходит в период паводков и дождей.

Интегральная величина валовой первичной продукции планктона под квадрат-

ный метр была крайне низкой и изменялась в диапазоне 0,002–0,016 мгС/м² в сутки (в среднем 0,010 мгС/м² в сутки). Величина чистой продукции была выше нуля только на ст. 2 (0,0004 мгС/м² в сутки). Полученные величины вполне согласуются с представлениями о низкой продуктивности биоценозов вод малых водотоков горного и предгорного типа Дальнего Востока.

Продукцию перифитона удалось измерить только на двух станциях (ст. 1 и 2), так как на остальных станциях обрастания отсутствовали или были крайне малочисленны. Валовая продукция составила 73,5–134,5 мгС/м² в сутки (в среднем 104 мгС/м² в сутки) (рис. 3). Чистая продукция была отрицательной на обеих станциях. Величина деструкции составила 268–320 мгС/м² в сутки (в среднем 294 мг С/м² в сутки), что в 2–3 раза выше его продукции.

Полученные величины находятся в пределах, характерных для горных и предгорных участков водотоков Дальнего Востока. Так, в р. Кедровая (Приморье) величина продукции перифитона изменялась в пределах 100–8800 мгО₂/м² в сутки (38–3300 мгС/м² в сутки) [16].

В перифитоне р. Рогатка преобладают гетеротрофные организмы, так же как и в планктоне.

Сравнивая интегральную величину валовой первичной продукции и деструкции органического вещества (ОВ) перифитона и фитопланктона р. Рогатка, необходимо отметить, что почти 100% вносит перифитон, поэтому оценку величины годовой продукции и деструкции ОВ провели по данным перифитона.

Для оценки трофического статуса и возможности самоочищения водотоков от избытка органического вещества применяют индекс биотического баланса (A/R), который представляет соотношение между новообразованием и разрушением органических веществ, т.е. разность между валовой первичной продукцией всех автотрофов и суммарной деструкцией, связанной с процессами метаболизма всех живых компонентов экосистемы водоема и обозначается как A/R (первоначально разработан для стоячих водоемов, затем широко распространенных и на текущие водотоки) [16, 17]. Если A/R < 1, то это отрицательный биотический баланс и такой водоем *олиготрофный*, так как деструкторы преобладают над продуцентами. Если A/R = 1, то это нулевой баланс, он характерен для *мезотрофных* водотоков, если A/R > 1, это положительный

биотический баланс, когда на фоне преобладания процессов продукции в экосистеме накапливается органическое вещество и экосистема подвержена *эвтрофированию* [16, 17].

Для р. Рогатка, как и для большинства рек горного и предгорного типа Дальнего Востока, наблюдали отрицательный биотический баланс и в планктонном, и в бентосном сообществах. A/R для планктонного сообщества был меньше 1 (0,04–0,35) за исключением ст. 2, где A/R составил 2,24. A/R для перифитонного сообщества составил 0,27–0,42. Сравнение показывает, что полученные оценки близки к таковым для других водотоков подобного типа. Например, в р. Кедровая (Приморье) A/R перифитона составил 0,12–1,37, в среднем 0,41 [16].

Оценить трофность р. Рогатка можно и по другим показателям (например, величина БПК₅, содержание органического вещества и т.д.), однако наличие нескольких разных шкал и подходов (расчеты проводили в основном для стоячих водоемов или крупных рек) дает подчас разные результаты. Так, по величине БПК₅ р. Рогатка – это олиготрофный [18] или эвтрофный [19]. Наши расчеты показали, что также мало подходит для оценки трофности р. Рогатка индекс трофического состояния (ИТС), разработанный для стоячих водоемов, а также морских акваторий, так как нет прямой зависимости величины рН от содержания кислорода в быстротекущем водотоке.

В целом для малых текущих нерестовых водотоков о. Сахалин горного и предгорного типа, учитывая аллохтонность органического вещества и его высокую сезонную изменчивость в связи с жизненным циклом лососей, высокую растворимость кислорода при быстром течении и низкой температуре, а также низкую величину рН, в большей степени зависящую от пород водосборного бассейна, а не интенсивности фотосинтеза, выхода грунтовых вод непосредственно в русло, малые глубины и т.д., необходимо разработать региональную классификацию трофности.

При ориентировочной оценке годовой продукции принимали возможность круглогодичной вегетации автотрофного комплекса, учитывая развитие холодолюбивого комплекса автотрофов [20, 21], отсутствии полного ледостава с поправкой на период снежного покрова, который препятствует проникновению света в водоток, исключая площадь нерестилищ с выходом грунтовых вод. Период со снежным покровом продолжается 140 дней.

Таблица 2

Исходные данные для расчета потоков CO₂ на границе раздела атмосфера – поверхность р. Рогатка

Параметр	Значение
Порядок водотока	2
Средняя высота водосбора, м	390
Длина реки, км	10
Среднегодовое количество осадков, мм	822
Растворимость CO ₂ в воде при t 1–10 °С, г/кг	2,5–3,2 (в среднем 2,9)
Суммарный годовой сток, км ³	0,0164
Среднее содержание аллохтонного Сорг. в воде, мг/дм ³	3,44
Площадь поверхности водотока, м ²	50 000
Площадь водотока для расчёта эмиссии по уравнению Батмена и Реймонда**, м ²	29065
Содержание свободной углекислоты (CO ₂ своб.) в воде в половодье, мг/дм ³ *	1,7–12,8 (в среднем 7,3)
Содержание избыточно свободной углекислоты (CO ₃ ²⁻) в воде в половодье, мг/дм ³ *	1,6–12,3 (в среднем 7,0)
Среднегодовой расход воды, м ³ /с*	0,52
Скорость эмиссии CO ₂ из реки по уравнению Батмена и Реймонда**, гС/м ² год	14,588
Среднее парциальное давление CO ₂ для водотока 2 порядка умеренной зоны, μatm **	3,5
Средняя скорость переноса CO ₂ в воде (k) для водотока 2 порядка умеренной зоны, м/сутки	5

Примечание: *[10]; **[4].

В среднем годовая величина первичной продукции в р. Рогатка в районе работ для предгорно-равнинного участка составит 23,4 гС/м², деструкции органического вещества – 66,2 гС/м². Учитывая площадь водного зеркала, можно говорить ориентировочно о создании 1,2 тС и деструкции смываемого с водосбора, поступающего из атмосферы и образующегося в реке органического вещества, ежегодно 3,3 тС в р. Рогатка.

Таким образом, скорость и объемы новообразования органического вещества в р. Рогатка очень незначительны, несмотря на высокое содержание биогенных элементов (N-NO₃). Органическое вещество в толще воды имеет по большей части аллохтонный генезис, т.е. привносится с терригенным стоком. В то же время величина деструкции ОВ превышает количество новообразованного ОВ, поэтому не весь, выделенный в процессе окисления CO₂ идет на фотосинтез. Эта не востребованная автотрофами часть растворенных в воде газов приводит к перенасыщению водотоков углекислым газом и метаном (в зависимости от достатка кислорода), что приводит

к сбросу парниковых газов из рек и ручьев в атмосферу. Также большую роль в насыщении малых текучих водотоков парниковыми газами и их поглощение из атмосферы играет привнос с грунтовыми водами газов от почвенного и корневого дыхания растений, растворения горных пород [5], количество осадков, площадь и возраст лесов в водосборе, площадь и порядок водотока и еще множество факторов [4]. Углекислый газ хорошо растворим в воде, и это позволяет водотокам активно фиксировать CO₂ даже без фотосинтеза [22]. Кроме того, высокие скорости течения ускоряют газообмен на разделе вода – атмосфера, тем самым ускоряя как поглощение, так и сброс CO₂ из быстротекущих водотоков [23].

Скорость деструкции ОВ и, соответственно, насыщения речных вод углекислым газом и эмиссии CO₂ из рек в атмосферу наряду со стоком CO₂ из рек в атмосферу от других источников также зависит от многих факторов – особенности водосбора (тип почв, растительности, антропогенной освоенности), климата, гидролого-гидрохимических характеристик водотока, формиру-

ющих местные гетеротрофные сообщества. Так, ручьи и реки США выбрасывают ежегодно 97 ± 32 ТгС, в среднем с 1 м^2 водной поверхности в год – 2370 ± 800 г С/м² в год [4]. Была выведена линейная зависимость скорости эмиссии CO₂ (гС/м² год) из рек США (x) от годовой нормы осадков разных климатических зон (y): $y = 23,1x - 4,4$ [4]. Процент площади поверхности водотока (y), с которой возможна эмиссия CO₂ рассчитывается также через количество осадков (x) по работе Батмена и Рэймонда: $y = 0,723x - 0,013$ [4].

Гидрологические особенности р. Рогатка (высокая скорость течения, низкие температуры воды) приводят к тому, что насыщение воды кислородом достаточно для аэробного пути разложения поступающего органического вещества на большей части акватории реки, поэтому в атмосферу при деструкции ОВ может выбрасываться именно CO₂.

Теперь оценим количество органического вещества, переносимого р. Рогатка за счет растворения CO₂. Исходные данные для расчетов представлены в табл. 2.

Зафиксированный рекой из атмосферы CO₂ переносится из р. Рогатка в р. Красносельская порядка 44 тыс. тCO₂/год или 12 тыс. тС/год.

Сток CO₂ с 1 м^2 поверхности р. Рогатка за счет дегазации составляет ориентировочно $14,59$ гС/м² год или $53,5$ гCO₂/м² год (без учета гидробиологических процессов разложения и создания органического вещества), что, учитывая площадь водного зеркала для расчета эмиссии, составит порядка $0,4$ тС в год, что в пересчете на CO₂ около $1,6$ тCO₂/год.

Заключение

Содержание общего органического углерода, рассчитанное через величину БПК₅, составило $2,81-4,50$ мг/дм³ (в среднем $3,44 \pm 0,57$ мг/дм³).

Величина валовой первичной продукции фитопланктона, измеренная инструментально, находилась в диапазоне от $0,018$ до $0,102$ мгС/дм³ в сутки (в среднем $0,027$ мгС/дм³ в сутки). Содержание общего органического углерода, рассчитанное через величину БПК₅, составило $2,81-4,50$ мг/дм³ (в среднем $3,44 \pm 0,57$ мг/дм³). Скорость деструкции органического вещества составляла $0,026-0,491$ мгС/дм³ в сутки (в среднем $0,166$ мгС/дм³ в сутки), что в 3–27 раз было выше скорости продуцирования. Преобладание процессов разложения органического вещества над его продукцией свидетель-

ствует о значительном количестве в толще воды гетеротрофных организмов, потребляющих аллохтонное органическое вещество.

Величина валовой продукции перифитона составила $73,5-134,5$ мгС/м² в сутки (в среднем 104 мгС/м² в сутки). Величина деструкции составила $268-320$ мгС/м² в сутки (в среднем 294 мг С/м² в сутки), что в 2–3 раза выше его продукции. В перифитоне р. Рогатка преобладают гетеротрофные организмы, так же как и в планктоне.

Таким образом, в р. Рогатка величина деструкции органического вещества почти в 3 раза выше, чем продукции. Органическое вещество имеет преимущественно аллохтонное происхождение. Подавляющую роль как в создании, так и в деструкции ОВ в реке имеет перифитон.

Для р. Рогатка, как и для большинства рек горного и предгорного типа Дальнего Востока, наблюдали отрицательный биотический баланс и в планктонном, и в бентосном сообществах. А/R для планктонного сообщества был меньше 1 ($0,04-0,35$) А/R для перифитонного сообщества составил $0,27-0,42$.

Ежегодно величина валовой первичной продукции автотрофов в р. Рогатка может ориентировочно достигать $1,2$ т С, количество органического вещества, потребляемого планктонным и перифитонным сообществом – $3,3$ т С.

Расчеты показали, что поглощение из атмосферы CO₂ р. Рогатка составляет порядка 44 тыс. тCO₂/год или 12 тыс. тС/год.

Сток CO₂ с м^2 поверхности р. Рогатка за счет дегазации составляет ориентировочно $14,59$ гС/м² год или $53,5$ гCO₂/м² год (без учета гидробиологических процессов разложения и создания органического вещества), что, учитывая площадь водного зеркала для расчета эмиссии, составит порядка $0,4$ тС в год, что в пересчете на CO₂ около $1,6$ тCO₂/год. Эмиссия CO₂ с м^2 поверхности р. Рогатка за счет физико-химических процессов составляет ориентировочно $14,59$ гС/м² год или $53,5$ гCO₂/м² год (без учета гидробиологических процессов разложения и создания органического вещества), что, учитывая площадь водного зеркала для расчета эмиссии, составит порядка $0,4$ тС в год, что в пересчете на CO₂ около $1,6$ тCO₂/год.

Полученные предварительные оценки поглощения и эмиссии углекислого газа, продукции и деструкции органического вещества малого водотока о. Сахалин позволят провести дальнейшие расчеты поглощения и эмиссии CO₂ поверхностными водами острова.

Список литературы

1. Беляева П.Г. Роль фитоперифитона в продукции органического вещества и круговороте азота в речных экосистемах (обзор) // Гидробиологический журнал. 2013. № 3. С. 13–26.
2. Копылов А.И., Косолапов Д.Б., Романенко А.В., Мылникова З.М., Косолапова Н.Г., Минеева Н.М., Крылов А.В. Микробная «петля» как компонент планктонных сообществ малых рек // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, биология, охрана: тезисы докладов Всероссийской конференции (Борок, 16–19 ноября 2004 г.). Борок, 2004. С. 40.
3. Метелева Н.Ю. Структура и продуктивность фитоперифитона водоемов бассейна Верхней Волги: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Борок: ЯГТУ, 2013. 23 с.
4. Butman D., Raymond P. Significant efflux of carbon dioxide from streams and rivers in the United States. *Nature Geosci.* 2011. № 4. P. 839–842. DOI: 10.1038/ngeo1294.
5. Ward N.D., Bianchi T.S., Medeiros P.M., Seidel M., Richey J.E., Keil R.G., Sawakuchi H.O. Where Carbon Goes When Water Flows: Carbon Cycling across the Aquatic Continuum // *Front. Mar. Sci.*, 31 January 2017. *Sec. Marine Biogeochemistry*. DOI: 10.3389/fmars.2017.00007.
6. Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Ермолаева Н.И., Котовщиков А.В. Оценка роли экосистем рек и озер Сибири в цикле углерода // Материалы региональной научно-практической конференции «Географы Алтая для устойчивого развития Алтайского региона» (Барнаул, 17–18 ноября 2022 г.). Вып. 30. 2022. С. 116–122.
7. Liu S. Carbon Dioxide Emission from Streams and Rivers as an Integrative Part of Terrestrial Respiration. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*. 2019. DOI: 10.19080/IJESNR.2019.19.556010.
8. Moran M.A., Kujawinski E.B., Stubbins A., Fatland R., Aluwihare L.I., Buchan A., et al. (2016). Deciphering ocean carbon in a changing world. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2016. № 113. P. 3143–3151. DOI: 10.1073/pnas.1514645113.
9. Hilmi N., Chami R., Sutherland M.D., Hall-Spencer J.M., Lebleu L., Benitez M.B. and Levin L. A. The Role of Blue Carbon in Climate Change Mitigation and Carbon Stock Conservation. *Front. Clim.* 2021. № 3. P. 710546. DOI: 10.3389/fclim.2021.710546.
10. Liu S., Kuhn C., Amatulli G., Aho K., Butman D.E., Allen G.H., Lin P., Pan M., Yamazaki D., Brinkerhoff C., Gleason C., Xia X., Raymond P. A. The importance of hydrology in routing terrestrial carbon to the atmosphere via global streams and rivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2022. № 119 (11). DOI: 10.1073/pnas.2106322119.
11. Gómez-Gener L., Rocher-Ros G., Battin T. et al. Global carbon dioxide efflux from rivers enhanced by high nocturnal emissions. *Nat. Geosci.* 2021. № 14. P. 289–294. DOI: 10.1038/s41561-021-00722-3.
12. СКИОВО: схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейнов рек острова Сахалин. Книга 7. Сводный том СКИОВО бассейнов рек острова Сахалин. Утв. Приказом Амурского БВУ от 30.12.2014 № 05-07/125. 239 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.google.com/viewer?url=https%3A%2F%2Famurbvu.ru%2Findex.php%3Fdo%3Ddownload%26id%3D1056%26viewonline%3D1> (дата обращения: 18.11.2022).
13. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 4. Сахалин и Курилы / Под ред. канд. геогр. наук М. Г. Васильковского. Л.: Гидрометеиздат, 1973.
14. Чудаева В.А. Особенности речного стока о. Сахалин. Ч. 2: Распределение группы металлов в растворенной и твердой фазах речных вод. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. Деп. рук. ВИНТИ № 3376-B88, 34 с.
15. Богатов В.В., Федоровский А.С. Основы речной гидрологии и гидробиологии. Владивосток: Дальнаука, 2017. 384 с.
16. Медведева Л.А., Сиротский С.Е. Продукционные характеристики водорослей перифитона р. Кедровая (Приморье) // Биогеохимические и гидроэкологические исследования на Дальнем Востоке. 1998. Вып. 7. С. 63–76.
17. Богатов В.В. О закономерностях функционирования речных экосистем в свете базовых научных концепций // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2013. № 4. С. 63–76.
18. Неверова-Дзюпак Е., Цветкова Л.И. Оценка трофического состояния поверхностных вод: монография. СПб.: СПбГАСУ, 2020. 176 с.
19. ГОСТ 17.1.2.04-77 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. Охрана природы. Гидросфера: сб. ГОСТов. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000.
20. Медведева Л.А., Никулина Т.В. Каталог пресноводных водорослей юга Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2014. 271 с.
21. Никулина Т.В. Альгофлора бассейна реки Раздольной (Приморский край): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток: БПИ ДВО РАН, 2006. 22 с.
22. Савенко В.С., Самсонов А.Л. Новый механизм поглощения углерода. Отыскание missing sink // Моделирование коэволюции природы и общества: проблемы и опыт. К 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Моисеева: тр. Всероссийской научной конференции (Москва, 07–10 ноября 2017 г.). М.: Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, 2017. С. 370–381.
23. Horgby Å., Segatto P.-L., Bertuzzo E., Lauerwald R., Lehner B., Ulseth A.J., Vennemann T.W., Battin T.J. Unexpected large evasion fluxes of carbon dioxide from turbulent streams draining the world's mountains. *Nature Communications*, 2019. DOI: 10.1038/s41467-019-12905-z.

УДК 624.139:536.2

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ МАССИВА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

¹Рожин И.И., ²Ефимов В.М., ³Степанов А.В., ³Степанов А.А.

¹*Институт проблем нефти и газа ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук», Якутск, e-mail: rozhin@ipng.ysn.ru;*

²*АО «Якутский проектный научно-исследовательский институт строительства»,
Якутск, e-mail: efimov_vm@mail.ru;*

³*Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова
ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»,
Якутск, e-mail: stepanov-a.a@mail.ru*

В работе моделируется температурное поле массива грунтов вблизи заглубленного магистрального газопровода. Целью теплового расчета является изучение влияния его теплоизоляции на грунты и определение времени формирования предельного радиуса растепления грунтов вокруг газопровода. Теплообмен газопровода с окружающим массивом грунтов исследуется с учетом ряда сезонных факторов, оказывающих на него влияние, таких как солнечная радиация и альbedo поверхности, снежный покров, характеристики атмосферного воздуха, а также при циклических изменениях температуры транспортируемого газа. Температуры транспортируемого газа, соответствующие выбранному участку газопровода, приняты на основании тепловых расчетов газопровода. Переменные значения температур обусловлены увеличением подачи газа в магистральный газопровод в разные сроки его эксплуатации. Методом исследования является математическое моделирование. На основании результатов вычислительного эксперимента были определены ореолы протаивания-промерзания и температуры грунтов оснований на выбранном участке магистрального газопровода. Данная информация необходима для прогнозирования устойчивости грунтового основания, а следовательно, и безопасной эксплуатации газопровода. На основании полученных данных могут быть приняты технические решения (тип прокладки магистрального газопровода), обеспечивающие его надежность в процессе эксплуатации. Рассмотрены мероприятия по инженерной защите газопровода.

Ключевые слова: газопровод, тепловой расчет, теплообмен, математическая модель, температурное поле, многолетнемерзлый грунт, теплоизоляция

TEMPERATURE FIELD OF THE PERMAFROST SOILS UNDER THE EFFECT OF A GAS PIPELINE

¹Rozhin I.I., ²Efimov V.M., ³Stepanov A.V., ³Stepanov A.A.

¹*Institute of Oil and Gas Problems, FRC “Yakutsk Science Center of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences”, Yakutsk, e-mail: rozhin@ipng.ysn.ru;*

²*JSC Yakutsk Design Research Institute of Construction, Yakutsk, e-mail: efimov_vm@mail.ru;*

³*V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North,
FRC “Yakutsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”,
Yakutsk, e-mail: stepanov-a.a@mail.ru*

The paper considers the model of a temperature field of a soil mass around a buried gas pipeline. The purpose of thermal calculation is to study the effect of its thermal insulation on soils and determine the time of formation of the limiting radius of soil thawing around the gas pipeline. The heat exchange of the gas pipeline with the surrounding soils is investigated taking into account a number of seasonal factors affecting it, such as solar radiation and surface albedo, snow cover, atmospheric air characteristics, as well as cyclic changes in the temperature of the transported gas. The temperatures of the transported gas, corresponding to the selected section of the gas pipeline, are taken on the basis of thermal calculations of the gas pipeline. Variable temperatures are due to an increase in gas supply to the main gas pipeline at different periods of its operation. The research method is mathematical modeling. Based on the results of the computational experiment, the thawing-freezing halos and the temperatures of the base soils on the selected section of the main gas pipeline were determined. This information is necessary to predict the stability of the soil base, and hence the safe operation of the gas pipeline. Based on the data obtained, technical solutions can be made (the type of laying of the main gas pipeline) that can ensure its reliability during operation. Measures for the engineering protection of the gas pipeline are considered.

Keywords: gas pipeline, thermal calculation, heat transfer, mathematical model, temperature field, permafrost soil, heat insulation

Процесс естественного теплообмена многолетнемерзлых грунтов с окружающей средой нарушается при промышленном освоении участка местности. Вследствие

вмешательства меняются характеристики снежного и растительного покровов, гидрогеологический режим грунтов, изменяется влажность и т.д. Все это влечет за со-

бой изменение температурного режима, что проявляется в виде таких отрицательных для устойчивости оснований промышленных объектов факторов, как изменение величины и динамики образования ореолов промерзания-оттаивания.

Таким образом, при строительстве и эксплуатации объектов на многолетнемерзлых грунтах требуется учитывать инженерно-геокриологические условия участка местности, как до вмешательства, так и в ходе изменения первоначальных условий в результате техногенного воздействия. Для исключения негативных последствий, вызванных такими изменениями, необходимо проведение специальных мероприятий для сохранения мерзлых пород, обеспечивающих устойчивость сооружений [1, 2].

Известно [1], что температура поверхности грунта в зимние и летние месяцы выше температуры окружающего воздуха, а весной и осенью близка к ней. Зимой снежный покров ухудшает теплообмен с окружающей средой, в то время как летом верхняя часть грунта нагревается солнечными лучами, при этом повышение альбедо поверхности вызывает снижение ее температуры.

Рассмотрим участок газопровода, который характеризуется высокой влажностью (льдистостью) рыхлых грунтов, преимущественно супесчаного состава с высоким содержанием щебня или дресвы мощностью до 4 м, высокой сжимаемостью при оттаивании и повышенной пучинностью. Весьма вероятным на этих участках является проявление процессов наледеобразования.

Материалы и методы исследования

Математическая постановка задачи динамики двумерного температурного поля в грунтовом массиве выполнена на основе общей постановки задач типа Стефана. Процесс теплообмена массива грунтов с газопроводом и наружным окружающим воздухом описывается дифференциальным уравнением теплопроводности, описывающим распространение тепла в водонасыщенном грунте с учетом фазового перехода «вода – лед». При этом задача теплопроводности с фазовым переходом формулируется как обычная краевая задача для квазилинейного параболического уравнения с разрывными коэффициентами [3]. В разработанной математической модели двумерного разреза массива грунтов учитываются: изменения температур атмосферного воздуха и транспортируемого газа со временем, воздействия суммарной солнечной

радиации и альбедо дневной поверхности, изменения толщины и теплофизических свойств снежного покрова и изменение коэффициента теплоотдачи от атмосферного воздуха в зависимости от скорости ветра. Поставленная задача решается методом конечных разностей с использованием продольно-поперечной схемы (суммарной аппроксимации) [4]. При этом исходное двумерное уравнение расщепляется на уравнения с весами, которые решаются методом сквозного счета со сглаженными функциями коэффициентов теплопроводности и объемной теплоемкости. Таким образом, эффективный расчет двумерной задачи строится на основе метода расщепления по пространственным координатам с использованием схемы переменных направлений [5] и с привлечением для обеспечения устойчивости получающихся одномерных задач, неявных методов на основе прогоночных алгоритмов.

Результаты исследования и их обсуждение

При расчете ореолов оттаивания для участка использовались исходные данные, приведенные в табл. 1–5. Начальное температурное поле и фазовое состояние грунтового массива принимается на основании анализа инженерно-геологических изысканий (данные термокаротажа), а также на основании результатов адаптации условий теплообмена на поверхности земли в ненарушенных условиях. Усредненные значения теплофизических свойств грунтов геологического разреза приведены в табл. 1. Данные термометрии согласно по паспорту термоскважины (табл. 2) взяты в качестве начального распределения температур массива грунтов (в середине декабря). Использованные в расчетах условия теплообмена с окружающей средой приведены в табл. 3, в которой среднемесячные значения температуры воздуха, скорости ветра, суммарной солнечной радиации и альбедо поверхности взяты по метеостанции г. Олекминск (Республика Саха (Якутия)) и адаптированы к инженерно-геокриологическим условиям для данной скважины. Значения этих величин между месяцами аппроксимируются линейной зависимостью. Температуры транспортируемого газа, соответствующие данному участку газопровода, приняты на основании тепловых расчетов газопровода и приведены в табл. 4. В табл. 5 приведены ежедекадные средние данные толщины и плотности снежного покрова.

Таблица 1

Теплофизические характеристики грунтов инженерно-геологического разреза

Интервал, м	Грунты	Плотность сухого грунта, кг/м ³	Суммарная влажность, д.е.	Коэффициент теплопроводности грунта, Вт/(м·°С)		Объемная теплоемкость грунта, МДж/(м ³ ·°С)		Температура начала замерзания, °С
				талого	мерзлого	талого	мерзлого	
0–0,1	Почвенно-растительный слой	–	–	–	–	–	–	–
0,1–5,7	Супесь твердомерзлая	1386	0,234	1,668	2,416	2,501	1,853	-0,15
5,7–7,3	Супесь гравелистая	1705	0,135	1,945	2,505	2,415	1,968	-0,15
7,3–...	Доломит низкой прочности	1630	0,150	1,56	1,95	2,405	1,926	-0,2

Таблица 2

Натурные данные температур по глубине массива грунтов в середине декабря

z, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T, °С	-3,14	-0,06	-0,25	-0,40	-0,48	-0,61	-0,71	-0,72	-0,70	-0,90

Таблица 3

Климатические параметры по метеостанции Олекминск

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура воздуха, °С	-31,6	-27,2	-15,6	-3,4	7,0	14,9	18,2	14,5	6,0	-5,3	-21,1	-29,6
Скорость ветра, м/с	2,0	2,2	2,6	3,1	3,1	2,4	2,2	2,2	2,4	2,6	2,3	2,0
Суммарная солнечная радиация, Вт/м ²	23,47	62,35	136,10	203,68	226,83	242,48	215,88	153,31	108,31	67,27	29,10	14,08
Альbedo поверхности	0,78	0,78	0,78	0,76	0,40	0,16	0,18	0,20	0,28	0,70	0,78	0,76

Таблица 4

Температуры транспортируемого газа

Год эксплуатации	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	-0,62	-1,44	-2,07	-2,10	-1,37	-0,84	1,15	4,06	4,61	2,78	0,87	-0,01
2	-0,34	-1,06	-1,77	-2,20	-1,62	-0,97	1,30	4,19	4,53	2,64	0,80	0,13
3	10,8	10,7	10,8	10,6	10,3	10,4	20,5	14,9	12,5	12,1	11,8	11,5
4	10,9	10,8	10,7	11,1	11,5	11,9	23,8	16,7	12,8	12,2	11,9	12,1
5	11,3	11,2	11,0	11,2	11,6	14,2	25,6	17,8	12,7	12,4	12,0	12,2
6–30	10,6	10,5	10,4	10,8	11,2	12,9	25,0	16,7	12,5	11,4	10,8	10,7

Таблица 5

Высота $\delta_{сн}$ (см) и средняя плотность снежного покрова $\rho_{сн}$ (г/см³) по декадам

Параметры	Октябрь			Ноябрь			Декабрь			Январь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$\delta_{сн}$, см	–	2	4	8	12	15	18	21	23	25	27	30
$\rho_{сн}$, г/см ³	–	0,10	0,11	0,12	0,12	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16
Параметры	Февраль			Март			Апрель			Май		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$\delta_{сн}$, см	31	32	33	33	34	33	31	25	12	1	–	–
$\rho_{сн}$, г/см ³	0,16	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19	0,22	0,20	0,12	0,10	–	–

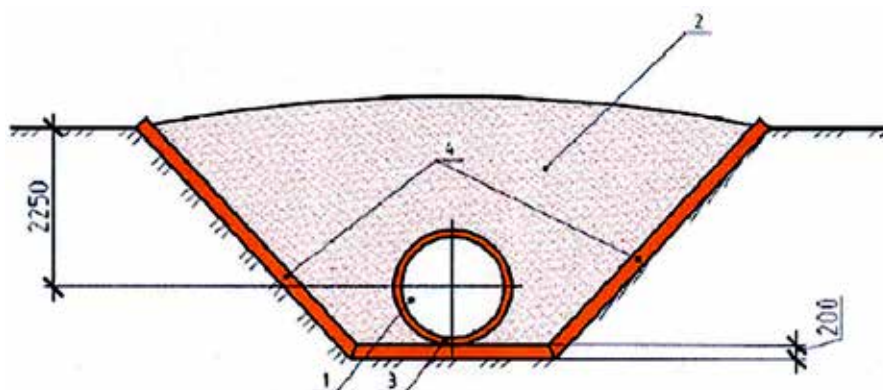


Рис. 1. Схема прокладки газопровода: 1 – труба диаметром Ø1420 мм; 2 – грунт обратной засыпки; 3 – кольцевая теплоизоляция толщиной 100–200 мм; 4 – теплоизоляция траншеи толщиной 100–200 мм

Коэффициенты теплообмена для транспортируемого газа приняты равными: для газопровода без теплоизоляции – 300 Вт/(м²·°С); для газопровода с теплоизоляцией толщиной 100 мм – 0,29 Вт/(м²·°С); для газопровода с теплоизоляцией толщиной 200 мм – 0,145 Вт/(м²·°С).

При отсутствии снежного покрова увеличивается эффективное излучение с поверхности земли и интенсивность теплообмена с наружным холодным воздухом возрастает, так как снежный покров в октябре – феврале препятствует проникновению холода в массив, а в марте – апреле – отводу холода из грунта.

В расчетах температурного поля и чаши оттаивания были рассмотрены следующие варианты:

- 1) без применения теплоизоляции;
- 2) кольцевая теплоизоляция на газопроводе (Ду1400) толщиной 100 мм;
- 3) кольцевая теплоизоляция на газопроводе (Ду1400) толщиной 200 мм;
- 4) кольцевая теплоизоляция на газопроводе (Ду1400) толщиной 200 мм и теплоизо-

ляция траншеи толщиной 200 мм по боковым граням и по нижней грани (рис. 1).

Значения величины оттаивания под газопроводом в его основании сведены в табл. 6.

Приведенные далее рис. 2–5 иллюстрируют температурные поля массива грунтов вокруг газопровода, полученные по результатам расчетов для каждого из четырех вариантов. На рисунках каждой изотерме сопоставлено число, показывающее значение температуры. Координата y соответствует расстоянию по горизонтали, а координата z – по глубине массива грунтов. Температурные поля, представленные на рисунках, соответствуют одному моменту времени – середине октября. На всех рисунках полукругом показано месторасположение газопровода на глубине массива грунтов – от 1 до 2,4 м. Фронт фазового перехода с температурой -0,15 °С при малых временах эксплуатации газопровода (до 10 лет) практически совпадает с нулевой изотермой.

Участок заболоченный, сильнольдистый. При этом коренная порода – гнейс (3,5–15 м) считается несжимаемой (табл. 7).

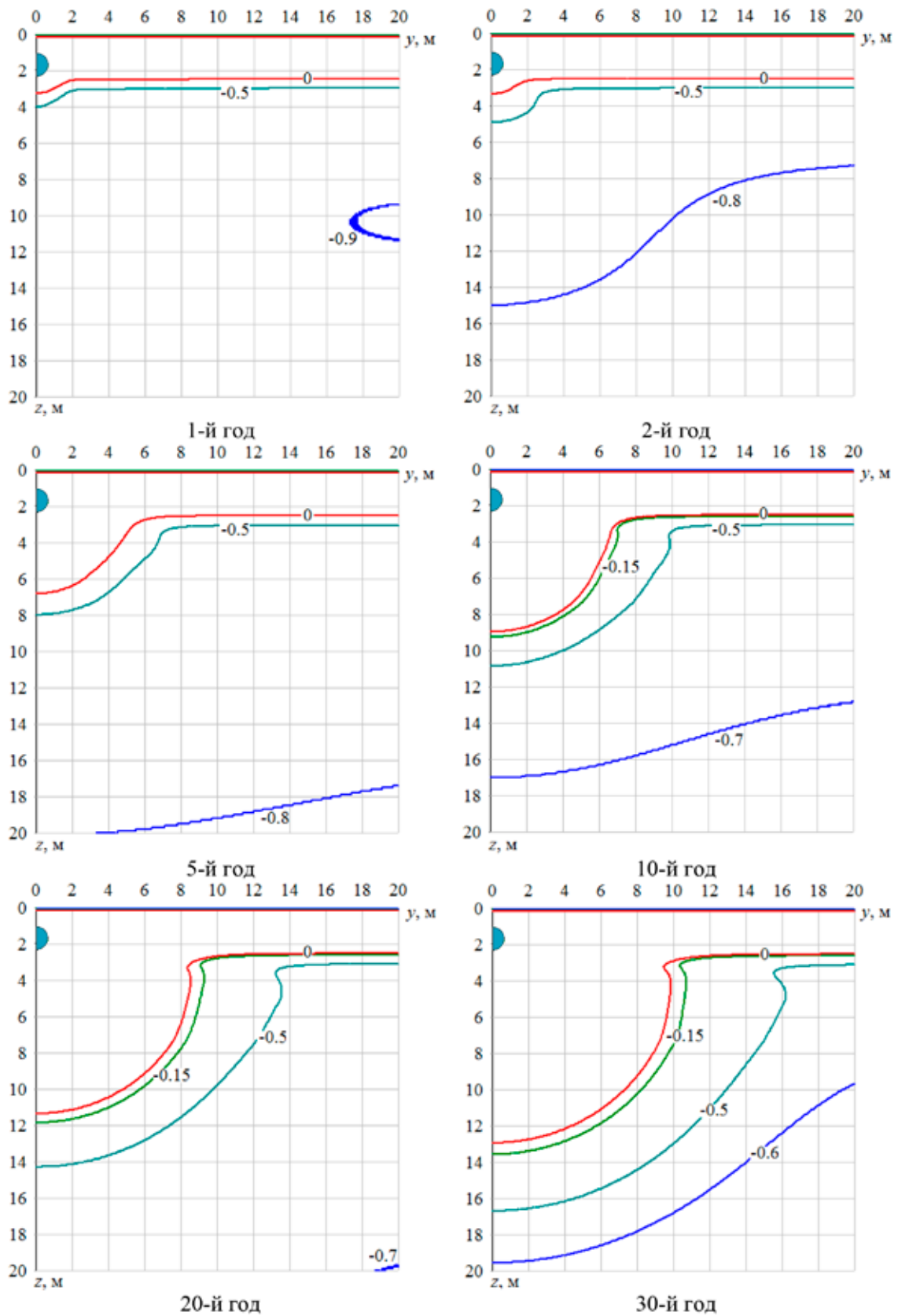


Рис. 2. Конфигурации изотерм в различные моменты времени эксплуатации газопровода для варианта 1

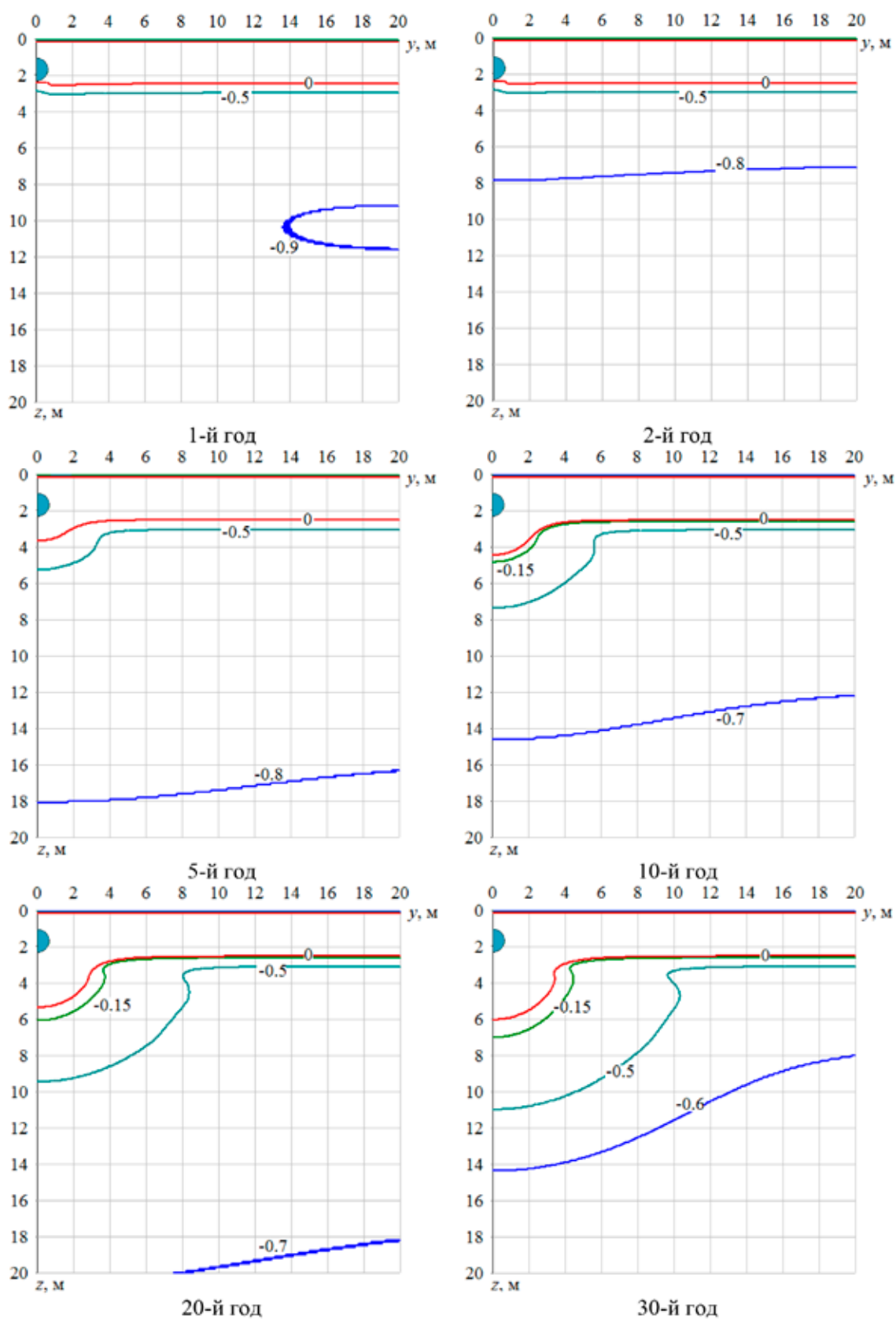


Рис. 3. Конфигурации изотерм в различные моменты времени эксплуатации газопровода для варианта 2

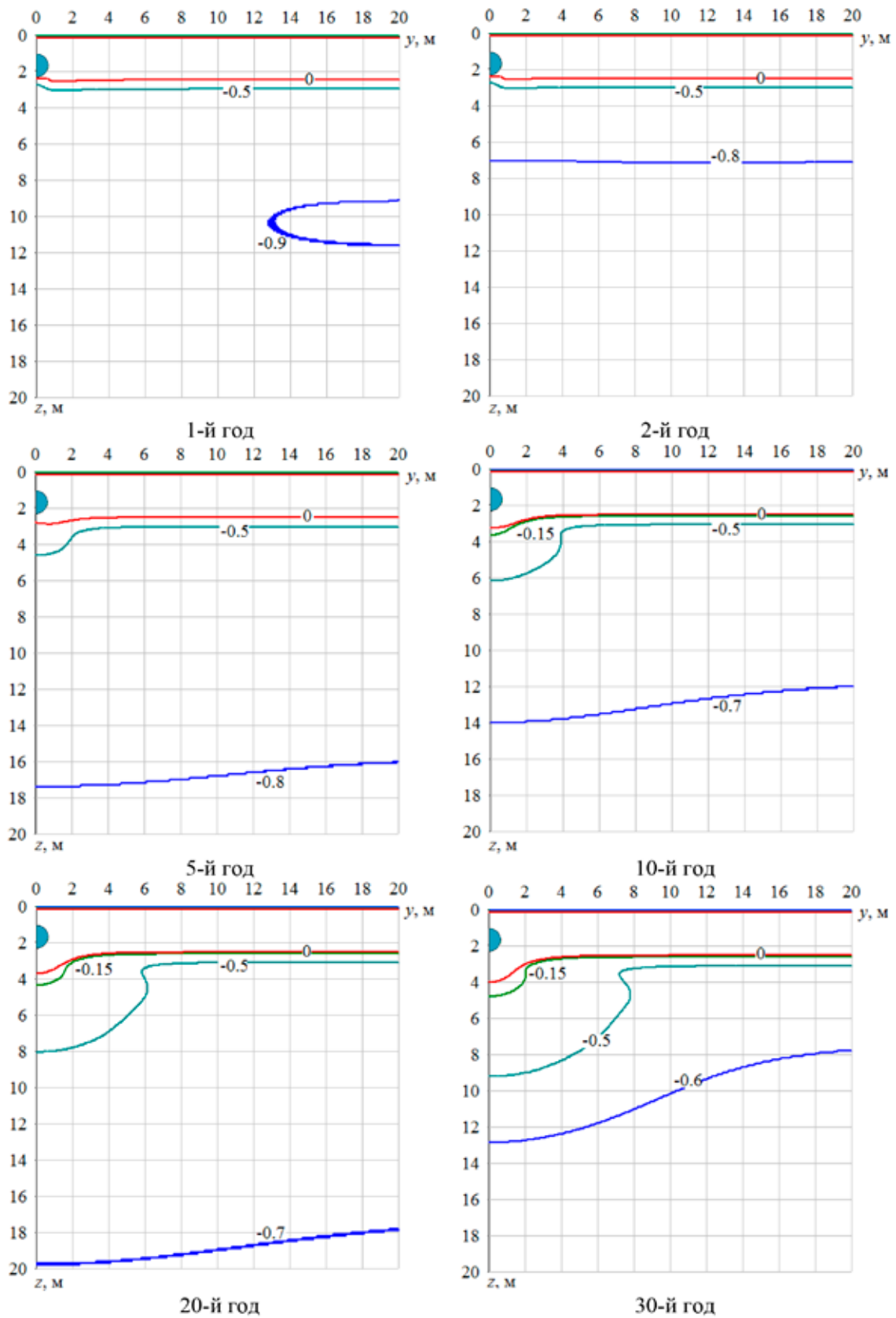


Рис. 4. Конфигурации изотерм в различные моменты времени эксплуатации газопровода для варианта 3

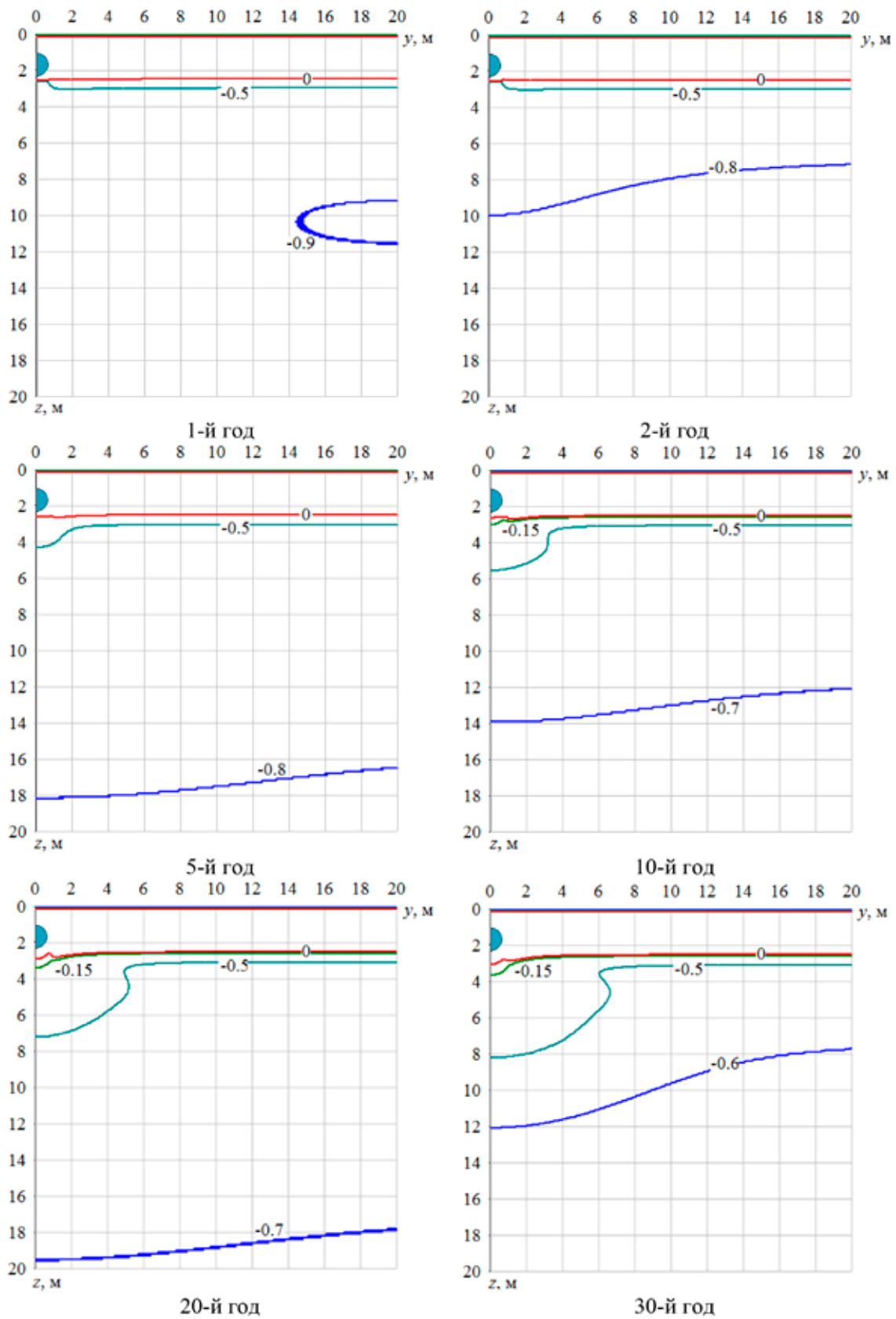


Рис. 5. Конфигурации изотерм в различные моменты времени эксплуатации газопровода для варианта 4

Таблица 6

Величина оттаивания грунтов основания под нижней образующей трубы
в середине октября, м

Год эксплуатации	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5	Вариант 6
1	0,91	–	–	–	–	–
2	1,04	–	–	–	–	–
3	2,68	0,57	0,07	–	–	–
5	4,57	1,45	0,63	0,08	0,36	–
10	7,00	2,43	1,25	0,42	0,81	0,28
20	9,64	3,59	1,94	0,79	1,35	0,70
30	11,41	4,60	2,40	1,05	1,73	0,97

Таблица 7

Физико-механические характеристики горных пород участка моделирования

Глубина, м	Грунты по изысканиям	Плотность грунта, кг/м ³	Плотность частиц, кг/м ³	Суммарная влажность, д.е.	Коэффициент оттаивания	Коэффициент сжимаемости Мпа ⁻¹
0,0–0,5	Почвенно-растительный слой Торф	150	1250	5,8	0,694	–
0,5–2,7	Супесь	1410	2630	0,28	0,075	0,0
2,7–3,5	Супесь	1220	2660	0,35	0,07	0.0397
3,5–10	Гнейс	1830	2730	0,09	–	–

Моделируемый участок расположен в зоне островного развития многолетнемерзлых пород и сложен вечномерзлыми грунтами.

В теплое время года возможно формирование подземных вод вида «верховодка», т.е. вод, которые находятся на незначительной глубине над водоупорными слоями. При этом водоупором для них в этом случае будут выступать многолетнемерзлые грунты. Атмосферные осадки и сезонное оттаивание грунтов будут вносить основной вклад в подпитку подземных вод [6].

Заключение

Основываясь на результатах проведенных расчетов, можно привести следующие рекомендации по обустройству заглубленного газопровода:

– как наиболее неблагоприятный вариант для расчета основания фундаментов следует рассмотреть наибольшую глубину оттаивания под газопроводом;

– при глубине заложения газопровода в 1 м из-за циклического изменения внешнего воздействия на дневной поверхности скорость движения фазового фронта меньше, и тем самым время формирования предельного радиуса растепления грунтов вокруг газопровода будет больше.

Для обеспечения устойчивости газопровода предлагаются следующие мероприятия по его инженерной защите:

– теплоизоляция трубопровода, днища и стенок траншеи толщиной слоя эффективного утеплителя в 200 мм, обеспечивающего резкое снижение глубины оттаивания грунтов в основании газопровода;

– проходка траншеи под трубопровод осуществляется до водоупора, т.е. до кровли скальных грунтов, траншея заполняется непучинистым грунтом (песчано-гравийная смесь или крупнозернистый песок) на всю ее глубину; для снятия криогенного напора в случае прорыва грунтовых вод

с окружающего траншею водонасыщенного массива закладываются на всю глубину траншеи трубчатые фильтры в виде перфорированных труб диаметром до 219 мм (шаг установки фильтров порядка 6 м).

Список литературы

1. Кондратьев В.Г., Перекупка А.Г., Примаков С.С., Петрова А.С. Мероприятия по изменению режима теплообмена на поверхности земли и их влияние на распределение температуры в грунте // Нефтяное хозяйство. 2012. № 10. С. 122–125.
2. Фельдман Г.М. Методы расчета температурного режима мерзлых грунтов. М.: Наука, 1973. 254 с.
3. Степанов А.В., Попенко Ф.Е., Рожин И.И. Основы инженерной защиты объектов строительства в криолитозоне. Новосибирск: Наука, 2014. 448 с.
4. Крайнов А.Ю., Миньков Л.Л. Численные методы решения задач тепло- и массопереноса. Томск: STT, 2016. 92 с.
5. Ковеня В.М. Алгоритмы расщепления при решении многомерных задач аэрогидродинамики. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. 280 с.
6. Тукмакова О.В., Жданова С.М., Нератова О.А. Отвод поверхностных и грунтовых вод на многолетнемерзлых грунтах // Путь и путевое хозяйство. 2019. № 4. С. 13–16.

СТАТЬЯ

УДК 528.02

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ КООРДИНАТ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПУНКТОВ, ОПРЕДЕЛЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДИКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ КООРДИНАТНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

^{1,2}Макаров С.О., ²Тихонов А.Д.

¹*Российский университет транспорта, Москва, e-mail: makstas96@ya.ru;*

²*Государственный университет по землеустройству, Москва*

В статье рассматривается возможность применения Precise Point Positioning (PPP) – алгоритма для определения приращений координат в диапазоне расстояний 26-70 км, путем сравнения разностей приращений координат между эталонными приращениями и уравниваемыми данными, полученных при уравнивании данных в статике и по PPP-методам. Кроме этого, нами поставлен ряд задач: провести исследование точности координат, полученных по PPP-алгоритму и в сравнении со статикой; сравнить данные при уравнивании. Для обработки по PPP-алгоритму реализованы программное обеспечение и интернет-сервисы. В среднем разности приращений координат на базовых пунктах, входящих в состав сети EFT COORS, при 1-3 часах измерений не превышает 6 мм по всем осям. Основные выводы по статье заключаются в том, что PPP-алгоритм можно использовать для передачи координат в различных диапазонах расстояний; для получения фиксированного решения необходимо измерять не менее 2 часов. Научная новизна работы заключается в том, что было рассмотрено применение PPP-алгоритма в узком диапазоне расстояний; а также выполнено сравнение уравниваемых приращений координат, полученных в результате обработки по PPP-алгоритму и статике.

Ключевые слова: геодезические спутниковые сети, уравнивание статических данных, точность определения координат, методы высокоточных координатных определений (PPP)

ANALYSIS OF THE ACCURACY OF THE COORDINATES OF GEODETIC POINTS DETERMINED USING THE METHOD OF HIGH-PRECISION COORDINATE DEFINITIONS OF SATELLITE DATA PROCESSING

^{1,2}Makarov S.O., ²Tikhonov A.D.

¹*Russian University of Transport, Moscow, e-mail: makstas96@ya.ru;*

²*State University for Land Management, Moscow*

The article discusses the possibility of using Precise Point Positioning (PPP), an algorithm for determining coordinate increments in the distance range of 26-70 km, by comparing the differences in coordinate increments between reference increments and equalized data obtained in statics and by PPP methods. In addition, we have set a number of tasks: to conduct a study of the accuracy of the coordinates obtained by the PPP algorithm and in comparison with statics; to compare the data when equalizing. Software and Internet services are implemented for processing according to the PPP algorithm. On average, the difference in coordinate increments at the base points that are part of the EFT COORS network at 1-3 hours of measurements does not exceed 6 mm along all axes. The main conclusions of the article are that the PPP algorithm can be used to transmit coordinates in various ranges of distances; to obtain a fixed solution, it is necessary to measure at least 2 hours; The scientific novelty of the work is that the application of the PPP algorithm in a narrow range of distances was considered; and a comparison of the equalized increments was performed coordinates obtained as a result of processing by the PPP algorithm and statics.

Keywords: geodetic satellite networks, equalization of static data, accuracy of coordinate determination, Precise Point Positioning (PPP)

На сегодняшний день существуют различные методы спутникового позиционирования. Одним из перспективных является метод высокоточных координатных определений, или по-другому Precise Point Positioning (далее – PPP). Одной из проблем, ограничивающих его использование, является отсутствие рекомендаций по выполнению обработки по PPP-алгоритму с точки зрения продолжительности и количества принимаемых спутников [1]. В международном научном сообществе отсутствует регламентирующая документация по использованию данного метода. Помимо это-

го, в российском научном сообществе отсутствует точно выраженное определение PPP. Эти проблемы были подробно рассмотрены в работе [2].

На сегодняшний день обработка возможна по трем подходам: с использованием научного ПО, коммерческого ПО и интернет-сервисов [3; 4]. К первой группе относятся такие программные обеспечения, как Bernese, Grafnet. Ко второй группе можно отнести: Trimble Business Centre (далее – TBC), «КРЕДО ГНСС». Третья группа представлена интернет-сервисами: Trimble-RTX, CRSR, APPS, magicgnss, Auspos [5; 6].

В отличие от классических относительных методов, PPP-алгоритм не требует наличия базовых станций и реализуется благодаря использованию высокоточных данных, таких как высокоточные эфемериды, поправки к времени бортовых часов навигационных спутников, атмосферных поправок в пределах локальной области, влиянию приливных поправок смещения станции, вызванных солнечным и лунным притяжением; исключение затмений [7-8].

Цели исследования:

1. Выявить зависимость продолжительности измерений на точность получения координат в случае обработки по PPP-алгоритму.
2. Оценить влияние факторов, влияющих на точность определения координат при PPP-алгоритме (косвенно оценить количество спутников; продолжительность измерений; расстояние между пунктами).
3. Исследовать точность получения координат при уравнивании данных по PPP-алгоритму и статике.

Материалы и методы исследования

Для решения основных задач исследования была сформирована спутниковая сеть, состоящая из 5 пунктов. RINEX-файлы, как и эталонные координаты пунктов (LOBN, ODIN, ZHDR, HGNK), были получены из сети базовых станций EFT COORS [9; 10]. Данные по 5 пункту были получены самостоятельно. В качестве исходного (опорного) пункта был выбран пункт МИИТ. На рисунке 1 представлена данная сеть.

В дальнейшем происходила камеральная обработка сети с использованием

PPP-алгоритма. Для обработки по PPP-алгоритму были применены интернет-сервисы Trimble RTX и CRSR. Для контроля данных, получаемых в ходе обработки с использованием интернет-сервисов, была также выполнена и обработка в статике с использованием программного обеспечения «КРЕДО ГНСС» версии 2.0.

В дальнейшем в статике была выполнена обработка базовых векторов с использованием высокоточных эфемерид, т.е. были получены «обработанные» приращения координат между пунктами. В случае обработки по PPP-алгоритму приращения координат были вычислены вручную с использованием ПО Microsoft Excel.

После получения приращений координат с использованием PPP-алгоритма и статике было выполнено уравнивание данной сети. Уравнение поправок в этом случае будет выглядеть стандартным образом по формуле [11]:

$$AD + L = V,$$

где D – вектор оценок искомых неизвестных (поправки к координатам);

A – матрица коэффициентов параметрического уравнивания;

L – вектор невязок, между приращениями координат.

Результаты обработки в статике приведены в таблице 1.

Результаты исследования и их обсуждение

В таблицах 1-3 приводятся разности приращений координат после уравнивания.

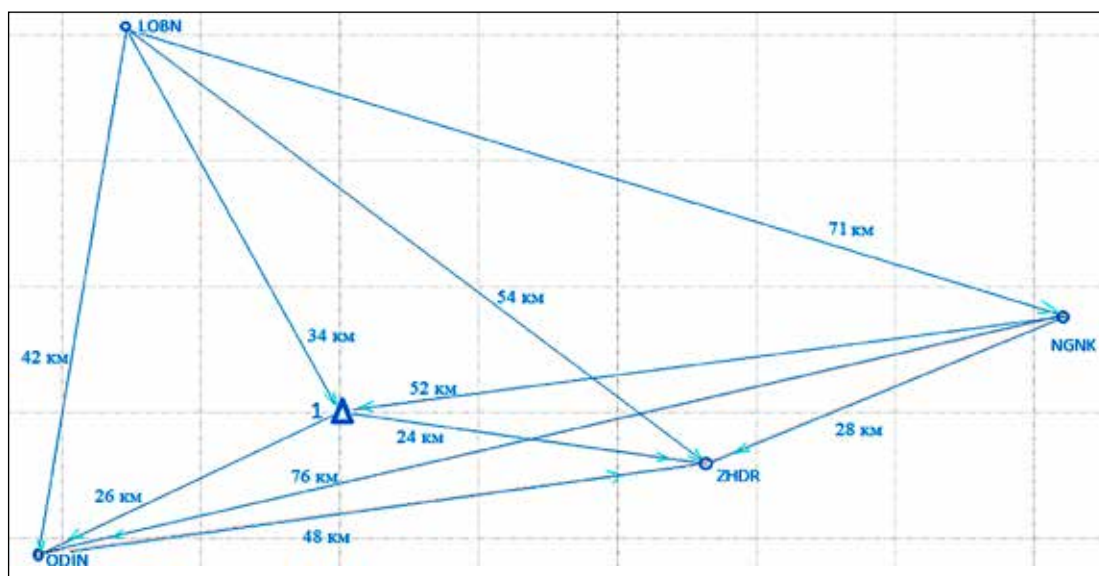


Рис. 1. Схема спутниковой сети

Таблица 1

Разности приращений координат после уравнивания при 1 часе

Линия	Уравнивание в статике			Уравнивание PPP-RTX			Уравнивание PPP-CRSR		
	$\delta X_{,м}$	$\delta Y_{,м}$	$\delta Z_{,м}$	$\delta X_{,м}$	$\delta Y_{,м}$	$\delta Z_{,м}$	$\delta X_{,м}$	$\delta Y_{,м}$	$\delta Z_{,м}$
LOBN-NGNK	-0,050	-0,007	-0,012	0,014	0,001	-0,005	0,007	-0,006	-0,018
LOBN-ODIN	-0,085	-0,010	-0,020	0,018	0,007	0,015	0,018	0,008	0,014
LOBN-ZHDR	-0,012	0,024	0,016	-0,010	-0,001	-0,002	-0,003	0,004	0,001
LOBN-1	0,061	0,008	0,107	0,061	-0,015	0,170	-0,062	-0,047	-0,002
NGNK-ODIN	0,056	0,077	0,028	0,004	0,006	0,020	0,011	0,014	0,032
NGNK-ZHDR	0,065	-0,023	0,020	-0,024	-0,002	0,002	-0,010	0,011	0,018
NGNK-1	0,080	0,061	0,109	0,047	-0,016	0,175	-0,069	-0,041	0,016
ODIN-ZHDR	0,074	0,034	0,036	-0,028	-0,008	-0,017	-0,021	-0,003	-0,013
1-ODIN	-0,124	-0,064	-0,017	-0,043	0,022	-0,155	0,080	0,055	0,016
1-ZHDR	-0,050	-0,030	-0,081	-0,071	0,014	-0,172	0,059	0,052	0,003

Таблица 2

Разности приращений координат после уравнивания при 2 часах

Линия	Уравнивание в статике			Уравнивание PPP-RTX			Уравнивание PPP-CRSR		
	$\delta X_{,м}$	$\delta Y_{,м}$	$\delta Z_{,м}$	$\delta X_{,м}$	$\delta Y_{,м}$	$\delta Z_{,м}$	$\delta X_{,м}$	$\delta Y_{,м}$	$\delta Z_{,м}$
LOBN-NGNK	0,022	-0,046	0,032	0,023	0,008	0,001	0,022	0,009	0,000
LOBN-ODIN	-0,063	-0,040	-0,039	0,022	0,013	0,022	0,023	0,013	0,022
LOBN-ZHDR	0,040	-0,020	0,036	0,001	0,008	0,011	-0,006	0,005	0,001
LOBN-1	0,070	0,029	0,109	0,027	-0,035	0,114	-0,101	-0,090	-0,118
NGNK-ODIN	-0,036	0,049	-0,030	-0,001	0,005	0,021	0,001	0,004	0,022
NGNK-ZHDR	0,001	0,016	-0,003	-0,022	0,001	0,009	-0,028	-0,003	0,000
NGNK-1	0,051	0,082	0,070	0,004	-0,043	0,113	-0,123	-0,099	-0,118
ODIN-ZHDR	0,103	0,021	0,075	-0,021	-0,004	-0,011	-0,029	-0,007	-0,021
1-ODIN	-0,136	-0,077	-0,141	-0,005	0,048	-0,092	0,124	0,103	0,140
1-ZHDR	-0,032	-0,056	-0,066	-0,026	0,044	-0,103	0,095	0,096	0,119

Таблица 3

Разности приращений координат после уравнивания при 3 часах

Линия	Уравнивание в статике			Уравнивание PPP-RTX			Уравнивание PPP-CRSR		
	$\delta X_{,м}$	$\delta Y_{,м}$	$\delta Z_{,м}$	$\delta X_{,м}$	$\delta Y_{,м}$	$\delta Z_{,м}$	$\delta X_{,м}$	$\delta Y_{,м}$	$\delta Z_{,м}$
LOBN-NGNK	0,021	-0,041	0,032	0,016	0,005	-0,003	0,018	0,006	0,002
LOBN-ODIN	-0,048	-0,032	-0,010	0,019	0,009	0,020	0,019	0,010	0,020
LOBN-ZHDR	0,022	-0,021	0,029	-0,007	0,002	0,002	-0,005	0,004	0,006
LOBN-1	0,073	0,035	0,109	0,014	-0,067	0,103	-0,103	-0,092	-0,139
NGNK-ODIN	-0,039	0,042	-0,017	0,003	0,004	0,023	0,001	0,004	0,019
NGNK-ZHDR	0,002	0,004	-0,004	-0,023	-0,002	0,004	-0,023	-0,001	0,004
NGNK-1	0,050	0,085	0,072	-0,002	-0,072	0,106	-0,121	-0,098	-0,140
ODIN-ZHDR	0,069	0,011	0,038	-0,026	-0,006	-0,018	-0,024	-0,005	-0,014
1-ODIN	-0,118	-0,076	-0,114	0,005	0,076	-0,083	0,122	0,102	0,159
1-ZHDR	-0,049	-0,065	-0,076	-0,021	0,070	-0,101	0,098	0,097	0,145

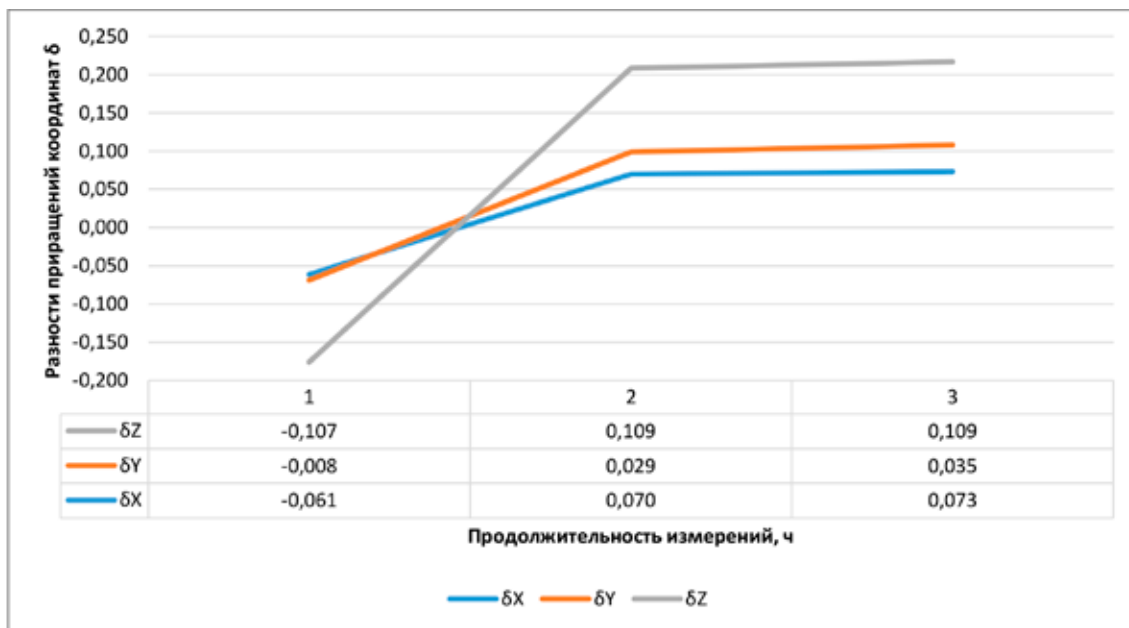


Рис. 2. Влияние продолжительности измерений на получаемые результаты при уравнивании статических данных

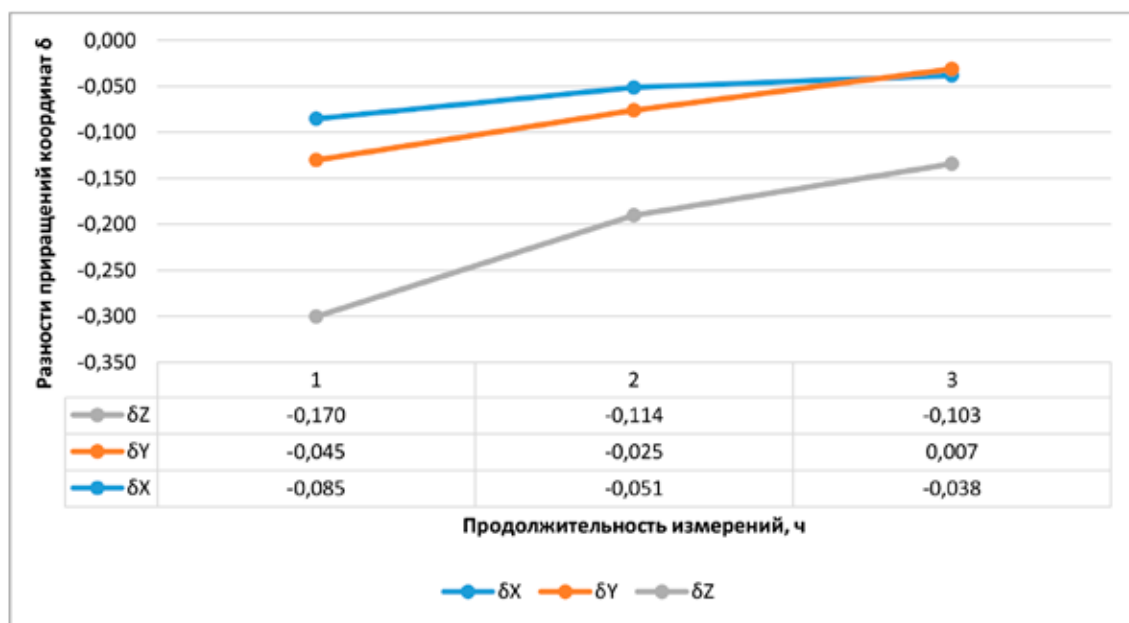


Рис. 3. Влияние продолжительности измерений на получаемые результаты при уравнивании RTX-данных

При сравнении таблиц 1-3 можно заметить, что разности приращений координат в сравнении RTX и CRSR отличаются на небольшие величины (1-2 мм в случае, если оба пункта относились к EFT).

На рисунке 2 приведен график, иллюстрирующий влияние продолжительности измере-

ний на получаемые результаты. На рисунках 3, 4 приводятся данные по PPP-алгоритму.

Однако при анализе таблиц 1-3 можно заметить, что разности приращений координат на линиях LOBN-1, NGNK-1, 1-ODIN, 1-ZHDR отличаются на max 12 см по модулю, из-за влияния PDOP-фактора.

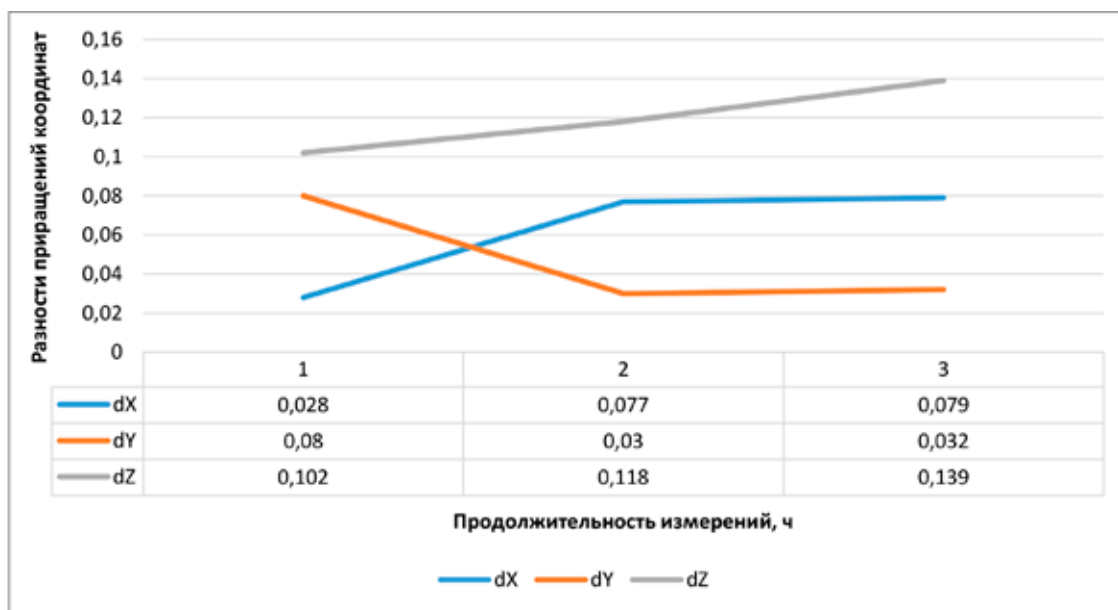


Рис. 4. Влияние продолжительности измерений на получаемые результаты при уравнивании CRSR-данных

DOP (dilution of precision) – термин, характеризующий пространственное положение спутников относительно антенны приемника. В настоящее время существует большое количество DOP-факторов, однако наиболее подходящий PDOP-фактор

PDOP (position DOP) – снижение точности по местоположению. При этом точность PDOP-фактора зависит от таких составляющих, как HDOP (точность в горизонтальной плоскости); VDOP (точность в вертикальной плоскости); средняя величина PDOP-фактора варьировалась от 1.2 и до 1.6 на станциях LOBN, NGNK, ODIN, ZHDR.

В случае станции 1 (МПТ) PDOP-фактор при одном часе составил 1.6*(20 спутников 6Rи 14G); при двух – 1.9** (23 спутника (7R и 13G)); при трех – 1.5*** (23 спутника (11R и 17G)). Ниже приведены некоторые комментарии по изменению PDOP-фактора:

*с 11:01:18 до 11:02:25 колебался с 3.0 до 7.0, после чего упал до 1.8;

**с 11:19:42 до 11:19:39 1.7, с 11:19:39 по 11:20:48 5.45, до 11:30 5.64, после чего с 11:20:51 не превышал 1.9;

*** до 11:19:36 PDOP не превышал 1.3, после чего до 11:20:29 варьировался от 1.3 до 4.9, затем подъем до 11:20:38, когда значение PDOP составило 21.8, после чего спуск до 11:20:49 до значения PDOP 1.5.

Считается, в том случае, когда PDOP «2-3» – точность «отличная», когда «4-6» – точность хорошая.

Из данных абзацев сделан вывод о том, что при одинаковом количестве используемых спутников для обработки по PPP-алгоритму величина PDOP-фактора играет ключевую роль, поскольку происходит отягощение результатов наблюдений.

В работах [12; 13] рассматривается возможность применения PPP-алгоритма для решения таких задач, как решение геодинимических задач, с целью возможного контроля за сейсмически активными регионами с целью прогнозирования возможных землетрясений. В работе [14] рассматривается возможность применения PPP-алгоритма спутниковых данных для решения геодезических задач, в части построения геодезических сетей.

Выводы

В ходе анализа выполненных работ получены следующие основные выводы.

1. В диапазоне расстояний (24-76 км) точность взаимного определения координат геодезических пунктов примерно сопоставима между собой.

2. Точность определения координат практически неизменна свыше 2 часов (таблицы 1-3).

3. Колебания PDOP-фактора оказывают большое влияние (практически в 5 раз) на получаемые результаты как в статике, так и по PPP-алгоритму.

4. Точность уравнивания по PPP-алгоритму несколько выше, чем при уравнивании данных, полученных в статике.

Список литературы

1. Abou-Galala M., Rabah M., Kaloop M., Zidana Z.M. Assessment of the accuracy and convergence period of Precise Point Positioning. Alexandria Engineering Journal. 2017. DOI: 10.1016/j.aej.2017.04.019.
2. Alkan R.M., Ocalan T. Usability of the GPS Precise Point Positioning Technique in Marine Applications. The Journal of Navigation. 2013. V. 66. P. 579-588.
3. Ebner R., Featherstone W.E. How well can online GPS PPP post-processing services be used to establish geodetic survey control networks? Journal of Applied Geodesy. 2008. V. 2(3). P. 149–157. DOI 10.1515/JAG.2008.017.
4. Антонович К.М., Липатников Л.А. Совершенствование методики точного дифференциального позиционирования по результатам ГНСС-измерений (Precise Points Positioning) // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. № S4. С. 44-47.
5. Виноградов А.В., Войтенко А.В., Жигулин А.Ю. Оценка точности метода PRECISE POINT POSITIONING и возможности его применения при кадастровых работах // Геопрофи. 2010. № 2. С. 27–30.
6. Войтенко А.А. О реализации и оценке точности методики «Precise Point Positioning» (PPP) // Геодезия и картография. 2017. № 9. С. 42-49. DOI: 10.22389/0016-7126-2017-927-9-42-49.
7. Войтенко А.В., Быков В.Л. Методика точного дифференциального позиционирования: краткий обзор // Геодезия и картография. 2016. № 8. С. 26–30. DOI: 10.22389/0016-7126-2016-914-8-26-30.
8. Макаров С.О. Исследование точности определения координат PPP-алгоритмом и другими современными способами обработки данных: магистерская диссертация / Российский Университет Транспорта РУТ(МИИТ). М., 2021. 102 с.
9. Макаров С.О., Тихонов А.Д. Сравнение точности геодезических сетей, координаты которых определены с использованием метода высокоточных координатных определений и классической постобработкой // Успехи современного естествознания. 2022. № 6. С. 103-108.
10. EFT COORS – сети базовых станций. [Электронный ресурс]. URL: <https://eft-cors.ru/about-us> (дата обращения: 20.12.2022).
11. Коробочкин М.И., Тихонов А.Д. Уравнивание геодезических сетей с помощью аппаратуры СРНС, методами математического программирования // Землеустройство. кадастр и мониторинг земель. 2016. № 5. С. 78-86.
12. Мельников А.Ю. Разработка методики анализа деформационного процесса в сейсмоактивных регионах по данным спутниковых высокоточных координатных определений: дис ... канд. тех. наук. Москва, 2019. 152 с.
13. Морозов В.Н., Кафтан В.И., Татаринцев В.Н., Колесников И.Ю., Маневич А.И., Мельников А.Ю. Численное моделирование напряженно-деформационного состояния и результаты GPS-мониторинга эпицентральной зоны землетрясения 24 августа 2014 (г. Напа, шт. Калифорния, США) // Геотектоника. 2018. № 4. С. 90-102. DOI: 10.1134/S0016853X18040069.
14. Тихонов А.Д., Макаров С.О. Анализ точности координат геодезических пунктов, определённых с помощью PPP сервисов // Качество. Инновации. Образование. 2021. №3. С. 71-83.