

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,780

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,337

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 – 0,780.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,337.

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 – 14.10.2022

Дата выхода номера – 15.10.2022

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. 13,5

Тираж – 1000 экз.

Заказ. УСЕ/10-2022

Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (4.1.1, 4.1.2 (06.01.05), 4.1.6 (06.03.01, 06.03.02, 06.03.03))

СТАТЬИ

СОЗДАНИЕ ГОРОДСКИХ ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ С УЧАСТИЕМ <i>TILIA CORDATA</i> MILL. И <i>BETULA PENDULA</i> L. В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПРОИЗРАСТАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА) <i>Авдеева Е.В., Кухар И.В., Иванов Д.В.</i>	7
ПРИРОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СТРУКТУРЕ ГОРОДСКИХ ПАРКОВ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА <i>Аткина Л.И., Абрамова Л.П., Булатова Л.В.</i>	13
ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ИТТЕРБИЕВОГО ЛАЗЕРА НА ПРОРАСТАНИЕ И ВЛАГОПОГЛОЩЕНИЕ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР <i>Бурдышева О.В., Шолгин Е.С., Костина К.А., Баяндин Д.В., Ременникова М.В.</i>	20
ЦИКЛЫ РАЗВИТИЯ И ВОЗРАСТА РУБОК ПИХТОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В СРЕДНЕ-СИБИРСКОМ ПОДТАЕЖНО-ЛЕСОСТЕПНОМ РАЙОНЕ <i>Вайс А.А., Калачев В.А.</i>	27
ОЦЕНКА ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ ПО БИОХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ <i>Зайцев С.А., Волков Д.Д., Лёвкина А.Ю., Башинская О.С., Бабушкин Д.Д., Бычкова В.В.</i>	34
ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ <i>Примаков Н.В., Латифова А.С., Дубровин Е.Ю.</i>	41
НАУЧНЫЙ ОБЗОР	
ИСТОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ (АЭРОКОСМИЧЕСКИХ) МЕТОДОВ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ РОССИИ <i>Сучков Д.К.</i>	46

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.18 (25.00.30), 1.6.21)

СТАТЬИ

ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИЙ ОСНОВНЫХ ИОНОВ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ НА ТЕРРИТОРИИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ С 2011 ПО 2020 Г. <i>Галушин Д.А., Авдеев С.М., Громов С.А.</i>	51
ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В ВОДОСБОРЕ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО <i>Музыченко Т.К.</i>	58
ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ МОРСКИМ ТРАНСПОРТОМ <i>Пономаренко И.А.</i>	64
ХАРАКТЕРИСТИКА КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ВОД МАЛЫХ РЕК НИЖНЕКАМСКОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН <i>Рыков Р.А., Урбанова О.Н., Горшкова А.Т., Семанов Д.А., Бортникова Н.В.</i>	69

Геолого-минералогические науки (1.6.1 (25.00.01, 25.00.03), 1.6.3, 1.6.4 (25.00.05), 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.11 (25.00.12), 1.6.12, 1.6.17, 1.6.20 (25.00.35), 1.6.21)

СТАТЬИ

РАДИОАКТИВНОСТЬ НЕФТЕШЛАМА: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕРРИТОРИИ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ <i>Пучков А.В., Яковлев Е.Ю., Дружинина А.С., Дружинин С.В.</i>	75
УГЛЕВОДОРДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) <i>Рудых И.В.</i>	81
ВЛАГОЗАПАСЫ ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ БАССЕЙНА РЕКИ ЛЕНЫ <i>Угаров И.С., Ефремов П.В.</i>	88
РАСПАКОВКА И ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДИСТАНЦИОННОЙ ОСНОВЫ ФОРМАТА <i>HDF</i> В <i>PYTHON</i> (НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ <i>TERRA ASTER</i>) <i>Шевырёв С.Л., Борискина Н.Г., Шевырёва М.Ж., Горобейко Е.В.</i>	93

Технические науки (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.8 (25.00.22), 2.8.9)

СТАТЬИ

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЖИГОВОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ МАШИНЫ <i>Бобков В.И., Орехов В.А.</i>	100
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОТТАЙКИ ПЕСКОВ НА ДОБЫЧНЫХ РАБОТАХ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ <i>Заровняев Б.Н., Егорова А.Б., Антеева С.П.</i>	106
ПРОЧНОСТЬ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ОСЫПИ КАРЬЕРА «ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНЫЙ» <i>Захаров Е.В.</i>	113
ПРОГНОЗ ИНФИЛЬТРАЦИИ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ЖИДКИХ ОТХОДОВ ИЗ ПРУДА-ОТСТОЙНИКА В КРИОЛИТОЗОНЕ <i>Попов В.И.</i>	118
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ ЯКУТИИ <i>Ушницкая Н.Н., Местников А.Е.</i>	124
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА ЗАТОРООПАСНЫХ УЧАСТКАХ Р. ЛЕНА МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ <i>Фёдоров М.П., Федорова Л.Л.</i>	130

CONTENTS

Agricultural sciences (4.1.1, 4.1.2 (06.01.05), 4.1.6 (06.03.01, 06.03.02, 06.03.03)

ARTICLES

CREATION OF URBAN ARTIFICIAL GROWTH WITH THE PARTICIPATION OF <i>TILIA CORDATA</i> MILL. AND <i>BETULA PENDULA</i> L. IN DIFFERENT GROWTH CONDITIONS <i>Avdeeva E.V., Kukhar I.V., Ivanov D.V.</i>	7
NATURAL ELEMENTS IN THE STRUCTURE OF YEKATERINBURG CITY PARKS <i>Atkina L.I., Abramova L.P., Bulatova L.V.</i>	13
EFFECT OF YTTERBIUM LASER RADIATION ON GERMINATION AND MOISTURE ABSORPTION OF SEED MATERIAL OF AGRICULTURAL CROPS <i>Burdysheva O.V., Sholgin E.S., Kostina K.A., Bayandin D.V., Remennikova M.V.</i>	20
CYCLES OF DEVELOPMENT AND AGE OF FELLING FIR PLANTATIONS IN THE MIDDLE SIBERIAN SUBTAIGA-FOREST-STEPPE REGION <i>Vais A.A., Kalachev V.A.</i>	27
EVALUATION OF CORN HYBRIDS ON BIOCHEMICAL COMPOSITION AND BIOENERGY EFFICIENCY <i>Zaytsev S.A., Volkov D.D., Levkina A.Yu., Bashinskaya O.S., Babushkin D.D., Bychkova V.V.</i>	34
THE EFFECTIVENESS OF THE DESIGN OF PROTECTIVE FOREST PLANTATIONS OF THE KRASNODAR REGION <i>Primakov N.V., Latifova A.S., Dubrovin E.Yu.</i>	41

REVIEW

HISTORY OF REMOTE (AEROSPACE) APPLICATIONS METHODS IN RUSSIAN FORESTRY <i>Suchkov D.K.</i>	46
-----------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.18 (25.00.30), 1.6.21)

ARTICLES

ESTIMATION OF BASIC IONS CONCENTRATIONS IN ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN THE IRKUTSK REGION FROM 2011 TO 2020 <i>Galushin D.A., Avdeev S.M., Gromov S.A.</i>	51
SPATIAL ANALYSIS OF LAND USE OF THE PETER THE GREAT GULF BASIN <i>Muzychenko T.K.</i>	58
ECONOMIC AND GEOGRAPHICAL ASPECTS OF CARGO CARRIAGE BY SEA TRANSPORT <i>Ponomarenko I.A.</i>	64
CHARACTERISTICS OF THE QUALITATIVE COMPOSITION THE WATERS OF SMALL RIVERS THE NIZHNEKAMSK MUNICIPAL DISTRICT OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN <i>Rykov R.A., Urbanova O.N., Gorshkova A.T., Semanov D.A., Bortnikova N.V.</i>	69

Geological and mineralogical sciences (1.6.1 (25.00.01, 25.00.03), 1.6.3, 1.6.4 (25.00.05), 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.11 (25.00.12), 1.6.12, 1.6.17, 1.6.20 (25.00.35), 1.6.21)

ARTICLES

RADIOACTIVITY OF OIL SLUDGE: FIRST RESULTS OF STUDIES OF BOLSHEAZEMELSKAYA TUNDRA <i>Puchkov A.V., Yakovlev E. Yu., Druzhinina A.S., Druzhinin S.V.</i>	75
HYDROCARBON POTENTIAL REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA) <i>Rudykh I.V.</i>	81
ACTIVE-LAYER SOIL MOISTURE IN THE LENA RIVER BASIN <i>Ugarov I.S., Efremov P.V.</i>	88
PYTHON UNPACKING AND PREPROCESSING OF REMOTE SENSING IMAGES IN HDF FORMAT ON A SAMPLE OF TERRA ASTER DATA <i>Shevyrev S.L., Boriskina N.G., Shevyreva M.Zh., Gorobeyko E.V.</i>	93

Technical sciences (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.8 (25.00.22), 2.8.9)

ARTICLES

PECULIARITIES OF EXPERIMENTAL EXAMINATION TEMPERATURE MODE OF OPERATION ROASTING CONVEYOR MACHINE <i>Bobkov V.I., Orekhov V.A.</i>	100
INTENSIFICATION OF SAND THAWING AT MINING OPERATIONS UNDER THE PERMAFROST CONDITIONS <i>Zarovnyaev B.N., Egorova A.B., Antoeva S.P.</i>	106
STRENGTH OF FROZEN ROCKS OF SHADE INTERNATIONAL QUARRY <i>Zakharov E.V.</i>	113
FORECAST OF INFILTRATION OF CONCENTRATED LIQUID WASTE FROM A SETTLEMENT POND IN THE CRYOLITHOZONE <i>Popov V.I.</i>	118
PHYSICO-CHEMICAL ANALYSIS OF CLAY RAW MATERIALS OF YAKUTIA <i>Ushnitskaya N.N., Mestnikov A.E.</i>	124
STUDY OF THE STRUCTURE OF THE ICE COVER IN THE ICE-HAZARDOUS AREAS OF THE LENA RIVER BY GPR METHOD <i>Fedorov M.P., Fedorova L.L.</i>	130

СТАТЬИ

УДК 630.11

**СОЗДАНИЕ ГОРОДСКИХ ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ
С УЧАСТИЕМ *TILIA CORDATA* MILL. И *BETULA PENDULA* L.
В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПРОИЗРАСТАНИЯ
(НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА)**

Авдеева Е.В., Кухар И.В., Иванов Д.В.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева», Красноярск, e-mail: Rahuk@mail.ru*

В статье представлены результаты инвентаризационной оценки скверов г. Красноярск, которые показали, что на всех исследуемых городских объектах озеленения общего пользования насаждения искусственного происхождения, средний возраст которых составляет около 40 лет. Ограниченность ассортимента, несоответствие пространственной структуры, высокие антропогенные нагрузки приводят к преждевременной деградации насаждений. Недостаточное внимание уделено ярусности, структуре и всепогодности «работы» насаждений. В статье представлены принципы формирования насаждений на объектах городского озеленения, обозначены биологические и экологические свойства березы повислой и липы мелколистной. С учетом анализа влияния ландшафтных условий и различных уровней техногенных воздействий в г. Красноярске на рост и развитие древесных растений разработаны ландшафтные кластеры, в которых береза повислая и лиственница сибирская являются доминантными видами – растениями первого яруса, изменяющими почвенно-климатические условия, создающими притенение, и в соответствии с условиями экологических ниш данных видов подобраны содоминантные виды (второго яруса – деревья первой и второй величины), третьего и четвертого яруса – сопутствующие виды – многоствольные деревья, высокие кустарники, создающие защиту для внутреннего пространства от перепадов температур, потери влаги, влияния сильных ветров (эффект опушки), и многолетние травянистые культуры, низкие кустарники (кустарнички), папоротники, составляющие пятый ярус насаждения. На основании анализа пространственной формы изучаемых древесных растений обоснована плотность посадок в городских искусственных насаждениях с участием березы повислой и лиственницы сибирской. Данные растения способны развиваться в сложившихся микроклиматических и техногенных условиях, создавать многоярусные устойчивые и долговечные ландшафтные композиции, способные к саморегулированию к урбанизированной среде (городской урбофитоценоз).

Ключевые слова: городские искусственные насаждения, береза повислая, липа мелколистая

**CREATION OF URBAN ARTIFICIAL GROWTH WITH THE PARTICIPATION
OF *TILIA CORDATA* MILL. AND *BETULA PENDULA* L.
IN DIFFERENT GROWTH CONDITIONS**

Avdeeva E.V., Kukhar I.V., Ivanov D.V.

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk,
e-mail: Rahuk@mail.ru*

The article presents the results of an inventory assessment of public gardens in the city of Krasnoyarsk, which showed that in all the studied urban landscaping objects for general use, plantings of artificial origin, the average age of which is about 40 years. Limited assortment, inconsistency of the spatial structure, high anthropogenic pressures lead to premature degradation of plantations. Insufficient attention is paid to the form, structure and all-season “work” of plantations. The article presents the principles of formation of plantings at urban landscaping objects, the biological and ecological properties of drooping birch and small-leaved linden are indicated. Taking into account the analysis of landscape conditions and various levels of technogenic impacts in the city of Krasnoyarsk on the growth and development of woody plants, landscape clusters have been developed in which drooping birch and Siberian larch are dominant species – plants of the first tier, changing soil and climatic conditions, creating shading, and in accordance with the conditions of the ecological niches of these species, co-dominant species were selected (the second tier – trees of the first and second size), the third and fourth tier – related species – multi-stemmed trees, tall shrubs that create protection for the interior from temperature extremes, moisture loss, and the influence of strong winds (effect of the edge), and perennial herbaceous crops, low shrubs (shrubs), ferns that make up the fifth tier of the plantation. Based on the analysis of the spatial form of the studied woody plants, the density of plantings in urban artificial plantations with the participation of silver birch and Siberian larch is substantiated. These plants are able to develop in the prevailing microclimatic and technogenic conditions, create multi-tiered stable and durable landscape compositions capable of self-regulation to the urbanized environment (urban urban phytocenosis).

Keywords: urban artificial plantations, *Tilia cordata* Mill., *Betula pendula* L.

Зеленые насаждения, произрастающие в урбанизированной среде, формируются под воздействием природно-климатических и антропогенных факторов. На основании этого рекомендации по подбору ассортимента пород для ландшафтного строительства должны опираться в первую очередь

на соответствие экологических ниш древесных растений и дендроклиматических ресурсов местности, с учетом влияния техногенных факторов. Рекогносцировочный анализ городских объектов озеленения г. Красноярск показал, что такие виды, как береза повислая (аборигенный вид)

и липа мелколистная (интродуцент), произрастают в значительном количестве городских насаждений. При этом они недостаточно изучены, а также отсутствует правовая биоэкологическая база по их размещению на объектах озеленения.

К тому же санитарно-гигиеническое и эстетическое состояние данных видов на городских объектах озеленения очень различается, что необходимо учитывать при создании пространственной структуры (определение густоты) городских насаждений с их участием.

Цель исследования – разработать принципы формирования насаждений на объектах городского озеленения с учетом анализа ландшафтных условий г. Красноярска, техногенных воздействий на рост и развитие растений, обозначить биологические и экологические свойства растений, способные влиять на создание устойчивых и долговечных ландшафтных композиций с участием березы повислой и липы мелколистной, с определенной пространственной структурой.

Материалы и методы исследования

Для оценки уровня качества городских объектов озеленения общего пользования в целом и состояния отдельных древесных растений выбраны скверы, расположенные во всех районах г. Красноярска с различной степенью техногенной нагрузки: «Лесок», «Серебряный», сквер Космонавтов, «Сказочный», «Панюковский», сквер Энтузиастов, «Юбилейный», «Одесский», сквер им. В.И. Сурикова – и два контрольных участка, расположенные в зеленой зоне г. Красноярска (Фруктово-ягодная станция и питомник УЗС). Площади данных скверов находятся в пределах от 0,81 до 2,95 га, за исключением сквера Космонавтов, площадь которого составляет 6,96 га. На основании общепринятых и авторских методик сформированы экологические паспорта исследуемых городских объектов озеленения. Экологический паспорт включает в себя такие разделы, как ситуационный план, баланс территории объекта, количественные данные об озелененности и качественные характеристики состояния растительности и дорожной сети, данные о рекреационной нагрузке, расчеты уровня загазованности и шумовой нагрузки от транспортных потоков на прилегающих магистралях.

Индекс пространственной формы объекта озеленения позволяет оценить степень рекреационной комфортности отдыхающих, а также потенциал экологической ста-

бильности роста древесных растений. Пространственная форма объекта озеленения оценивается соотношением между площадью и периметром. Наиболее экологически эффективной формой является круг, так как он охватывает наибольшую площадь при минимальном периметре, индекс его формы равен 1. При отличных очертаниях данный индекс приобретает значения > 1 , причем чем больше значение индекса, тем меньшей экологической стабильностью обладают озелененные территории. Индексы значений, достигающие от 2 до 5, говорят о вытянутой или изрезанной конфигурации и о значительной незащищенности внутренних пространств озелененных территорий. При индексе формы объекта от 1 до 1,20 – пространственная форма объекта является экологически эффективной, т.е. способствует повышению рекреационной комфортности отдыхающих и увеличивает потенциал экологической стабильности древесных растений; от 1,21 до 1,40 – пространственная форма объекта способствует снижению рекреационной комфортности отдыхающих и экологической стабильности зеленых насаждений; от 1,41 и больше – прослеживается очень низкая экологическая стабильность озелененных территорий из-за незащищенности внутренних пространств объекта (как правило, узкая линейная полоса вдоль автомобильных дорог) [1]. Анализ участия вида проводился по отношению количества экземпляров данного вида к общему числу всех учтенных видов на исследуемом объекте озеленения. При этом выделяется три категории: низкая с долей участия до 1%, средняя – от 1 до 5%; высокая – более 5% [1].

Результаты исследования и их обсуждение

Рекогносцировочный анализ городских объектов озеленения и подробная инвентаризационная оценка скверов г. Красноярска показали, что на всех городских объектах озеленения общего пользования созданы насаждения искусственного происхождения, средний возраст которых составляет около 40 лет. Ограниченность ассортимента (12 основных древесных видов), несоответствие пространственной структуры, высокие антропогенные нагрузки приводят к преждевременной деградации насаждений. Недостаточное внимание уделено ярусности, структуре и всепогодности «работы» насаждений.

Пространственная форма объектов достаточно компактная, в четырех скверах из девяти индекс кругообразности находится в пределах от 1,1 до 1,20, это означает, что пространственная форма объекта является экологически эффективной, т.е. способствует повышению рекреационной комфортности посетителей и экологической стабильности роста насаждений на данной территории. В двух скверах, «Лесок» и «Панюковский», индекс пространственной формы находится в пределах от 1,21 до 1,40 – пространственная форма объекта способствует снижению рекреационной комфортности посетителей и экологической стабильности зеленых насаждений. В трех скверах – от 1,41 и больше – пространственная форма объекта способствует снижению рекреационной комфортности посетителей и экологической стабильности роста зеленых насаждений – очень низкая экологическая стабильность озелененных территорий из-за незащищенности внутренних пространств объекта (как правило, узкая линейная или изрезанная форма объекта). Только в сквере Космонавтов зона относительного комфорта составляет 70%, за счет большой территории сквера, к тому же он только одной наименьшей стороной примыкает к проезжей части автодороги районного значения. В остальных скверах она составляет не более 45%. Наибольшие влияния факторов дискомфорта ощущаются в скверах «Одесский», им. В.И. Сурикова. Так, сквер «Одесский» имеет вытянутую узкую прямоугольную конфигурацию и длинной стороной примыкает к магистрали с интенсивным движением легковых и грузовых автомобилей (суточный состав потока составляет: 59108, грузовые – 5410, автобусы – 1100 шт.), зона относительного комфорта в данном сквере отсутствует, сквер «Лесок», наоборот, при незначительных размерах расположен в жилой зоне вдали от автомагистралей, за счет чего зона комфортности увеличивается, несмотря на сложную конфигурацию пространства. Увеличение площадей дискомфортных зон на территориях объектов озеленения по таким параметрам, как загазованность и запыленность воздушной среды, повышение температурного, аэрационного и влажностного режимов, превышение шумовых нагрузок, снижает возможность использовать данные пространства, хотя и озелененные, а иногда и хорошо благоустроенные, по их целевому назначению – для детского и тихого отдыха.

Для г. Красноярска основными антропогенными факторами дискомфорта в скверах являются шум, загазованность, запыленность. Таким образом, снижение эффективности зеленых насаждений требует обоснования объемно-пространственной структуры и подбора ассортимента древесных растений для элементов озеленения, способных повысить уровень качества на данных объектах. Таким образом, повысить уровень комфортности на данных объектах возможно, создав насаждения, по пространственной структуре способные снизить дискомфортные факторы. Анализ ассортимента древесных растений всех исследуемых скверов показал, что береза повислая представлена во всех скверах, липа мелколистная отсутствует только в скверах «Серебряный» и «Юбилейный». Доля участия березы повислой выше, чем липы мелколистной, в насаждениях данных скверов и изменяется от средней до очень высокой, составляет от 0,6 до 45% (сквер «Юбилейный»). На основании этого данные виды выбраны для проведения исследований.

Как показали результаты анализа конфигурации объектов озеленения и видового состава древесных растений, наблюдается комплекс дискомфортных факторов, снижающих уровень комфортности отдыхающих и стабильность роста древесных растений. Для увеличения данных показателей необходимо создавать ландшафтные композиции, обладающие характером защитного действия, особенно по отношению к аэрационному режиму: по составу воздушной среды и скорости, а также способствующие снижению акустического воздействия.

Древесные (деревья и кустарники) и травянистые растения обладают определенными экологическими свойствами, которые определяют декоративный и средозащитный потенциал насаждения. Наиболее приемлемыми типологическими элементами, воздействие которых направлено на выполнение определенных средозащитных и декоративных задач являются: линейные структуры и пейзажные группы. Линейные структуры – объекты средозащитного озеленения, обладающие относительно высоким уровнем защитного потенциала, выполняющие защитные, регулирующие функции при нормализации акустического климата, газо- и пылезащите, регулировании инсоляции, выполнении разделительных, композиционно-эстетических и других функций. Пейзажные группы – композиционные структуры, создаваемые

с учетом взаимовлияния и совместимости видов по экологическим критериям.

Структурные и конструктивные параметры малых пейзажных групп (которые в основном создаются в скверах) за счет незначительных площадей обуславливают невысокие показатели воздействия данного типа озеленения на гигиенические параметры среды. При этом значительное количество пейзажных групп, созданных в жилых районах и на объектах озеленения при проведении реконструктивных мероприятий, направленных на увеличение их санитарно-гигиенической эффективности, способны внести вклад в оздоровление среды и увеличить средозащитный потенциал территории.

Эффективность формирования насаждений на городских объектах озеленения зависит от методологии, заложенной в процессе их создания. Основными принципами формирования городских насаждений являются: учет природных условий; техногенных нагрузок; научное обоснование типа и плотности посадки; выделение доминантного вида с учетом ландшафтных усло-

вий и уровня антропогенных воздействий и на его основе формирование видового состава насаждения (био группы); обоснование технологического процесса, адекватного условиям среды (табл. 1).

На основании вышеизложенных принципов, анализа ландшафтных условий г. Красноярска [2–5] и его зеленой зоны [6] (выявление доминирующих ландшафтообразующих видов в каждой ландшафтной зоне) с учетом уровней техногенных воздействий на рост и развитие растений разработаны ландшафтные кластеры, которые формируются доминантными растениями [7–10]. С учетом анализа ландшафтных условий и уровней техногенных воздействий на рост и развитие древесных растений в г. Красноярске [4, 5] разработаны следующие ландшафтные кластеры – сосновый, еловый, лиственничный, березовый, липовый, тополевый, ивовый. Представленные материалы позволяют сформировать ландшафтные композиции в определенных ландшафтных условиях с учетом уровней техногенных нагрузок (табл. 2).

Таблица 1

Принципы формирования насаждений на объектах городского озеленения

Этап	Решение
Природные условия	Ландшафтное зонирование; орографические, микроклиматические условия; пространственная ориентация улиц, зданий
Техногенная нагрузка	Экологический фон города; автотранспортные, градостроительные, рекреационные факторы на локальном уровне
Ассортимент (биоэко-логические свойства видов)	Выбор доминантного вида; формирование видового состава (кластерный подход)
Объемно-пространственная форма	Тип посадки (чистый, смешанный; пейзажный; регулярный: рядовой, супротивный, шахматный); плотность (густота), яркость
Агротехнологический процесс	Обработка почвы, посадка (сроки), агротехнический уход

Таблица 2

Соответствие средозащитных ландшафтных кластеров ландшафтными зонам г. Красноярска и его зеленой зоны

Ландшафтные кластеры	Ландшафтное районирование территории г. Красноярска и его зеленой зоны [2]						
	I темнохвойная тайга	II светлохвойная тайга	III подтайга	IV южная лесостепь	V северная лесостепь	VI степь	VII пойма реки
Сосновый	+	+	+	+	+		+
Еловый	+						
Лиственничный	+	+	+	+	+		+
Березовый		+	+	+	+		+
Липовый			+	+	+		+
Топелевый				+	+	+	+
Ивовый			+	+	+	+	+

Таблица 3

Плотность посадок березы повислой и липы мелколистной
на объектах озеленения г. Красноярска

Экологические условия	«Условно чистые»	«Особо загрязненные»
Береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth.)		
Солитер		
Высота дерева в возрасте 40 лет, м	11,0	9
Радиус окружности кроны, м	12	10
Ряды, аллеи, группы		
Средний диаметр кроны в возрасте 40 лет, м	5,0±0,5	4,1±0,4
Расстояние между деревьями, м	4,5–4,0	3,5–3,0
Густота, шт./га	495–600	815–1100
Липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i> Mill.)		
Солитер		
Высота дерева в возрасте 40 лет, м	10–12	8–10
Радиус окружности кроны, м	12	10
Ряды, аллеи, группы		
Средний диаметр кроны в возрасте 40 лет, м	5,0±0,5	5,0±0,5
Расстояние между деревьями, м	4,5–5,0	4,5–5,0
Густота, шт./га	495–400	495–400

Для березового и липового кластеров береза повислая и липа мелколистная являются доминантными видами – растениями первого яруса, влияющими на изменения почвенно-климатических условий, создающими притенение для других растений, и в соответствии с условиями экологических ниш данных видов подобраны доминантные виды (второго яруса – деревья первой и второй величины), третьего и четвертого яруса – сопутствующие виды – многоствольные деревья (деревья кустовидного типа), высокие кустарники, создающие защиту для внутреннего пространства от перепадов температур, потери влаги, влияния сильных ветров (эффект опушки), и многолетние травянистые культуры, низкие кустарники (кустарнички), папоротники, составляющие пятый ярус насаждения.

Для городских объектов озеленения пространственная структура насаждений должна создаваться в соответствии с потенциалом развития каждого вида растения в определенных условиях городской среды. Это позволит создать высокодекоративные, стабильно растущие, долговечные насаждения с высокими средозащитными качествами. В березовый кластер входят варианты композиций, структурными доминантами в которых является береза повислая. Она об-

ладает высокими декоративными качествами, повышает пейзажную выразительность сибирских ландшафтов, являясь одной из ландшафтообразующих пород в данном регионе. Декоративность чистых березовых групп создается за счет графичности кроны, белого цвета коры ее стволов, наличием сезонности в окраске листьев.

Липовый кластер строится на доминировании липы мелколистной в насаждении, при этом высокую декоративность имеют простые чистые группы. Состав смешанных групп аналогичен составу насаждений березового кластера. Растения, обладающие следующими биологическими и экологическими свойствами, способны создавать устойчивые и долговечные ландшафтные композиции с участием березы повислой и липы мелколистной: мезоксерофиты (растения засушливых и средnezасушливых местообитаний), олиготрофы (малотребовательные к питательным веществам), гелиофиты (светолюбивые), класс морозостойкости – 1–3. Липа мелколистная по экологическим свойствам достаточно близка к березе повислой, поэтому для данных кластеров обоснован основной видовой состав растений березового и липового кластеров. Данные виды растений достаточно устойчивы к условиям урбанизированной среды

и могут использоваться на объектах озеленения всех условий произрастания от удовлетворительного до критического.

Эффективность полезных функций насаждений, их декоративность зависит от соответствия пространственной структуры условиям произрастания. Наиболее рациональными пространственными характеристиками (густота) для городских насаждений являются расстояния, при которых происходит проникновение крон растений между собой не более чем на 25%. В соответствии с этим проведен анализ максимальных диаметров крон для березы повислой и липы мелколистной, произрастающих в условиях г. Красноярска с различными уровнем техногенных от «условно чистых» до «особо загрязненных», в ходе которого получены рекомендуемые значения расстояний между деревьями в насаждениях (рядах, группах) и, соответственно, плотность посадок, а также радиусы окружности – зоны развития солитеров березы повислой и липы мелколистной в зависимости о высоты растений для различных условий г. Красноярска (табл. 3).

Заключение

С учетом анализа ландшафтных условий и уровней техногенных воздействий в г. Красноярске, влияющих на рост и развитие древесных растений, разработаны ландшафтные кластеры, в которых береза повислая и лиственница сибирская являются доминантными видами – растениями первого яруса, изменяющими почвенно-климатические условия, создающими притенение, и в соответствии с условиями экологических ниш данных видов подобраны содоминантные виды (второго яруса – деревья первой и второй величины), третьего и четвертого яруса – сопутствующие виды – многоствольные деревья, высокие кустарники, создающие защиту для внутреннего пространства от перепадов температур, потери влаги, влияния сильных ветров (эффект

опушки), и многолетние травянистые культуры, низкие кустарники (кустарнички), папоротники, составляющие пятый ярус насаждения. На основании анализа пространственной формы изучаемых древесных растений обоснована плотность посадок в городских искусственных насаждениях с участием березы повислой и лиственницы сибирской. Данные растения способны развиваться в сложившихся микроклиматических и техногенных условиях, создавать многоярусные устойчивые и долговечные ландшафтные композиции, способные к саморегулированию к урбанизированной среде (городской урбофитоценоз).

Список литературы

1. Полякова Е.В. Особенности развития и жизнеспособность древесных растений в условиях городской среды (на примере г. Владивостока): дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 2004. 157 с.
2. Городсков А.В. Архитектура, проектирование и организация культурных ландшафтов: учебное пособие. СПб.: Проспект Науки, 2013. 416 с.
3. Авдеева Е.В., Панов А.И., Кухар И.В. Динамика формирования урбанизированной среды г. Красноярска: сборник материалов XX Международного научно-практического форума «Проблемы озеленения крупных городов». 2018. С. 38–41.
4. Авдеева Е.В. Ландшафтно-средозащитное озеленение городских территорий. Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2022. 80 с.
5. Панов А.И. Изменчивость сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в городских посадках: на примере г. Красноярска: дис. ... канд. сельхоз. наук. Красноярск, 2021.
6. Николаевская З.А. Садово-парковый ландшафт. М.: Стройиздат, 1989. 344 с.
7. Новикова М.А. Особенности естественного возобновления березы в условиях Ленинградской и Тверской областей: дис. ... канд. сельхоз. наук. Санкт-Петербург, 2016. 157 с.
8. Дроздов С.Н., Хлопцева Е.С., Сазонова Т.А. Светотемпературная характеристика семян березы пушистой *Betula pubescens* (Betulaceae) // Лесной журнал. 2014. № 1. С. 27–36.
9. Колмогорова Е.Ю., Кайдорина В.А., Неверова О.А. Морфофизиологическая оценка состояния березы повислой в условиях действия выбросов автотранспорта // Лесной журнал. 2012. С. 20–27.
10. Феклисов П.А., Амосова И.Б. Морфолого-физиологические и экологические особенности березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в таежной зоне. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. 212 с.

УДК 630:712.2.025

ПРИРОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СТРУКТУРЕ ГОРОДСКИХ ПАРКОВ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА

Аткина Л.И., Абрамова Л.П., Булатова Л.В.

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

Всего в Екатеринбурге 34 городских парка. Значительная часть парков создавалась в процессе благоустройства новых микрорайонов в 1940–1960-х гг. и сопровождалась трансформацией всех элементов ландшафта: почвы, растительности, водоемов. Но даже в этих парках сохраняются отдельные природные элементы. Они могут быть основой для создания устойчивых декоративных участков, отражающих природу Среднего Урала. В парке «Летний» практически на всей площади сохранились естественные почвы и разреженный древостой из сосны обыкновенной. Для парка характерно высокое разнообразие типов почв. Добавлены интродуценты тополь бальзамический и ясень пенсильванский. В парке им. 50-летия ВЛКСМ определяющим является гидрологический режим и связанные с ним особенности рельефа. В понижениях, где сохранились болотные и урбо-болотные почвы, возможно создание пейзажей, имеющих облик приречных и болотных ценозов. На выровненных участках на урбаноземах высажены вяз шершавый, клен ясенелистный, липа мелколистная, тополь, яблоня ягодная и ясень пенсильванский. Парк им. 22 партсъезда наиболее изменен и полностью утратил природные элементы. Даже после нескольких реконструкций его планировку определяет существовавший ранее ипподром. Отличительная черта почвенного слоя – содержание большого количества антропогенных включений, оставшихся от строений ипподрома, что значительно снижает его плодородие. В результате изучения трех парков г. Екатеринбурга установлено, что сохранение природных почвенных условий совпадает с наличием исходных древесных видов. При полном нарушении исходных и заменой их на урбаноземы насаждения также полностью изменяются.

Ключевые слова: природный элемент, городское озеленение, парки, естественные почвы, урбаноземы, древостой

NATURAL ELEMENTS IN THE STRUCTURE OF YEKATERINBURG CITY PARKS

Atkina L.I., Abramova L.P., Bulatova L.V.

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, e-mail: Atkina@mail.ru

There are a total of 34 city parks in Yekaterinburg. A significant part of the parks was created in the process of landscaping new neighborhoods in the 40–60s of the last century and was accompanied by the transformation of all elements of the landscape: soil, vegetation, hydrology. But even in these parks, some natural elements are preserved. They can be the basis for creating sustainable decorative sites that reflect the nature of the Middle Urals. In the Summer Park, almost the entire area has preserved natural soils and sparse and stand of common pine. The park is characterized by a high variety of soil types. Introduced balsamic poplar and Pennsylvania ash. In the park named after the 50th anniversary of the Komsomol, the hydrological regime and associated relief features are decisive. In depressions where swamp and urban-swamp soils have been preserved, it is possible to create landscapes with the appearance of riverine and swamp cenoses. Rough elm, ash-leaved maple, small-leaved linden, poplar, apple tree and Pennsylvania ash are planted on leveled plots on urban soils. The park named after the 22nd party congress is the most changed and has completely lost its natural elements. Even after several reconstructions, its layout is determined by the previously existing racetrack. A distinctive feature of the soil layer is the content of a large number of anthropogenic inclusions remaining from the buildings of the racetrack, which significantly reduces its fertility. As a result of studying three parks of the city of Yekaterinburg, it was found that the preservation of natural soil conditions coincides with the presence of the original tree species. With a complete violation of the original ones and their replacement with urbanozems, the plantings also completely change.

Keywords: naturally elements, urban landscaping, parks, natural soils, urbanozems, stands

Городские парки – территории, где человек имеет возможность взаимодействовать с природой. Поэтому актуальным направлением в настоящее время является изучение вопросов, касающихся методов проектирования объектов рекреации, которые будут актуализировать связь природы, архитектуры и человека [1–3].

Всего в Екатеринбурге 164 объекта озеленения общего пользования, из них 34 городских парка. Все они исторически формировались по двум основным направлениям. К первому относятся те, которые создавались на месте естественного масси-

ва сосновых или смешанных насаждений, территориально включавшихся в границы города при его разрастании. Вторая группа представлена объектами, создаваемыми как часть планировочного решения нового микрорайона. Но внутри каждой группы между объектами существуют различия, отражающие степень антропогенной трансформации. Даже в парках, которые визуально воспринимаются как созданные в результате значительного изменения исходного ландшафта, сохраняются отдельные природные элементы, которые могут быть основой для создания устойчивых де-

коративных уголков, отражающих природные растительные сообщества.

Выявление элементов, особенностей их структуры и состава, присущих коренным растительным сообществам региона, существовавших до создания рекреационных объектов, необходимо для дальнейшего проектирования локальных ландшафтов, максимально приближенных к естественным, которые, по мнению многих исследователей, значительно улучшают восприятие.

Цель исследования – выявление элементов, характерных для природных комплексов, сохранившихся при создании городских парков.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- выявление изменений ландшафта (в первую очередь рельефа) в процессе антропогенного вмешательства;
- комплексная характеристика насаждений, включающая состав, структуру, санитарное состояние;
- описание почвенных условий, сложившихся на территории парков в настоящее время.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов выбраны три парка, имеющие различную историю создания, степень трансформации и географическое размещение: парк им. 22 партсъезда, парк им. 50-летия ВЛКСМ и парк «Летний».

Парк им. 50-летия ВЛКСМ (площадь 13,9 га). Парк расположен в юго-западной части города, между улицами Шаумяна, Ясная и Чкалова. В начале XIX в. на месте парка находилось Камышенское болото. Позже на этом участке велись разработки торфа, называемые «Московским торфяником», протекала р. Монастырка, которая в 1960-е гг. была заключена в трубу и выведена в р. Исеть. На рубеже 1940-х гг. на месте парка были закончены разработки торфа, но все еще существовало болото верхового типа. К октябрю 1968 г., в честь юбилея комсомола, был открыт парк им. 50-летия ВЛКСМ. Он стал частью возводимого микрорайона Юго-Западный [4].

Рельеф парковой территории изменен, так как в процессе застройки микрорайона происходило значительное перемещение грунтов. В результате шло выравнивание поверхности участка. Но гидрологическая обстановка, характерная для Камышенского болота, нашла свое отражение в повышенном увлажнении. Для благоустройства объекта была создана и существует до насто-

ящего времени сеть открытых дренажных канав. В центре парка водоем вытянутой формы – оставшийся фрагмент русла реки Монастырки. Наполнение идет за счет снеготаяния и летних осадков, что приводит к периодическому высыханию в летние месяцы.

Парк «Летний» (площадь 5,9 га). Одновременно с развитием микрорайона Уралмаш формировался и парк «Летний», находящийся на въезде с ул. Красных борцов и Кировградской. Возник он в 1935 г. на площади, отведенной под цеха завода, но не задействованной. Его треугольная форма обусловлена особенностями планировочного решения всего микрорайона. По мнению архитекторов, именно такая планировка обуславливала максимальное быстрое передвижение людей к цехам завода. Первоначально парк носил название «Летнего сада № 1 УЗТМ». Впоследствии он был переименован в «Парк культуры и отдыха Уралмаш» [5] и уже в XXI в. вновь получил название «Летний».

В процессе создания парка рельеф практически не изменен, благоустроены только грунтовые дорожки и тропинки, присутствует общий небольшой уклон территории, соответствующий природному рельефу.

Парк им. 22 партсъезда (площадь 7,9 га). Парк расположен вдоль Верх-Исетского бульвара от пер. Пестеревских до жилого массива по ул. Крылова. Вплоть до начала XX в. будущий парк обозначался как отводная территория (лесная дача и т.д.) Верх-Исетского завода и получил статус частной собственности. В повседневной жизни шла реализация хозяйственной функции – частные огороды и городской выгон.

В процессе эксплуатации участка под огороды произошло уничтожение коренной растительности. При этом шло выравнивание рельефа, уничтожались даже небольшие понижения. По этой причине участок и был выбран для будущего ипподрома. И в середине 1880-х гг. на этом участке был устроен общественной организацией «Екатеринбургское общество охотников конского бега» городской ипподром [6].

Основными сооружениями ипподрома были собственно беговая арена, крытый павильон, конюшня, помещение для жокеев и судей, кузница. На планах 1920–1940-х гг. комплекс занимал в ширину все пространство от Верх-Исетского бульвара до ул. Хомякова. Сам парк был заложен в 1961 г., и с того времени его планировка не менялась. В центре проходит аллея (по центральной оси ранее существовавшего ипподрома), идущая

с северо-востока на юго-запад, с пересекающимися ее более мелкими поперечными дорожками. На участке вдоль Верх-Исетского бульвара сохранился откос, который был основанием для трибун ипподрома.

Для выявления сохранившихся элементов исходных ландшафтов проведено полное обследование насаждений и почвенного покрова, так как эти два компонента наиболее полно отражают произошедшие изменения.

Исследование насаждений с целью определения их санитарного состояния в вегетационный период проведено с учетом «Методики инвентаризации городских зеленых насаждений» [7]. Видовой состав установлен по Определителю сосудистых растений Среднего Урала [8], учитывались работы, опубликованные ранее по данным объектам [9].

Антропогенное изменение почвы определялось по методике М.И. Герасимовой, М.Н. Строгановой [10]. Почвы, не затронутые антропогенезом, определялись по руководству «Классификация и диагностика почв СССР» [11]. В парках было заложено 20 полных почвенных разрезов, 19 полуразрезов и 28 прикопок.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенного исследования выявлены следующие особенности структуры и состава насаждений парков.

Парк им. 22 партсъезда. Ассортимент насаждения представлен 29 видами, из них 18 видов деревьев и 11 видов кустарников. В процентном соотношении от общего числа на долю деревьев приходится 74,3%, а на долю кустарников – 25,7%.

Основу парка составляют аллеи, рядовые и групповые посадки из липы мелколистной (*Tilia cordata* L.), черемухи Маака (*Prunus maackii* Rupr.), яблони ягодной (*Malus baccata* L. BORKH.), березы повислой (*Betula pendula* Roth.), тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), лиственницы (*Larix sibirica* LEDEV.), клена ясенелистного (*Acer negundo* L.), живые изгороди из кизильника блестящего (*Cotoneaster lucidus* SCHLTDL.), спиреи японской (*Spiraea japonica* L.F.).

Преобладающими видами в составе являются тополь бальзамический (8,9%), береза повислая (7,6%), липа мелколистая (8,1%), клен ясенелистный (23,2%) и береза повислая (10,2%), которые встречаются как в рядовых посадках, так и в куртинах.

Большинство древесных видов находятся в хорошем состоянии, за исключением липы мелколистной, тополя бальзамического, черемухи Маака, яблони ягодной, клена ясенелистного и вяза шершавого, основная часть которых имеет невысокий балл санитарного состояния (2,2 балла и ниже).

Парк «Летний». Ассортимент насаждений включает 12 видов деревьев и 6 видов кустарников. Наибольшее распространение в парке имеют сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) (21%), тополь бальзамический (13%) и ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* MARSH.) (32%). Остальные виды встречаются единично. Повсеместно распространена поросль клена, ясени и вяза. Естественное возобновление сосны отсутствует. Все газоны парка имеют естественное происхождение, состояние значительной части которого можно охарактеризовать как неудовлетворительное, что связано с отсутствием должного ухода.

Парк им. 50-летия ВЛКСМ. На территории парка произрастает 2700 деревьев, представленных 11 видами. Наиболее распространены: тополь бальзамический (34,1% от общего количества деревьев), береза повислая (27,6%), липа мелколистая (6,8%) и лиственница (4,9%). В парке относительно небольшое количество клена ясенелистного (5,4%). Структура насаждений неоднородна: плотные равномерные посадки наблюдаются в южной части парка, а в северной же больше групповых с чередованием деревьев и открытых пространств.

Из крупных кустарников преобладают боярышник кроваво-красный (*Crataegus sanguinea* PALL.) и сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L.). Также произрастают шиповник (*Rosa rugosa* THUNB.), кизильник, карагана (*Caragana arborescens* LAM.), жимолость татарская (*Lonicera tatarica* L.).

Всего в парках преобладают 18 видов деревьев, причем только пять из них можно отнести к местной флоре: береза повислая, ель сибирская (*Picea obovata* LEDEV.), гибридные формы ив (*Salix* L.), лиственница сибирская, рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.) и сосна обыкновенная.

Исходя из особенностей структуры насаждений, можно утверждать, что в изученных парках только сосна обыкновенная, ель сибирская, ивы являются видами, сохранившимися от исходного насаждения. Береза повислая, лиственница сибирская высажены вдоль аллей, имеют рядовую, упорядоченную структуру посадки. Извест-

но, что большое количество березы в парке им. 50-летия ВЛКСМ связано с массовыми пересадками саженцев из естественной среды, так как в питомниках саженцев молодых берез требуемых параметров в тот период не было. Возможно, были использованы саженцы, которые разрослись после ликвидации торфоразработок на участке, так как очевидна концентрация деревьев березы в западной части парка.

По видовому составу из интродуцентов во всех парках представлены: вяз шершавый, клен ясенелистный, липа мелколистная, тополь, яблоня ягодная и ясень пенсильванский. Они отражают распространенный ассортимент видов, используемых для озеленения города в 1970–1980-е гг., когда и завершилось формирование парков. Наиболее широко они представлены в парке им. 22 партсъезда, что характеризует его насаждения как максимально искусственно созданные.

Характеристика почвенного покрова

Сравнительная характеристика почв приведена в таблице. По результатам исследований очевидно, что наибольшую антропогенную трансформацию претерпели почвы парка 22 партсъезда, поскольку парк

находится в центре города, а территория использовалась сначала как сельскохозяйственные земли, затем долгое время там находился ипподром, что и привело к глубокой трансформации почв. Верхняя часть почвенного профиля антропогенно преобразована: отмечены высокая плотность горизонтов, наличие строительного мусора, антропогенных включений в виде мраморной крошки, угля, стекла, хозяйственных предметов, остатков погребенного конского перепревшего навоза слоем примерно 10 см на глубине 20–30 см.

В парке им. 50-летия ВЛКСМ можно выделить зоны как с естественными почвами, так и с полностью антропогенно-преобразованными, наряду с естественными болотными и дерново-глеевыми почвами, распространены урбо-глеево-дерновые, где горизонт урбик менее 50 см, и урбаноземы с преобразованной почвенной толщей более 50 см.

Сравнив размещение основных древесных насаждений и почвенных характеристик (рис. 1–3), сделаем вывод, что изменение почвенного слоя совпадает со значительной антропогенной трансформацией насаждений, вплоть до полностью искусственного его создания.

Общая характеристика почв парка

Почва	Горизонты и их мощность, см				
Парк «Летний»					
Урбо-дерново-подзолистая, обычная сильноподзолистая, среднедерновая среднесуглинистая	A ₀	A ₁ U	A ₂	B ₁	B ₂
	0–1	До 25	25–49	49–92	92–120
Дерновая типичная, бескарбонатная, маломощная среднесуглинистая	A ₀	A ₁	B		
	0–1	До 13	13–26		
Реплантозем	A ₀	U ₁ (смесь A ₁ и A ₂)	B	U ₂	
	0–0,5	0,5–5	5–18	> 18	
Парк им. 50-летия ВЛКСМ					
Глееводерновая бескарбонатная: маломощная легкосуглинистая	A ₀	A ₁	A _{1g}	B _g	G
	0–0,5	0,5–12	01.12.30	30–60	61–97
Болотная торфяная низинная маломощная глинистая	A ₀	A ^{III}	G		
	0–11	01.11.65	65		
Урбоглеево-дерновая глубокодерновая легкосуглинистая	A ₀	U _g	A _{1g}	Bg	C
	0–1	01.01.33	33–44	44–83	>83
Урбанозем	U1	U2	BgU		
	0–22	22–61	> 61		
Парк им. 22 партсъезда					
Урбанозем среднесуглинистый	A ₁	UAB		UB	UC
	0–8	До 34		34–42	Более 42



Рис. 1. Совмещенный план насаждений и почвенных условий в парке «Летний»

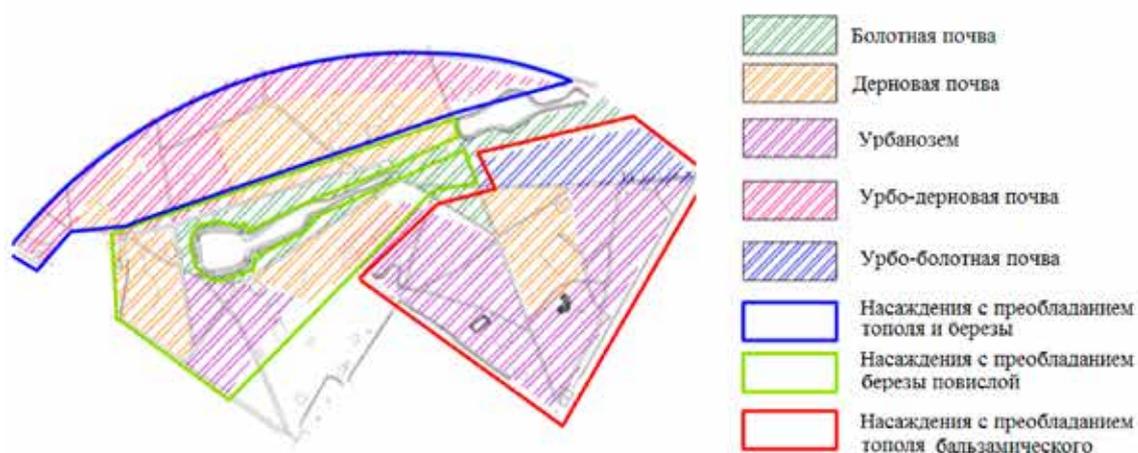


Рис. 2. Совмещенный план насаждений и почвенных условий в парке им. 50-летия ВЛКСМ

Наименьшей трансформации подвержены почвы парка «Летний». Почвы под соснами представлены естественными дерново-подзолистыми, хотя они перекрыты слоем урбанозема. Природные почвы скрыты под слоем завезенного с целью создания газонов грунта, но сохраняют все черты, присущие природным естественным сообществам сосны. Не изменены почвы и под другими насаждениями, хотя видовой состав заменен полностью на интродуценты: ясень пенсильванский и липу мелколистную. Контуры этих почв совпадают с участками произрастания сосны обыкновенной, у которой в процессе эксплуатации парка изменилась плотность посадки, исчез присущий данному виду насаждений подлесок и живой напочвенный покров. Для восстановления облика соснового бора необходимо провести реконструкцию, направ-

ленную на увеличение доли сосны в подпологовых культурах ландшафтного типа.

При создании дорожно-тропиночной сети структура дорожных покрытий была такова, что подстилающие слои щебня выходили за видимые границы значительно, до 0,8–1 м. В результате все дорожки окаймлены так называемыми реплантоземами мощностью 15–20 см, а глубже щебень.

В парке им. 50-летия ВЛКСМ природные элементы сохранились на участках с повышенным увлажнением. Это водоем и прилегающие участки, а также западная часть парка, где отмечается избыточное увлажнение в понижениях рельефа. Здесь преобладает береза повислая, тогда как в юго-восточной части, на урбаноземах, посажен тополь бальзамический, что характерно для создания парков в г. Екатеринбурге в 1970–1980-х гг.



Рис. 3. Совмещенный план насаждений и почвенных условий в парке им. 22 партсъезда

Большинство парков города в этот период создавались без проекта, силами горожан, на субботниках. Просто оформлялись аллеями посадками существующие транзиты (рис. 2).

Парк им. 22 партсъезда, пережив неоднократную трансформацию своей территории, представляет собой полностью искусственно созданный ценоз, от измененных почв до разнообразных посадок древесных растений (рис. 3).

Изучение природных компонентов, сохранившихся в парковых насаждениях, является основанием для рационального проектирования этапов их реконструкции с целью воссоздания фрагментов природных ландшафтов парков, которые будут не только высоко декоративными, но и устойчивыми к антропогенным нагрузкам.

По итогам исследования можно предложить следующие направления реконструкции насаждений, которые приведут к формированию природных уголков в городских парках, вносящих разнообразие в пейзажный облик, отвечающих современным тенденциям [12].

Для *парка «Летний»*, где практически на всей площади сохранились естественные почвы, а древостой из сосны обыкновенной, хотя разреженный и расстроенный, не утратил свой облик, предлагаем проведение восстановительной реконструкции насаждений. При соответствующих мероприятиях, направленных на создание подполюговых культур сосны, уничтожение порослевого клена ясенелистного, в центре города возможно восстановить прекрасный сосновый бор, который является относительной чер-

той уральских лесов. В *парке им. 50-летия ВЛКСМ* определяющим является гидрологический режим и связанные с ним особенности рельефа. В понижениях, где сохранились болотные и урбо-болотные почвы, возможно создание пейзажей, имеющих облик приречных и болотных ценозов, но созданных из декоративных древесных видов и сортов: ив селекции Шабурова (Памяти Бажова, Уральская Красавица, Шатер-1, Шатер-2, Памяти Миндовского, Водопад, Свердловская Извилистая), дербенника иволистного (Роберте, Розовая жемчужина, Ракета и др.), калла болотная, Бузульник (Dragon's Breath) и др.

Парк им. 22 партсъезда наиболее изменен и полностью утратил природные элементы. Даже после нескольких реконструкций его планировку определяет существовавший ранее ипподром. Отличительная черта почвенного слоя – содержание большого количества антропогенных включений, оставшихся от строений ипподрома, что значительно снижает его плодородие. Так как на такой значительной площади нет возможности восстановления почв, то именно размещение трудно разрушаемых остатков в почве и будет тем ограничивающим фактором по размещению крупных паркообразующих деревьев.

Заключение

В итоге можно утверждать, что сохранные природные почвенные условия совпадают с границами произрастания исходных древесных видов. При полном нарушении почвенного покрова и замене природных почв на урбаноземы насаждения

также полностью трансформируются. Восстановление природных пейзажных картин необходимо начинать с участков, на которых сохранились фрагменты природных ценозов.

Для формирования устойчивых насаждений рекомендовано проводить реконструкцию древесно-кустарниковой растительности в несколько этапов. На первом этапе необходимо высаживать коренные виды, с последующим формированием в отдаленных местах подлеска и создания аналога опушечных посадок для повышения устойчивости всех элементов сформированных насаждений.

Список литературы

1. Nurul N.M., Nazir N.O., Abdul H.N. Green Infrastructure and its Roles in Enhancing Quality of Life. *Social and Behavioral Sciences*. 2016. Vol. 222. P. 465–475.
2. Mohd A., Waliyuddin A.R., Noriah O., Nurul N.M. Urban park and human well-being Nazira aInstitute of Graduate Studies. AMER International Conference on Quality of Life. Jakarta, Indonesia. 2015. 25-27 April.
3. Ahmad Z.Z., Mohd S.R., Syazwani A. Identification of Perak Malay Hard Landscape Elements Along the Perak River in the Perak Tengah District. *Social and Behavioral Sciences*. 2016. Vol. 222. P. 465–475.
4. Аткина Л.И., Абрамова Л.В., Булатова Л.В. Городской парк как природно-антропогенный объект (на примере парка 50-летия ВЛКСМ, г. Екатеринбург) // *Природообустройство*. 2021. № 5. С. 133–140.
5. Аткина Л.И., Абрамова Л.В., Агафонова Г.В. Современное состояние зеленых насаждений и почвенного покрова парка «Летний» в г. Екатеринбург // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова*. 2018. № 4 (53). С. 106–113.
6. Официальный портал г. Екатеринбурга. История: 130 лет назад в Екатеринбурге открылся первый на Урале ипподром. [Электронный ресурс]. URL: <https://ekaterinburg.pf/news/54031-istoriya-130-let-nazad-v-ekaterinburge-otkrylsya-pervyy-na-urale-ippodrom> (дата обращения: 20.09.2022).
7. Методика инвентаризации городских зеленых насаждений. [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294815/4294815098.pdf> (дата обращения: 20.09.2022).
8. Определитель сосудистых растений Среднего Урала под ред. Горчаковского П.Л. Институт экологии растений и животных УрО РАН. М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр “Наука”», 1994. 525 с.
9. Екатеринбургское лесничество. Парк им. 50-летия ВЛКСМ. [Электронный ресурс]. URL: <https://http://лесничество.ekaterinburg.pf/forrestry/parks/park-im-50-letiya-vlksm> (дата обращения: 20.09.2022).
10. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2019. 237 с.
11. Егоров В.В., Иванова Е.Н., Фридланд В.М. Классификация и диагностика почв СССР «Колос». 1977. 225 с.
12. Ahani A., Allahverdi S., Saffariha M. et al. Environmental modeling of landscape aesthetic value in natural urban parks using artificial neural network technique. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2022. No. 8. P. 163–172.

УДК 58.085:633.1:58.035

ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ИТТЕРБИЕВОГО ЛАЗЕРА НА ПРОРАСТАНИЕ И ВЛАГОПОГЛОЩЕНИЕ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

¹Бурдышева О.В., ¹Шолгин Е.С., ²Костина К.А., ²Баяндин Д.В., ¹Ременникова М.В.

¹Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения
Российской академии наук, лаборатория агробиофотоники, Пермь,
e-mail: burdyshevaolga@gmail.com;

²ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
Пермь, e-mail: baya260861@yandex.ru

Применение наукоемких технологий способствует существенному повышению эффективности сельскохозяйственного производства. Одним из перспективных направлений исследований является предпосевная обработка семян электромагнитным излучением, относящимся к различным частям спектра. В соответствии с представленными в научных публикациях данными инфракрасное и ультрафиолетовое излучение способствуют повышению всхожести семян и интенсивности развития растений, увеличению урожайности и сопротивляемости неблагоприятным воздействиям различной природы, оказывают благотворное влияние на биохимический состав плодов и их устойчивость при хранении. Встречаются противоречия между результатами различных исследований, в связи с чем проблема заслуживает дальнейшего изучения. Настоящая работа посвящена изучению влияния инфракрасного излучения иттербиевого лазера на морфологические признаки прорастания семенного материала сельскохозяйственных культур. Предложены и рассчитаны три оптические схемы экспериментальной установки. Две из них реализованы и использованы для достижения целей исследования. Исследовано влияние лазерного излучения с длиной волны 1080 нм на всхожесть семян восьми видов и влагопоглощение шести видов растений. Рассмотрены варианты различной продолжительности обработки и различной мощности излучения. Полученные данные не позволяют сделать однозначных выводов о влиянии инфракрасной лазерной обработки семян на их прорастание. С увеличением продолжительности облучения прослеживается слабая тенденция к ухудшению результатов по прорастанию. На влагопоглощение такая обработка влияет в целом положительно, но очень слабо. Увеличение продолжительности и мощности облучения приводит к снижению влагопоглощения.

Ключевые слова: прорастание семян, влагопоглощение семян, когерентное излучение, иттербиевый лазер

EFFECT OF YTTERBIUM LASER RADIATION ON GERMINATION AND MOISTURE ABSORPTION OF SEED MATERIAL OF AGRICULTURAL CROPS

¹Burdysheva O.V., ¹Sholgin E.S., ²Kostina K.A., ²Bayandin D.V., ¹Remennikova M.V.

¹Perm Federal Research Center of Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
Laboratory of Agrobiophotonics, Perm, e-mail: burdyshevaolga@gmail.com;

²Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: baya260861@yandex.ru

The use of science-intensive technologies contributes to a significant increase in the efficiency of agricultural production. The pre-sowing treatment of seeds with electromagnetic radiation belonging to different parts of the spectrum is one of the promising areas of research. In accordance with the data presented in scientific publications, infrared and ultraviolet radiation contribute to an increase in seed germination, intensity of plant development, yield and resistance to adverse effects of various nature. It also has a beneficial effect on the biochemical composition of fruits and their storage stability. There are some contradictions between the results of various studies, this is why the problem deserves further research. This work examines the effect of infrared radiation of a ytterbium laser on the morphological signs of the germination of seed material of agricultural crops. Three optical schemes of the experimental setup are suggested and calculated. Two of them have been implemented and used to achieve the objectives of the study. The influence of laser radiation with a wavelength of 1080 nanometers on the germination of seeds of eight plant species and the moisture absorption of six species was studied. Different treatment duration and different radiation power were considered. The data obtained do not allow to draw unambiguous conclusions about the effect of infrared laser treatment on seeds germination. An increase in the irradiation duration tends to worsen the germination result. Generally, such treatment positively affects moisture absorption, however, very weakly. An increase in the duration and power of irradiation leads to a decrease in moisture absorption.

Keywords: seed germination, seed moisture absorption, coherent radiation, ytterbium laser

За последнее столетие в мире произошли радикальные сдвиги в решении проблемы повышения эффективности сельского хозяйства и обеспечения населения продуктами питания. Интенсивная научная и технологическая деятельность в решении широкого комплекса задач велась по самым

различным направлениям. Одно из таких направлений связано с изучением биологического действия на растения, их семена и плоды электромагнитных полей и излучения оптического диапазона [1, 2]; появились работы, посвященные исследованию соответствующих физико-химических ме-

ханизмов [3, 4]. В частности, значительные ожидания связаны с эффектом от обработки посадочного материала сельскохозяйственных культур лазерным излучением с длиной волны из инфракрасной (например, [5–7]) и ультрафиолетовой (например, [8, 9]) частей спектра.

Результаты анализа многочисленных работ, посвященных влиянию облучения на всхожесть семян, как правило, говорят, что соответствующая обработка дает положительные результаты. Например, в работе [6] для ИК-сушки использовались различные излучатели: «ELSER» с длиной волны 3,3 мкм, лампы «КГТ» – 1,45 мкм и «OSRAM» – 1,1 мкм. Наибольший стимулирующий эффект наблюдался у ламп OSRAM с излучением в ближней инфракрасной (ИК) области спектра. Представленные данные показали, что всхожесть семян, высушенных ИК-способом, для семян овощных культур в зависимости от типа излучателя увеличивается в среднем на 11–24%. В другой работе, посвященной изучению влияния ИК-излучения [7], сообщается, что обработка дражированных семян лазерным излучением низкой интенсивности положительно влияет на урожай сахарной свеклы. Облученные семена опережают контрольные во всходах, прирост содержания сахара составляет более 15%.

Исследования влияния ультрафиолетового (УФ) облучения на зерна пшеницы в работе [8] проводились со светом ртутно-кварцевой лампы. Эксперименты показали, что ультрафиолетовое излучение стимулирует всхожесть и ускоряет развитие проростков пшеницы. При малых дозах облучения влияние ультрафиолета проявляется в повышении вегетативной массы и длины зеленых проростков. Указывается, что УФ-облучение зерен пшеницы повышает содержание в них антиоксидантов. С другой стороны, в работе [9] делается вывод, что облучение семян пшеницы ультрафиолетом в течение 5 и 30 мин незначительно меняет всхожесть и энергию прорастания – на 1–3%. Таким образом, в известных нам данных обнаруживаются противоречия, так что вопрос влияния лазерного излучения на развитие семян сельскохозяйственных культур нельзя считать в полной мере изученным.

Цель исследования состояла в том, чтобы определить, как облучение в инфракрасной части спектра, проведенное в ходе предпосевной обработки семенного материала, влияет на его прорастание и влагопоглощение.

Материалы и методы исследования

Эксперименты проводились на базе лаборатории агробиофотоники Пермского федерального исследовательского центра (ПФИЦ) УрО РАН. Семенной материал для исследований был предоставлен лабораторией агротехнологий Пермского научно-исследовательского института сельского хозяйства (НИИ СХ) ПФИЦ УрО РАН.

Методика проведения эксперимента, соответствующая ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести», была разработана совместно с сотрудниками Пермского НИИ СХ.

В качестве источника когерентного излучения использовался иттербиевый лазер с длиной волны 1080 нм с возможностью регулирования его выходной оптической мощности. Экспериментальная установка состояла из лазера с блоком питания; персонального компьютера, с которого при помощи специализированного программного обеспечения задавались параметры излучения, генерируемого лазером. Это излучение рассеивалось с торца пигтейла, закрепленного на держателе таким образом, чтобы обеспечивалось полное покрытие световым потоком кюветы, в которой размещался облучаемый семенной материал. Мощность лазера и расстояние от торца пигтейла до кюветы использовались в расчете площади модового пятна на облучаемой поверхности и плотности мощности излучения.

По всей площади кюветы следовало создать одинаковую освещенность. С этой целью были предложены и рассчитаны три оптические схемы: а) с непосредственным облучением кюветы с торца пигтейла (числовая апертура 0,22, половинный угол расходимости 12,7°); б) с отраженным от зеркала также расходящимся пучком; в) с использованием системы линз, дающих параллельный пучок. Реализованы были две первые схемы; в соответствии с расчетами степень неоднородности освещенности для лучшей из этих двух схем не превышала 5%; в схеме, которую пока не удалось реализовать, эта величина должна была снизиться до менее чем 1%.

Так как спектральный состав излучения влияет на развитие семян и растений, был определен спектр используемого лазера. Оказалось, что он излучает в узком интервале длин волн вблизи 1080 нм; полуширина пика по точкам половинной мощности составляла около 6 нм.

Известно, что на прорастание семенного материала влияет большое количество факторов окружающей среды, таких как температура, освещенность, влажность и т.д. Вариации этих параметров зашумляют результаты экспериментов, поэтому методически правильно проводить облучение сопоставляемых образцов семенного материала в течение одного дня.

В ходе подготовки кювет для семян их оборачивали слоем фольги для предупреждения паразитной засветки. Следуя методике [4], в кювету укладывали сложенную в три слоя марлю, которая после смачивания формировала питательную среду для семян. В каждую кювету укладывали 100 семян одной из исследуемых культур, располагая их равномерно, без наложений друг на друга, с тем, чтобы семена получали одинаковую дозу облучения.

Во всех экспериментах сравнивали результаты для четырех групп кювет – облучавшихся 1, 3 и 5 мин, а также контрольных, не подвергавшихся облучению.

Для исследования влияния лазерного излучения на всхожесть семян были взяты восемь различных сельскохозяйственных культур: 1 – ячмень Родник Прикамья некондиционный, 2 – голозерный овес Першерон, 3 – пшеница, 4 – овес Стайлер, 5 – клевер Луговой Лобановский, 6 – лен Масличный уральский, 7 – горчица, 8 – ячмень Родник Прикамья кондиционный. Для набора статистики и получения значения отклонения проводилось пять серий экспериментов; в рамках каждой серии использовали по четыре кюветы для каждого из восьми видов семян. Ниже представлены результаты, усредненные по всем сериям.

Исследование проводили с использованием Уб-лазера при освещенности 113,23 и 509,55 Вт/м². После облучения содержимое кювет поливали водой из расчета 10 мл на 100 семян. Подсчет количества проросших семян проводился спустя 24, 48 и 72 ч после облучения. По результатам подсчетов определяли долю проросших семян от их общего количества, строили диаграммы, отражающие зависимость доли проросших семян от длительности облучения в абсолютных значениях и в процентном соотношении с контрольной группой.

Для исследования влияния лазерного излучения на влагопоглощение семян было отобрано шесть видов сельскохозяйственных культур: 1 – ячмень Родник Прикамья некондиционный, 2 – ячмень Родник Прикамья кондиционный, 3 – голозерный овес

Першерон, 4 – пшеница, 5 – овес Стайлер, 6 – горох. Как и при исследовании прорастания семян, в каждой из пяти серий экспериментов использовали по четыре кюветы; в них укладывали по 10 г зерен для каждого вида растений. Продолжительность лазерной обработки сохраняли ту же: 1, 3 и 5 мин.

Семена в каждой кювете предварительно взвешивали; взвешивание проводили согласно ГОСТ 11913-66 «Зерновые культуры. Норма точности взвешивания». После облучения семенной материал поливали из расчета 20 мл воды на 10 г. Контроль влагопоглощения проводили путем взвешивания семян, высушенных бумажными салфетками, спустя 2 и 24 ч после облучения. Для визуализации результатов строили диаграммы, отражающие зависимости от продолжительности облучения для разницы относительного прироста массы в экспериментальных и контрольных образцах.

Результаты исследования и их обсуждение

Прорастание. Результаты исследования влияния лазерного облучения на всхожесть семенного материала оценивали, сравнивая количество проросших зерен в образцах, подверженных облучению, и в контрольных образцах. Усредненные по пяти сериям экспериментов результаты через 72 ч после облучения при плотности мощности 113,23 Вт/м² и 509,55 Вт/м² представлены на рис. 1 и 2. Для разницы между долями проросших семян в экспериментальных и контрольных группах можно проследить зависимость от продолжительности облучения.

Приведенные данные показывают, что инфракрасное лазерное излучение по-разному влияет на прорастание семенного материала в зависимости от культуры.

Вне зависимости от мощности излучения наибольший прирост проросших семян показал голозерный овес Першерон; лазерная обработка в течение 1 мин способствовала увеличению прорастания на 11% по сравнению с контрольной группой. Наиболее сильное негативное влияние наблюдалось для семян ячменя Родник Прикамья (уменьшение прорастания до 19%).

Для остальных культур эффект не вполне отчетливый, но в целом прослеживается тенденция к ухудшению результата с увеличением продолжительности облучения. С учетом того, что разброс результатов в контрольной группе составлял 5–7%, говорить об определенном влиянии ИК излучения на прорастание семян нет оснований.

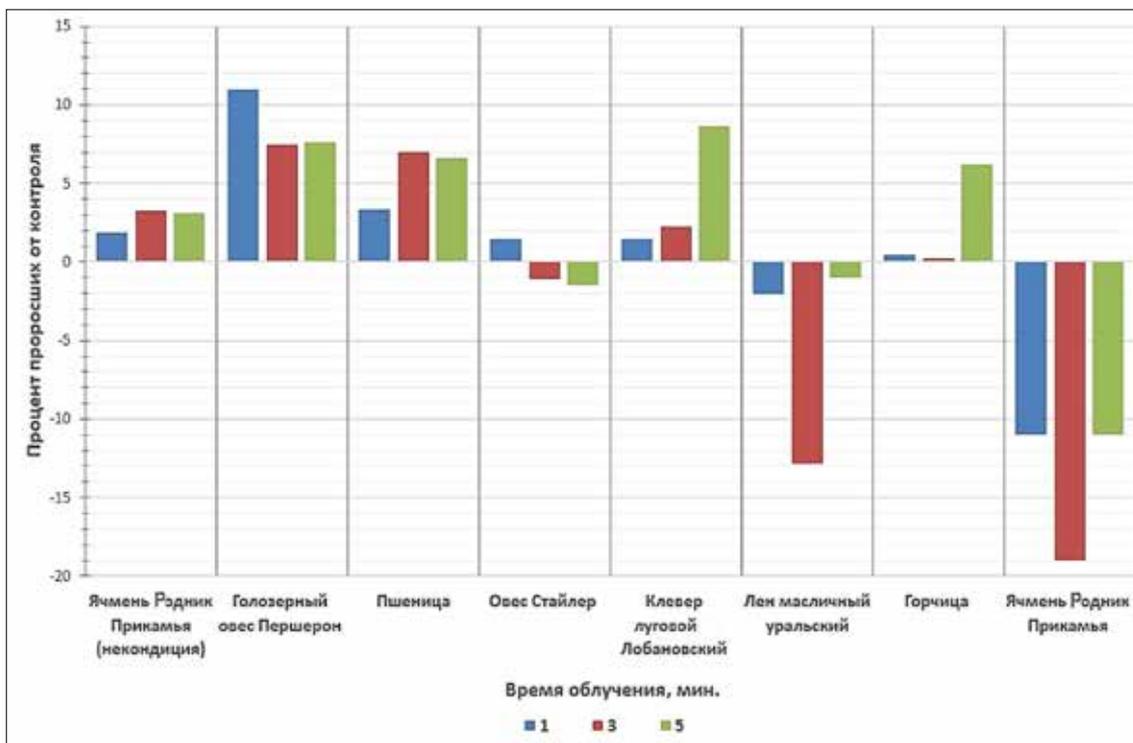


Рис. 1. Разница доли проросших семян в экспериментальных и контрольной группах: зависимость от продолжительности облучения; плотность мощности 113,23 Вт/м²

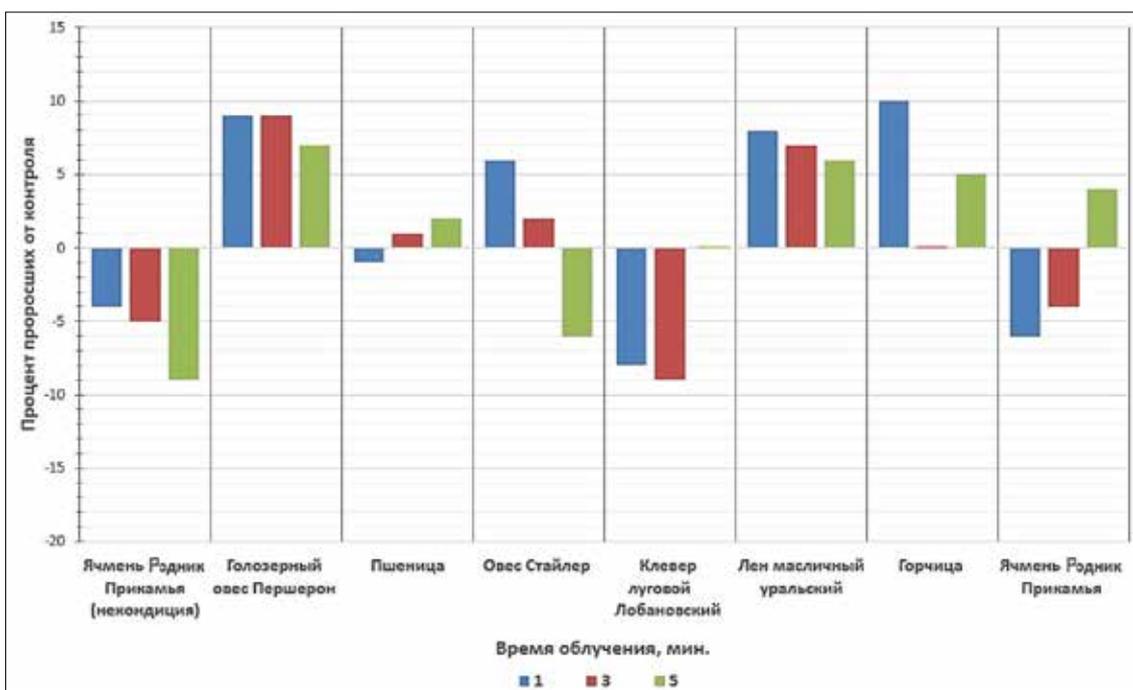


Рис. 2. Разница доли проросших семян в экспериментальных и контрольной группах: зависимость от продолжительности облучения; плотность мощности 509,55 Вт/м²

Влагопоглощение. Анализируя данные по приросту массы образцов, можно сделать вывод, что все виды семян впитывают вла-

гу в количестве примерно половины своей массы, за исключением ячменя Родник Прикамья и пшеницы. Горох впитывает практи-

чески 100% от своей массы. Схожие результаты получены при плотности мощности облучения 96,25 Вт/м² и 509,55 Вт/м². Поэтому можно предположить, что мощность облучения влияет на результат несущественно. Более того, сравнение экспериментальных и контрольных групп не обнаруживает систематических изменений.

В целом оказалось, что за первые два часа после облучения и замачивания семена увеличивают свою массу приблизительно на 12–23%, за сутки они впитывают немногим большее количество влаги. Таким образом, за первые часы семена поглощают основную часть воды, а в дальнейшем «добирают до своей нормы».

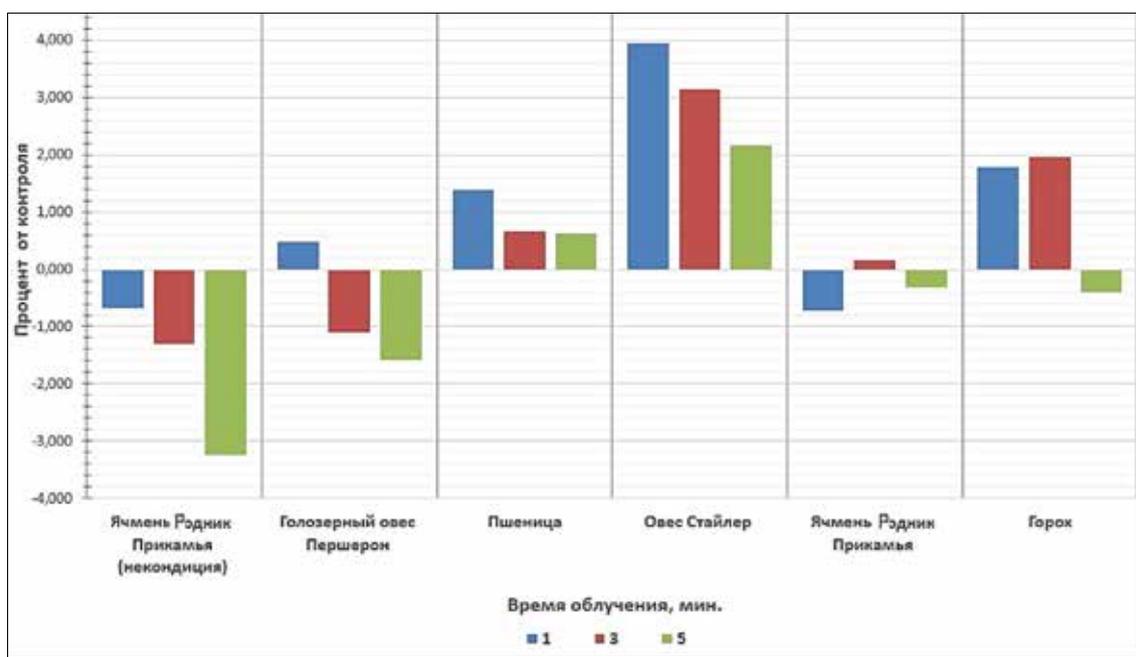


Рис. 3. Разница относительного прироста массы облученных семян (в %) по сравнению с образцами контрольной группы через 2 ч при плотности мощности 96,25 Вт/м²

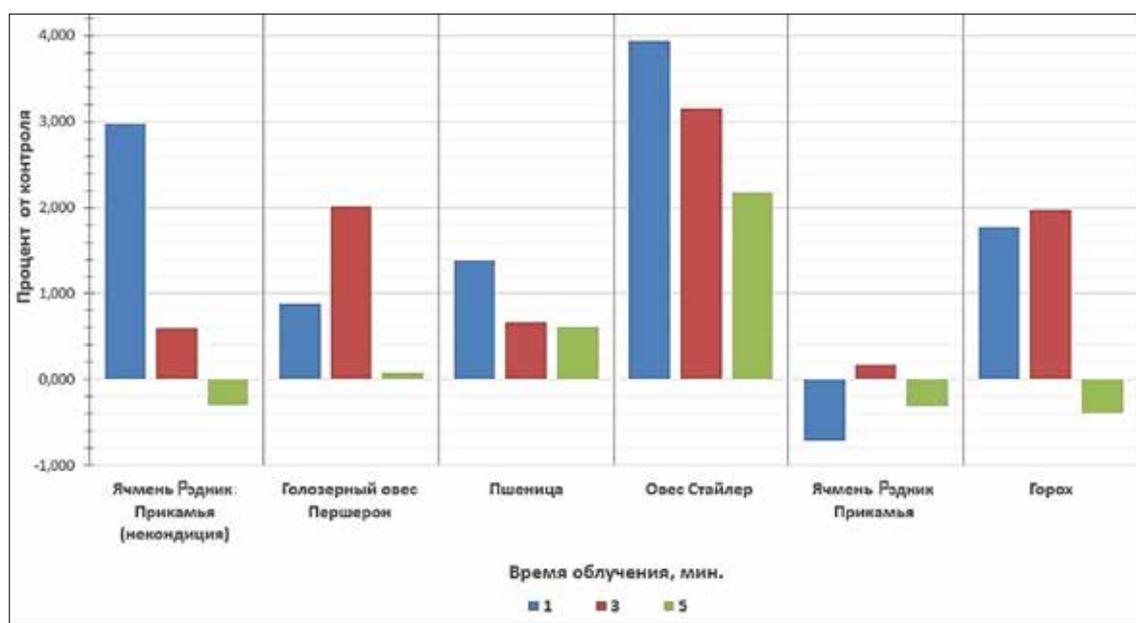


Рис. 4. Разница относительного прироста массы облученных семян (в %) по сравнению с образцами контрольной группы через 24 ч при плотности мощности 96,25 Вт/м²

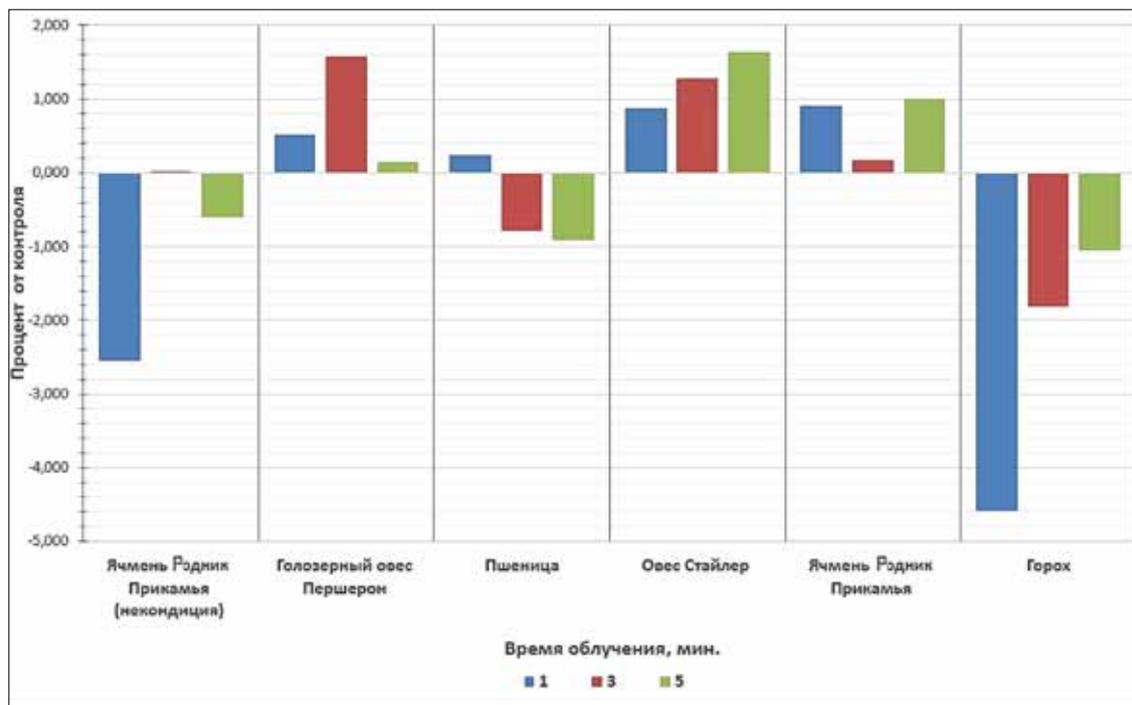


Рис. 5. Разница относительного прироста массы облученных семян (в %) по сравнению с образцами контрольной группы через 24 ч при плотности мощности 509,55 Вт/м²

Теперь сравним влагопоглощение в экспериментальных и контрольных группах образцов. Влияние лазерного облучения оценивали, сравнивая массу зерен в кюветках, подвергавшихся и не подвергавшихся обработке.

Результаты при плотности мощности 96,25 Вт/м², усредненные по пяти сериям экспериментов, представлены на рис. 3 и 4. На диаграммах представлена разница между относительным увеличением массы семян в экспериментальных и контрольных группах в зависимости от продолжительности облучения и времени замачивания в воде.

Практически по всем позициям (видам растений и продолжительности облучения), кроме ячменя Родник Прикамья, наблюдается усиление влагопоглощения при замерах через 24 ч, несмотря на некоторое снижение этого показателя по сравнению с контрольными группами при замерах через 2 ч. При этом увеличение экспозиции в большинстве случаев приводит к ухудшению результатов.

При увеличении мощности излучения до 509,55 Вт/м² происходило уменьшение влагопоглощения, что видно из сравнения данных на рис. 4 и 5.

Во всех случаях изменение обсуждаемого показателя составляло, как правило,

2–3%, что сопоставимо с оценками экспериментальной погрешности.

Заключение

Полученные данные не позволяют сделать однозначных выводов о влиянии ИК-лазерной обработки семян на их прорастание. С увеличением продолжительности облучения прослеживается слабая тенденция к ухудшению результата.

На влагопоглощение такая обработка влияет в целом положительно, но очень слабо. Увеличение продолжительности и мощности облучения дает ухудшение результатов.

Следует, однако, отметить, что в описанных экспериментах не выполнялось строгое термостатирование образцов и что речь идет о длине волны излучения 1080 нм.

Дальнейшие эксперименты планируется посвятить изучению других эффектов от обработки семян лазерным излучением: его возможности обеззараживания зерновых культур от фитопатогенных грибов, влиянию на биохимический состав проростков и на урожайность.

Работа выполнена в рамках государственного задания, номер государственной регистрации НИОКТР 122031100058-3.

Список литературы

1. Зубова Р.А., Бастрон А.В., Кожухов В.А. Обоснование режимов предпосевной обработки семян с твердой оболочкой ультразвуком и электромагнитным полем сверхвысокой частоты. Красноярск, 2018. 140 с.
2. Газалов В.С., Пономарёва Н.Е., Беленов В.Н. Оптическая система предпосевной обработки семян // Вестник аграрной науки Дона. 2018. С. 21–30.
3. Долговых О.Г., Красильников В.В., Газдинов Р.Р. Оптимизация лазерной предпосевной обработки семян зерновых культур. Ижевск, 2014. 122 с.
4. Будаговский А.В. Дистанционное межклеточное взаимодействие. М.: НИИПЦ «Техника», 2004. 104 с.
5. Гаджимусиева Н.Т., Асварова Т.А., Абдулаева А.С. Эффект воздействия инфракрасного и лазерного излучения на всхожесть семян пшеницы // Фундаментальные исследования. 2014. № 11. С. 1939–1943.
6. Григорьев И.В. Импульсная инфракрасная сушка семян овощных культур, нетрадиционных и редких растений: дис. ... канд. электротехн. наук: 05.20.02. Москва, 2010. 222 с.
7. Брижанский Л.В. Обоснование параметров стратификации дражированных семян сахарной свеклы низкоинтенсивным лазерным излучением: дис. ... канд. электротехн. наук: 05.20.02. Мичуринск, 2015. 261 с.
8. Рогожин Ю.В., Рогожин В.В. Технология предпосевного УФ-облучения зерен пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 6. С. 9–14.
9. Тертышева Ю.В., Левина Н.С., Елизарова О.В. Воздействие ультрафиолетового излучения на всхожесть и ростовые процессы семян пшеницы // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 2. С. 31–36.

УДК 630*568

ЦИКЛЫ РАЗВИТИЯ И ВОЗРАСТА РУБОК ПИХТОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В СРЕДНЕ-СИБИРСКОМ ПОДТАЕЖНО-ЛЕСОСТЕПНОМ РАЙОНЕ

Вайс А.А., Калачев В.А.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологии
имени академика М.Ф. Решетнева», Красноярск, e-mail: kalacheff.vladis@yandex.ru*

В соответствии с целью исследования определены циклы развития пихтовых насаждений в преобладающих группах типов леса, расположенных в Средне-Сибирском подтаежно-лесостепном районе (лесостепная и подтаежная территории), а также установлены возрасты выборочных рубок. Циклические периоды развития модальных пихтачей устанавливались графическим методом путем анализа возрастных трендов изменения таксационных показателей насаждений. Цикличность развития древостоев более выражена в разнотравной группе типов леса независимо от района произрастания. При этом в лесостепной зоне (Канское лесничество) циклы имеют более выраженный характер в сравнении с таежной зоной (Емельяновское лесничество). Максимальная сумма площадей поперечного сечения формировалась независимо от типа леса и района примерно 70–80 лет. Восстановление пихтовых разнотравных насаждений в Емельяновском лесничестве имеет слабовыраженный характер и происходит каждые 50 лет, в пихтачах мшистых – 60 лет с учетом общей продолжительности до 130 лет. Пихтачи разнотравного типа леса в Канском лесничестве характеризуются циклами в 65 лет, в пихтачах зеленомошных наблюдалась слабовыраженная цикличность 55 лет. Возраст максимального накопления таксационных показателей и циклы развития пихтачей не превысили рекомендуемый возраст рубок для подтаежно-лесостепного района Средней Сибири. Следует не согласиться с мнением исследователей, которые считают возможным существенно снизить возраст рубок в сравнении с действующими нормативами. Цикличность развития пихтачей обусловлена степенью нарушенности этих насаждений (в результате рубок, воздействия патогенов). В защитных, слаборазрушенных древостоях независимо от типа леса циклы носят невыраженный характер, а развитие продолжается длительный период – до 140 лет.

Ключевые слова: пихта сибирская, цикл развития, лесничество, корреляционная связь, таксационные показатели, запас, возраст рубки

CYCLES OF DEVELOPMENT AND AGE OF FELLING FIR PLANTATIONS IN THE MIDDLE SIBERIAN SUBTAIGA-FOREST-STEPPE REGION

Vais A.A., Kalachev V.A.

*Siberian state university of science and technologies of M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk,
e-mail: kalacheff.vladis@yandex.ru*

In accordance with the purpose of the study, the cycles of development of fir plantations in the predominant groups of forest types located in the Middle Siberian subtaiga-forest-steppe region (forest-steppe and subtaiga territories) were determined, and the ages of selective logging were also established. Cyclic periods of development of modal firs were established graphically by analyzing the age trends of changes in the taxation indicators of plantings. The cyclical development of stands is more pronounced in a diverse group of forest types, regardless of the area of growth. At the same time, in the forest-steppe zone (Kansk forestry), cycles have a more pronounced character in comparison with the taiga zone (Yemelyanov forestry). The maximum sum of cross-sectional areas was formed regardless of the type of forest and area in 70-80 years. Restoration of mixed-grass fir plantations in the Yemelyanovsky forestry has a weak character and occurs every 50 years, in mossy firs – 60 years, taking into account its total duration of up to 130 years. Firs of the mixed-grass type of forest in the Kansk forestry are characterized by cycles of 65 years, in the green-moss firs there was a weakly expressed cyclicity of 55 years. The age of maximum accumulation of taxation indicators, and the cycles of development of fir trees did not exceed the recommended age of logging for the subtaiga-forest-steppe region of Central Siberia. It is necessary to disagree with the opinion of researchers who consider it possible to significantly reduce the age of logging in comparison with the current standards. The cyclical development of fir trees is due to the degree of disturbance of these plantings (logging, pathogenic). In protective, weakly intact stands, regardless of the type of forest, cycles are unexpressed, and development lasts for a long period of up to 140 years.

Keywords: *Abies sibirica* L., development cycle, forestry, correlation, taxation indicators, stock, age of logging

В настоящее время увеличивается истощение запасов спелых и перестойных насаждений на арендных территориях государственного лесного фонда. Причиной этого является активное изъятие древесной фитомассы в процессе проведения сплошных рубок.

Крупные лесные предприятия испытывают недостаток древесных ресурсов для реализации долгосрочных инвестиционных

лесных проектов. Так, А.А. Кучмистов [1] отмечал, что на арендной базе АО «Краслесинвест», в условиях Нижнего Приангарья, при среднем обороте рубки в 100 лет ежегодный объем заготовки балансов составляет 3,5 млн м³, при этом поставлять на пилотный проект Богучанского целлюлозно-бумажного комбината балансов необходимо в объеме 3,6 млн м³. Автор предлагает недостающий объем восполнять

с соседних арендных территорий. Такой экстенсивный путь рано или поздно приведет к дисбалансу системы лесопользования.

В последнее время появляются публикации, авторы которых предлагают снизить возраст рубок, тем самым обеспечив предприятие сырьем на долгосрочный период. Сотрудники межрегиональной общественной организации «Северная природоохранная коалиция» получили прогнозирующие сценарии использования лесов по двум крупным целлюлозно-бумажным комбинатам на период 100 лет. Авторы установили, что снижение возраста рубки от действующих нормативов в 2 раза (хвойные 41–51 год, лиственные 21–31 год) приводит к увеличению потребляемого объема в 1,3–1,7 раза, что сможет обеспечить предприятие на расчетный период 100 лет. С учетом предлагаемой методики лесопользование территории лесного фонда приведет к образованию на них от 69% до 100% площадей молодого поколения [2, 3].

Классическое лесоводственное представление о развитии насаждений заключается в их стадийной динамике. Известный исследователь – таксатор сибирских лесов Эдуард Николаевич Фалалеев [4] для пихтовых насаждений выделил 7 стадий развития: молодняка (1–40 лет), средневозрастности (41–60 лет), приспевания (61–80 лет), спелости (81–120 лет), перестойности (121–160 лет), разрушения (161–180 лет) и окончательного распада (181–200 лет). При этом разновозрастность пихтачей обуславливает сочетание стадий (приспевания, средневозрастности – разрушения, молодняка – перестойности, приспевания – окончательного распада). Также ученый отмечал, что применение сплошных и выборочных рубок нецелесообразно на стадиях средневозрастности – разрушения и приспевания – окончательного распада [4]. А.А. Калачев [5] отмечал, что восстановление коренных пихтарников после проведения сплошных рубок на территории Рудного Алтая составит до 200 лет. А.И. Кудинов [6] установил, что в условиях южного Приморья восстановление преобладания кедра и пихты в составе послерубочных насаждений над лиственными породами наступает спустя 150 лет.

Таким образом, в естественных, слабонарушенных пихтачах полный цикл развития, по данным исследователей, составляет 150–200 лет. Для эксплуатационных лесов актуальными остаются предложения о возможности снижения возраста рубок.

Цель исследования – на основании циклично-стадийного развития пихтовых насаждений определить продолжительность периодов и оптимальный возраст рубок применительно к нарушенным и слабонарушенным пихтачам в подтаежно-лесостепной зоне Средней Сибири.

Материалы и методы исследования

По мнению ряда ученых [4, 7], стадии развития (цикличности) насаждений с хозяйственной точки зрения зависят от динамики их запаса (M) по возрастным стадиям. Сумма площадей поперечного сечения (G) является показателем, который тесно связан с запасом, имеет простую методологию определения прямым измерением (полнотмер В. Битерлиха) и при определенных таксационных задачах адекватно заменяет запас [8].

Сумма площадей поперечного сечения зависит от плотности стояния деревьев и их размера, соответственно это количество деревьев (N) и их диаметры ($D_{1.3}$). Для определения запаса дополнительно необходимо учитывать высоту деревьев (H) и относительную полноту (p). Оценка связи показателей и определение циклов развития пихтовых насаждений производились графическим (визуальным) способом. Диаграммы строились по двумерному принципу $y_1, y_2 = f(x)$ (входная переменная – возраст (A); выходные переменные два таксационных показателя). Определение возрастов рубок осуществлялось по ранее составленным таблицам хода роста [9].

За основу исследования взяты таксационные характеристики пихтовых насаждений типолого-территориальной представленности. Пихтачи Канского лесничества (лесостепная территория) представлены зеленомошниковой и разнотравной группами, а пихтачи Бирюсинского участка лесничества Емельяновского лесничества (подтаежная часть территории) представлены разнотравными и мшистыми группами типов леса.

На основании таксационного описания и картографических материалов Канского лесничества установлено, что древесные насаждения в значительной степени подвергаются антропогенным воздействиям в части проведения лесозаготовительных работ, как на арендованных базах, так и в свободных от них кварталах.

Обработка данных производилась с помощью пакетов программ Microsoft Office Excel, Curve Expert 1.3, STATGRAPHICS Plus 5.0 (таблица).

Коэффициенты корреляции таксационно-морфологических показателей
 пихтовых насаждений по территориям и группам типов леса

Корреляционная связь	Коэффициент корреляции	Характеристика связи по тесноте
Средне-Сибирский подтаежно-лесостепной район		
Канское лесничество (пихтаци РТ)		
G-H	0,32	умеренная
G-D _{1,3}	0,47	умеренная
M-G	0,86	тесная
G-A	0,30	умеренная
N-H	-0,68	значительная
N-D _{1,3}	-0,72	тесная
M-N	-0,17	очень слабая
N-A	-0,58	значительная
Канское лесничество (пихтаци ЗМ)		
G-H	0,21	слабая
G-D _{1,3}	0,10	очень слабая
M-G	0,90	тесная
G-A	0,04	очень слабая
N-H	-0,15	очень слабая
N-D _{1,3}	-0,62	значительная
M-N	-0,51	значительная
N-A	-0,44	умеренная
Средне-Сибирский подтаежно-лесостепной район		
Емельяновское лесничество (пихтаци РТ)		
G-H	0,75	тесная
G-D _{1,3}	0,66	значительная
M-G	0,97	тесная
G-A	0,66	значительная
N-H	0,21	слабая
N-D _{1,3}	-0,09	очень слабая
M-N	0,52	значительная
N-A	0,05	очень слабая
Емельяновское лесничество (пихтаци МШ)		
G-H	0,85	тесная
G-D _{1,3}	0,82	тесная
M-G	0,98	тесная
G-A	0,73	тесная
N-H	-0,35	умеренная
N-D _{1,3}	-0,50	значительная
M-N	-0,10	очень слабая
N-A	-0,39	умеренная

Примечание: РТ – пихтаци разнотравные; ЗМ – пихтаци зеленомошниковые; МШ – пихтаци мшистые. Все коэффициенты корреляции значимы при уровне доверительной вероятности $p=0,954$.

Результаты исследования и их обсуждение

На предварительном этапе выполнен корреляционный анализ для выявления наиболее тесных связей между таксационными показателями пихтовых древостоев.

Определены коэффициенты корреляций показателей связей G-H, G-D_{1,3}, G-M, G-A, N-H, N-D_{1,3}, N-M, N-A. Корреляционная связь оценивалась по шкале Пирсона. Результаты корреляционного анализа представлены в таблице.

Тесная связь между суммой площадей поперечного сечения и запасом подтверждает возможность применения абсолютной полноты в определении циклов развития (таблица).

Необходимо отметить, что насаждения Канского лесничества подвергаются сильному антропогенному воздействию (высокая интенсивность рубок и значительная арендная площадь), а леса Емельяновского лесничества (Бирюсинское участковое лесничество) являются слаборазрушенными, поскольку преимущественно служат защитными (рис. 1). Теснота связей суммы площадей поперечного сечения с основными таксационными показателями выше в слаборазрушенных массивах, что указывает на их более высокую устойчивость.

На втором этапе анализировались нелинейные диаграммы связей $M, N = f(A)$, $M, G = f(A)$ (в том числе $H, N = f(A)$, $D_{1,3}, N = f(A)$, $H, G = f(A)$, $D_{1,3}, G = f(A)$). Исходные графики позволили установить максимумы и точки пересечения, а также возраст, в котором максимальное количество деревьев накапливает критический запас. Наиболее значимые диаграммы представлены на рисунке 2.

По данным анализа аппроксимирующих кривых определены возрасты максимальных точек для пихтачей сравняемых групп типов леса и территорий. Результаты приведены на рисунке 3. В целом можно отметить, что в слаборазрушенных насаждениях подтаежной зоны процесс развития протекает медленнее в сравнении с лесостепным районом. Зеленомошниковая (мшистая) группа типов леса характеризуется более длинным циклом развития в сравнении с разнотравной группой.

На завершающем этапе в рамках поставленной цели построены плоскостные диаграммы связи $G = f(A)$. Для выявления циклов использовались полиномиальные модели различной степени. Флуктуация точек и регрессионные кривые позволили определить циклические периоды развития пихтовых древостоев (рис. 4). Цикличность развития пихтовых насаждений более выражена в разнотравной группе типов леса независимо от района произрастания. При этом в лесостепной зоне (Канское лесничество) циклы имеют более выраженный характер в сравнении с таежной зоной (Емельяновское лесничество).

Восстановление пихтовых разнотравных насаждений в Емельяновском лесничестве происходит каждые 50 лет. Цикличность пихтачей мшистых слабовыражена и составляет 60 лет с учетом ее общей продолжительности до 130 лет. Пихтачи разнотравного типа леса в Канском лесничестве характеризуются циклами в 65 лет. В пихтачах зеленомошниковых наблюдалась слабо выраженная цикличность 55 лет.

Максимальная сумма площадей поперечного сечения формировалась независимо от типа леса и района в 70–80 лет.



Канское лесничество

Емельяновское лесничество

Рис. 1. Территория исследований подтаежной и лесостепной зоны

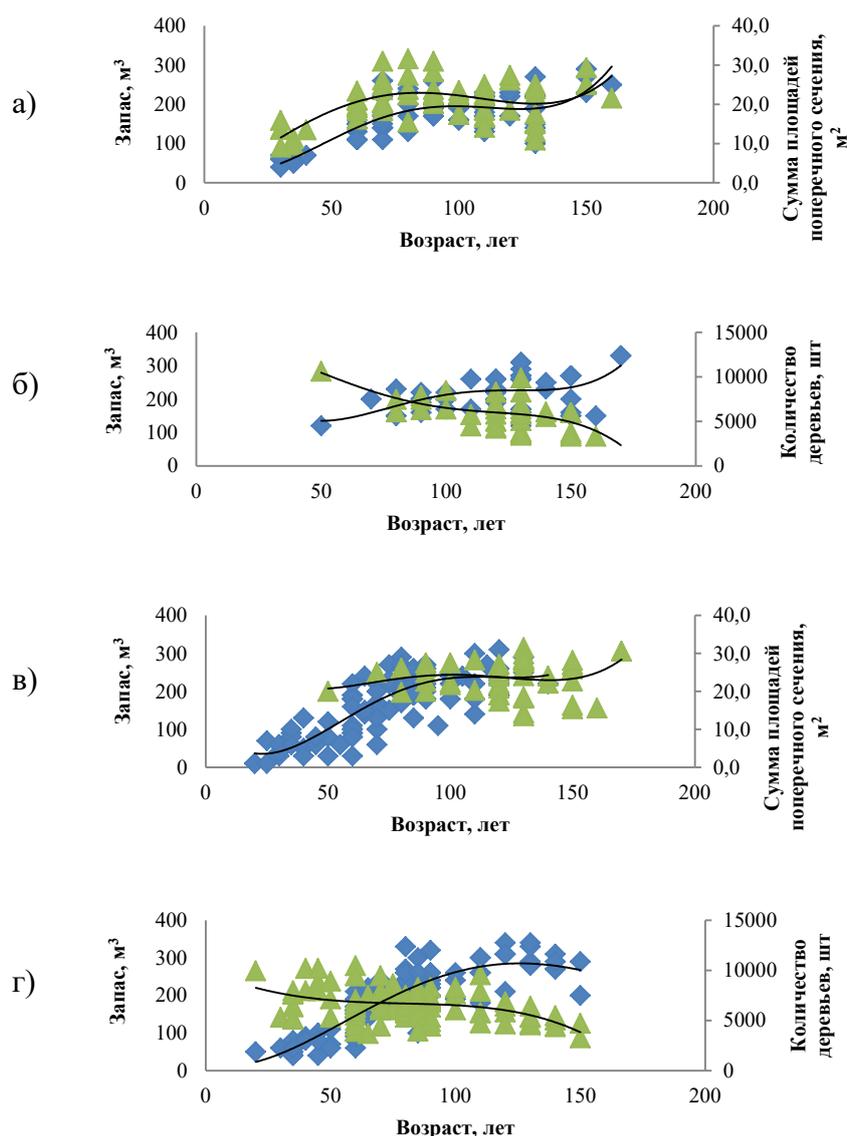


Рис. 2. Связь запаса, суммы площадей поперечного сечения и количества деревьев с возрастом:
 а) Пихтachi Канского лесничества разнотравной группы типов леса;
 б) Пихтachi Канского лесничества зеленомошниковой группы типов леса;
 в) Пихтachi Емельяновского лесничества разнотравной группы типов леса;
 г) Пихтachi Емельяновского лесничества мшистой группы типов леса

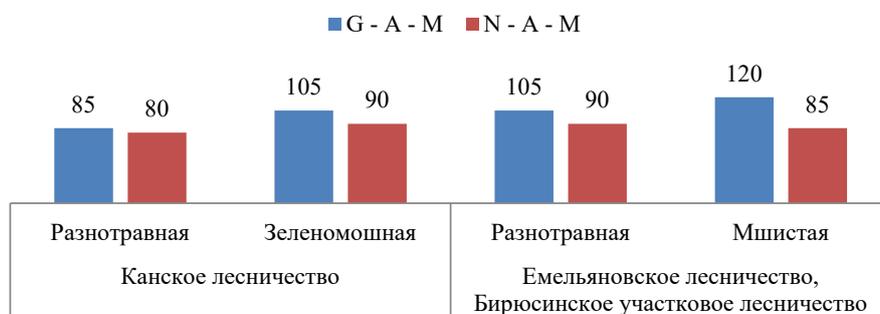


Рис. 3. Возрасты максимального накопления запаса пихтовых древостоев с учетом сумм площадей поперечного сечения и количества деревьев

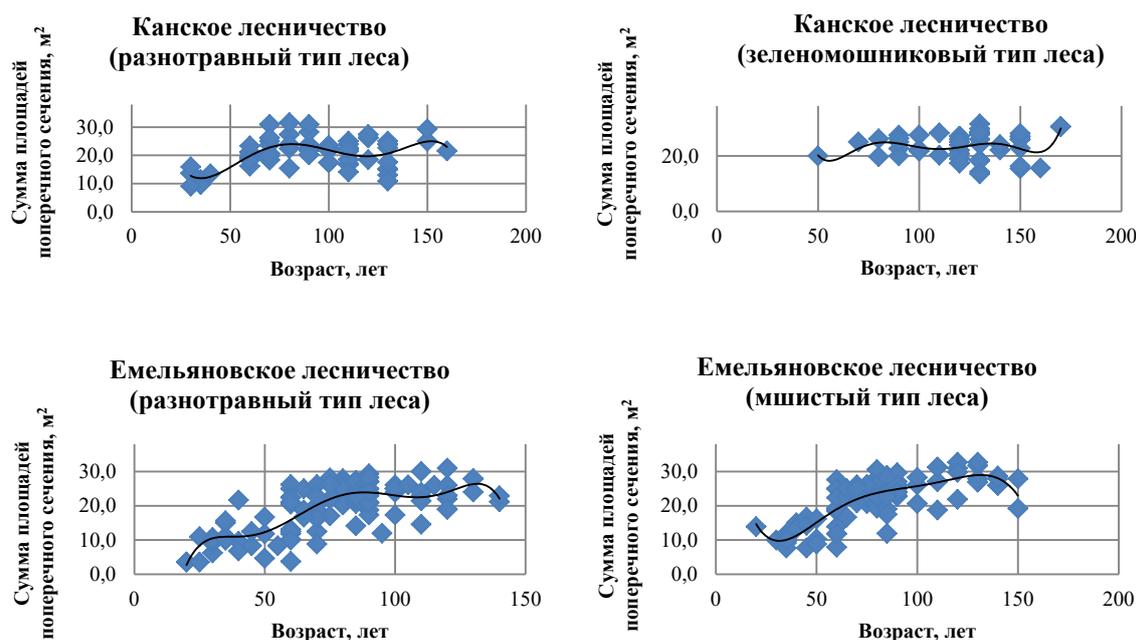


Рис. 4. Связь суммы площадей поперечного сечения с возрастом $G = f(A)$ в пихтовых древостоях на территориально-типологической основе

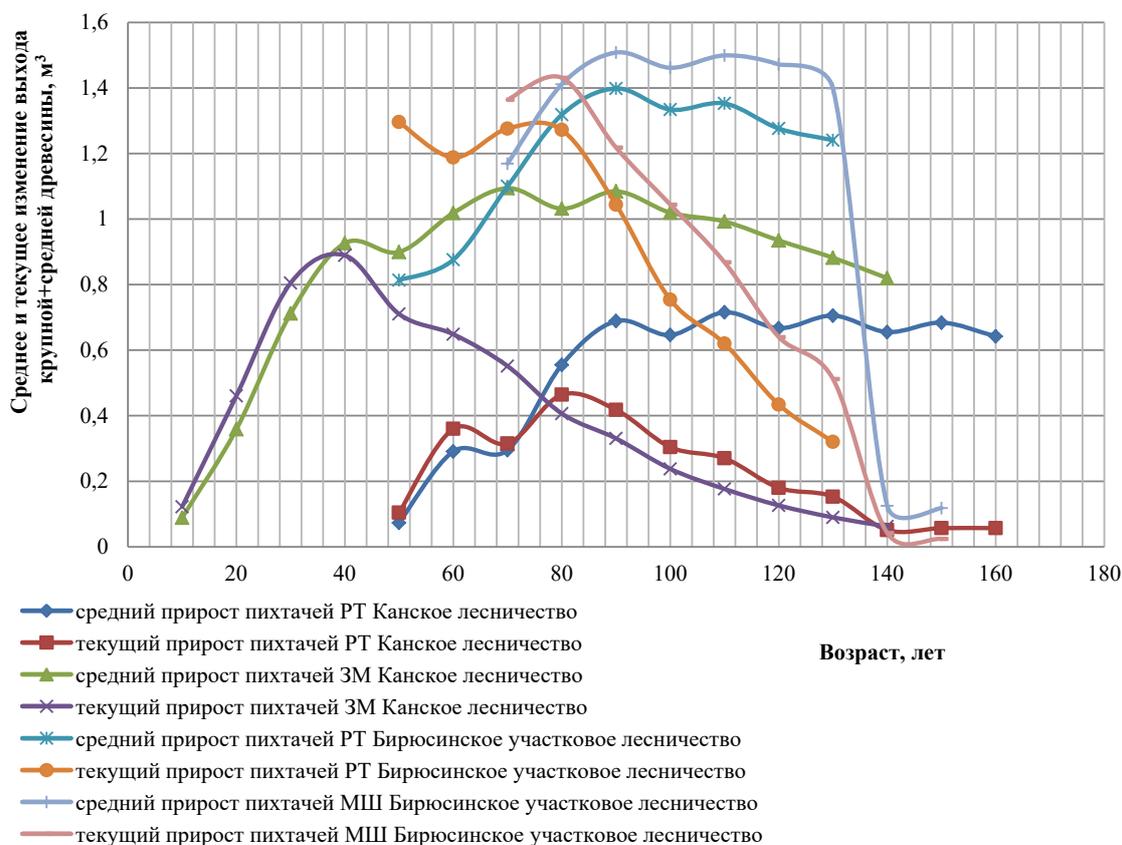


Рис. 5. Соотношение спелостей для определения возраста технической спелости пихтовых насаждений

Соотношение среднего и текущего изменения выхода деловой древесины представлено на рисунке 5. По данным предыдущих исследований [9], возраст технической спелости (ВТС) для пихтачей разнотравной группы типов леса Канского лесничества составил 70 лет, а для зеленомошниковой группы – 65 лет, в условиях Емельяновского лесничества ВТС для пихтовых насаждений разнотравной группы – 75 лет, а для мшистой группы – 80 лет.

В соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ [10] рубки в пихтовых насаждениях в исследуемых территориях проводят в защитных лесах с возраста 121–140, а в эксплуатационных – с 101–120 лет. Необходимо отметить, что и возраст максимального накопления таксационных показателей, и циклы развития пихтачей не превысили рекомендуемые возрасты рубок.

Таким образом, учитывая полученные результаты, можно констатировать, что в нарушенных насаждениях (Канское лесничество) наблюдается цикличность развития насаждений. Данный факт позволяет рекомендовать в пихтачах выборочное хозяйство. В защитных, слаборазрушенных насаждениях (Емельяновское лесничество) циклы не выражены и период развития составляет 110–130 лет в зависимости от группы типа леса.

Заключение

В результате проведенных исследований получен ряд выводов.

Корреляционный анализ показал, что пихтачи подтаежной территории характеризуются наличием более высокой степени связей основных таксационных показателей (это указывает на слабую нарушенность этих пихтачей) в сравнении с насаждениями лесостепной местности.

В слаборазрушенных насаждениях (подтаежная зона) процесс развития идет медленнее в сравнении с лесостепным районом. Зеленомошниковая (мшистая) группа типов леса характеризуется более длинным циклом развития в сравнении с разнотравной группой.

Разница составляет 20–40 лет.

Разнотравный тип леса характеризуется меньшей полнотой и более выраженной разновозрастностью, что способствует цикличности развития деревьев. Зеленомошниковая группа типов леса более устойчивая.

Период максимального накопления таксационных показателей и циклы развития пихтачей не превысили рекомендуемые возрасты рубок для подтаежно-лесостепного района Средней Сибири.

В нарушенных насаждениях наблюдается цикличность развития насаждений. Данный факт позволяет рекомендовать в этих пихтачах организацию выборочного хозяйства. В защитных, слаборазрушенных насаждениях циклы не выражены, период развития составляет 110–130 лет в зависимости от группы типа леса.

Таким образом, следует не согласиться с мнением исследователей, которые считают возможным существенно снизить возраст рубок в сравнении с действующими нормативами. Цикличность развития пихтачей установлена, но обусловлена она степенью нарушенности насаждений (в результате рубок, воздействия патогенов), что способствует их разновозрастности. В защитных, слаборазрушенных древостоях циклы носят невыраженный характер, а развитие продолжается длительный период – до 140 лет.

Список литературы

1. Кучмистов А.А. Эколого-экономическая оценка древесных ресурсов Нижнего Приангарья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2012. 19 с.
2. Родионов А.В., Коросов А.В., Голубев В.Е., Зародов А.Ю., Марковский А.В. О возможном влиянии снижения возрастов рубок на объем неистощительного пользования лесов // Принципы экологии. 2014. № 4. С. 53–67.
3. Голубев В.Е., Зародов А.Ю., Коросов А.В., Марковский А.В., Родионов А.В. Оценка возможных объемов пользования лесом при снижении возрастов рубки // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. № 2-2 (13-2). С. 112–116.
4. Фалалеев Э.Н. Пихтовые леса Сибири и их комплексное использование. М.: Лесная промышленность, 1964. 166 с.
5. Калачев А.А. Лесоводственная эффективность сплошнолесосечных рубок в пихтовых лесах Рудного Алтая // Аграрный вестник Урала. 2014. № 4 (122). С. 60–63.
6. Кудинов А.И. Послерубочная динамика хвойно-широколиственных лесов южного Приморья // Лесоведение. 2014. Выпуск № 3. С. 39–48.
7. Верхунов П.М. Закономерности строения разновозрастных сосняков. Новосибирск: Наука, 1976. 254 с.
8. Анучин Н.П. Таксация и устройство разновозрастных лесов. М.: Лесная промышленность, 1969. 64 с.
9. 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.
10. Приказ министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации Федеральное агентство лесного хозяйства от 9 апреля 2015 г. N 105 «Об установлении возрастов рубок». [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420275076> (дата обращения: 10.10.2022).

УДК 633.15:631.559

ОЦЕНКА ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ ПО БИОХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

**Зайцев С.А., Волков Д.Д., Лёвкина А.Ю.,
Башинская О.С., Бабушкин Д.Д., Бычкова В.В.**

*ФГБНУ Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт
сорго и кукурузы «Россорго», Саратов, e-mail: zea_mays@mail.ru*

Совместно с экологическими подходами интенсификации растениеводства необходимо учитывать ресурсные и биоэнергетические аспекты селекции и возделывания кукурузы. Энергосберегающие гибриды кукурузы, обладающие устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессорам, оптимальным индексом урожая, расположением листьев, сочетающие в себе пригодность к конструированию агрофитоценозов с высокой производительностью и длительной активностью фотосинтетической поверхности, являются основой биоэнергетического направления в селекции. Проведена сравнительная оценка биоэнергетической эффективности производства зерна гибридов кукурузы, созданных в селекцентрах – участниках Координационного совета по селекции и семеноводству кукурузы и включенных в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ. Отмечены селекционные достижения, формирующие высокий выход валовой энергии с зерном: Неон 147 МВ (78,4 ГДж/га), Байкал (71,9 ГДж/га), Машук 171 МВ (73,3 ГДж/га), Машук 175 МВ (72,6 ГДж/га), Катерина СВ (70,8 ГДж/га) – и сырого протеина: Неон 147 МВ (409,5–589,7 кг/га), РНИИСК–1 (418,0–452,3 кг/га), Байкал (437,6–516,0/га), Машук 170 МВ (386,2–512,4 кг/га), Машук 175 МВ (405–485,9 кг/га). Ранжирование материала по средней урожайности зерна позволило выделить формы с наибольшей урожайностью зерна: Неон 147 МВ (4,93 т/га), РНИИСК-1 (4,29 т/га), Байкал (4,51 т/га), Машук 171 МВ (4,64 т/га), Машук 175 МВ (4,57 т/га), Катерина (4,49 т/га). Оценка гибридов по селекционному индексу позволяет выделить наиболее эффективные формы, формирующие максимальную урожайность зерна при наименьших затратах на досушку: Неон 147 МВ (2,5), РНИИСК 1 (2,4), Байкал (2,5), Машук 171 МВ (2,4).

Ключевые слова: кукуруза, гибрид, урожайность, протеин, жир, валовая энергия

EVALUATION OF CORN HYBRIDS ON BIOCHEMICAL COMPOSITION AND BIOENERGY EFFICIENCY

**Zaytsev S.A., Volkov D.D., Levkina A.Yu.,
Bashinskaya O.S., Babushkin D.D., Bychkova V.V.**

Russian Research Institute for Sorghum and Maize “Rossorgo”, Saratov, e-mail: zea_mays@mail.ru

Together with ecological approaches to the intensification of crop production, it is necessary to take into account the resource and bioenergy aspects of corn breeding and cultivation. The bioenergetic direction of breeding involves the creation of energy-saving and energy-efficient varieties and hybrids of plants suitable for the design of agrophytocoenoses with high productivity and long-term activity of the photosynthetic surface, resistant to biotic and abiotic stressors, optimal yield index, leaf arrangement. A comparative assessment of the bioenergetic efficiency of grain production of corn hybrids created in the breeding centers participating in the Coordinating Council for Breeding and Seed Production of corn and included in the State Register of Breeding Achievements approved for use in the Russian Federation was carried out. Corn hybrids with a relatively high gross energy harvest were identified: Neon 147 MV (78,4 GJ/ha), Baikal (71,9 GJ/ha), Mashuk 171 MV (73,3 GJ/ha), Mashuk 175 MV (72,6 GJ/ha), Katerina SV (70,8 GJ/ha) and crude protein: Neon 147 MV (409,5–589,7 kg/ha), RNIISK–1 (418,0–452,3 kg/ha), Baikal (437,6–516,0/ha), Mashuk 170 MV (386,2–512,4 kg/ha), Mashuk 175 MV (405,0–485,9 kg/ha). Ranking the material according to the average grain yield made it possible to identify forms with the highest grain yield: Neon 147 MV (4,93 t/ha), RNIISK-1 (4,29 t/ha), Baikal (4,51 t/ha), Mashuk 171 MV (4,64 t/ha), Mashuk 175 MV (4,57 t/ha), Katerina (4,49 t/ha). Evaluation of hybrids by the selection index makes it possible to identify the most effective forms that form the maximum grain yield at the lowest cost of drying: Neon 147 MV (2,5), RNIISK 1 (2,4), Baikal (2,5), Mashuk 171 MV (2,4).

Keywords: corn, hybrid, yield, protein, fat, gross energy

Устойчивое развитие отрасли растениеводства, кормопроизводства и животноводства – одно из направлений государственной политики для обеспечения продовольственной безопасности. Данное развитие невозможно без решения одной из важнейших задач АПК – увеличения производства кормов, улучшения их качества и энергонасыщенности [1]. Совместно с экологическими

подходами интенсификации растениеводства необходимо учитывать ресурсные и биоэнергетические аспекты селекции и возделывания кукурузы [2]. Вещество, синтезируемое растениями, находится в основании пищевой пирамиды природы и человека. При этом наибольшая продуктивность зеленой массы и зерна формируется у растений с типом фотосин-

теза С₄ (кукуруза) [3]. С учетом того, что до 70% сельскохозяйственных площадей используется для производства кормов для обеспечения требований животноводства, исключительную роль играет повышение биоэнергетической эффективности выращивания сельскохозяйственной продукции. В современных реалиях организации аграрного производства наряду с экономической оценкой уделяют большое внимание биоэнергетическим параметрам оценки эффективности возделывания полевых культур [4]. Энергосберегающие гибриды кукурузы, обладающие устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессорам, оптимальным индексом урожая, расположением листьев, сочетающие в себе пригодность к конструированию агрофитоценозов с высокой производительностью и длительной активностью фотосинтетической поверхности, являются основой биоэнергетического направления в селекции [5]. Подбор адаптированных гибридов определяется зависимостью урожайности и биохимического состава зерна кукурузы. Потенциал современных селекционных достижений может быть максимально освоен при использовании районированных гибридов, адаптированных к определенным регионам [6]. Значения показателей биоэнергетической эффективности возделывания служат критерием отбора гибридов кукурузы для использования в производстве. Количественные параметры энергетической эффективности, связанные с оценкой соотношения количества энергии, накопленной растениями, с затратами антропогенной энергии, позволяют выделить наиболее энергоресурсосберегающие варианты (сорт, гибрид) [7].

Цель работы – провести сравнительную оценку биоэнергетической эффективности производства зерна различных гибридов кукурузы в умеренно засушливых условиях Саратовской области.

Материалы и методы исследования

Эксперимент закладывался на селекционном участке ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». Климат региона характеризуется как резко континентальный. Почва опытного участка – чернозем южный малогумусный среднемощный тяжелосуглинистый. В пахотном слое содержание гумуса (по Тюрину) составляет 3,80–4,60%, общего азота – 0,17–0,22%, валового фосфора – 0,11–0,14%, калия – 1,10–1,38%. Плотность

почвы составляет 1,20–1,32 г/см³, наименьшая влагоемкость (НВ) слоя 0–30 см – 101,1 мм, слоя 0–100 см – 295,6 мм. В эксперимент включены 15 гибридов, созданных в селекцентрах – участниках Координационного совета по селекции и семеноводству кукурузы и включенных в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ. Повторность – трехкратная. Учетная площадь делянки 7,7 м²; длина делянки 5,5 м. Густота стояния растений – 45 тыс. растений/га. Агротехника в опыте – зональная, разработанная в ФГНУ РосНИИСК «Россорго». Учеты, наблюдения, математическую обработку проводили по соответствующим методикам [8–10]. Селекционный индекс определяли по методике В.С. Соченко как результат деления урожайности гибрида на уборочную влажность зерна [11]. Показатели качества зерна определяли согласно принятым методикам: сырой протеин – ГОСТ 10846-91 (прибор Kjeltec 2100); сырой жир – ГОСТ 1349615-97; сырая зола – ГОСТ 26226-95; клетчатка – ГОСТ 13946.2-91; БЭВ – расчетным способом. Выход общей валовой энергии с зерном по биохимическому составу проводили в соответствии с содержанием в 1 г питательных веществ (протеин – 23,597 кДж, жир – 39,649 кДж, клетчатка – 17,585 кДж, БЭВ – 16,957 кДж) [12].

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка гибридов по хозяйственно важным признакам позволила выявить параметры статистической обработки данных (табл. 1). Анализируя коэффициенты асимметрии и эксцесса по урожайности зерна, содержания в зерне питательных веществ, следует сделать вывод о нормальном распределении в выборке, что позволяет оптимально отобрать гибрид исходя из полученных фактических результатов. Варьирование урожайности зерна по годам наблюдалось в следующих пределах: 2017 г. – 3,08–5,38 т/га, 2018 г. – 2,40–5,33 т/га, 2019 г. – 2,32–5,66 т/га. Ранжирование материала по средней урожайности зерна позволило выделить формы с наибольшей урожайностью зерна: Неон 147 МВ (4,93 т/га), РНИИСК-1 (4,29 т/га), Байкал (4,51 т/га), Машук 171 МВ (4,64 т/га), Машук 175 МВ (4,57 т/га), Катерина (4,49 т/га). Диапазон значений уборочной влажности зерна составил: в 2017 г. – 17,1–29,1%, в 2018 г. – 13,5–16,7%, в 2019 г. – 14,5–20,2%. Отно-

сительно малое количество влаги в зерне перед уборкой (менее 19%) зафиксировано у следующих форм: Кубанский 101 СВ (18,7%), РНИИСК-1 (18,0%), Нур (17,8%), Биляр (18,9%), Байкал (18,1%), Машук 170 МВ (18,8%). Таким образом, чтобы довести зерно данных селекционных достижений до кондиционной влажности, потребуется наименьшее количество энергетических и материальных затрат.

Наряду с уровнем продуктивности в процессе селекционной работы определяется селекционный индекс [10], который рассчитывается по формуле $S_i = U/V$, где S_i – селекционный индекс, U – урожайность зерна при 14% влажности (ц/га), V – влажность зерна при уборке (%). Оценка гибридов по селекционному индексу позволяет выделить наиболее эффективные формы, формирующие максимальную урожайность зерна при наименьших затратах на досушку:

Неон 147 МВ (2,5), РНИИСК-1 (2,4), Байкал (2,5), Машук 171 МВ (2,4).

В структуре биоэнергетического направления селекции важная роль отводится определению биохимического состава семян, так как энергетическая ценность питательных веществ сильно различается. Оценка биохимического состава позволила определить степень вариации и параметры статистической обработки данных (табл. 2). Коэффициенты вариации указывают на низкое различие между гибридами по содержанию в зерне протеина, жира, золы, БЭВ. Средняя степень коэффициента вариации выявлена по содержанию клетчатки. Отмечены средние значения и диапазоны колебания показателей биохимического состава в зерне: протеин – 8,83–10,40% (9,68%), жир – 3,98–5,43% (4,70%), клетчатка – 1,75–3,04% (2,48%), зола – 1,11–1,45% (1,22%), БЭВ – 80,51–83,28% (81,92%) (рис. 1).

Таблица 1

Урожайность и уборочная влажность зерна гибридов кукурузы, среднее за 2017–2019 гг.

Гибрид	Урожайность, т/га (при 14,0% влажности)	Уборочная влажность зерна, %	Селекционный индекс
Кубанский 101 СВ	2,92	18,7	1,6
Росс 140 СВ	3,83	19,9	1,9
ЮВ 100-39	3,78	17,5	2,2
Неон 147 МВ	4,93	19,5	2,5
РНИИСК-1	4,29	18,0	2,4
Машук 150 МВ	3,21	19,2	1,7
Нур	4,03	17,8	2,3
Уральский 150	3,63	19,6	1,9
Ладожский 150 МВ	4,33	19,2	2,3
Биляр	4,23	18,9	2,2
Байкал	4,51	18,1	2,5
Машук 170 МВ	4,25	18,8	2,3
Машук 171 МВ	4,64	19,6	2,4
Машук 175 МВ	4,57	20,8	2,2
Катерина СВ	4,49	20,0	2,3
Средняя ± ошибка	4,11 ± 0,14	19,0 ± 0,24	
min-max	2,92–4,93	17,5–20,8	
Коэффициент вариации, %	13,4	4,8	
Коэффициент асимметрии ± ошибка	-0,811 ns ± 0,577	-0,015 ns ± 0,577	
Коэффициент эксцесса ± ошибка	0,260 ns ± 1,095	-0,444 ns ± 1,095	
F	2,17*	–	
НСР _{0,05}	0,90	–	

Таблица 2

Параметры статистической оценки содержания питательных веществ, среднее за 2017–2019 гг.

Параметр	Протеин	Жир	Клетчатка	Зола	БЭВ
Средняя ± ошибка	9,7	4,70	2,48	1,22	81,93
min-max	8,83–10,48	3,98–5,43	1,75–3,04	1,11–1,45	80,51–83,28
Коэффициент вариации, %	4,8	8,5	16,5	9,4	1,1
Коэффициент асимметрии ± ошибка	-0,183 ns ± 0,577	0,295 ns ± 0,577	-0,424 ns ± 0,577	0,948 ns ± 0,577	-0,112 ns ± 0,577
Коэффициент эксцесса ± ошибка	-0,664 ns ± 1,095	0,059 ns ± 1,095	-0,779 ns ± 1,095	-0,194 ns ± 1,095	-0,955 ns ± 1,095
F	2,79*	4,53*	2,61*	3,27*	1,90
НСР _{0,05}	0,84	0,56	0,76	0,19	-

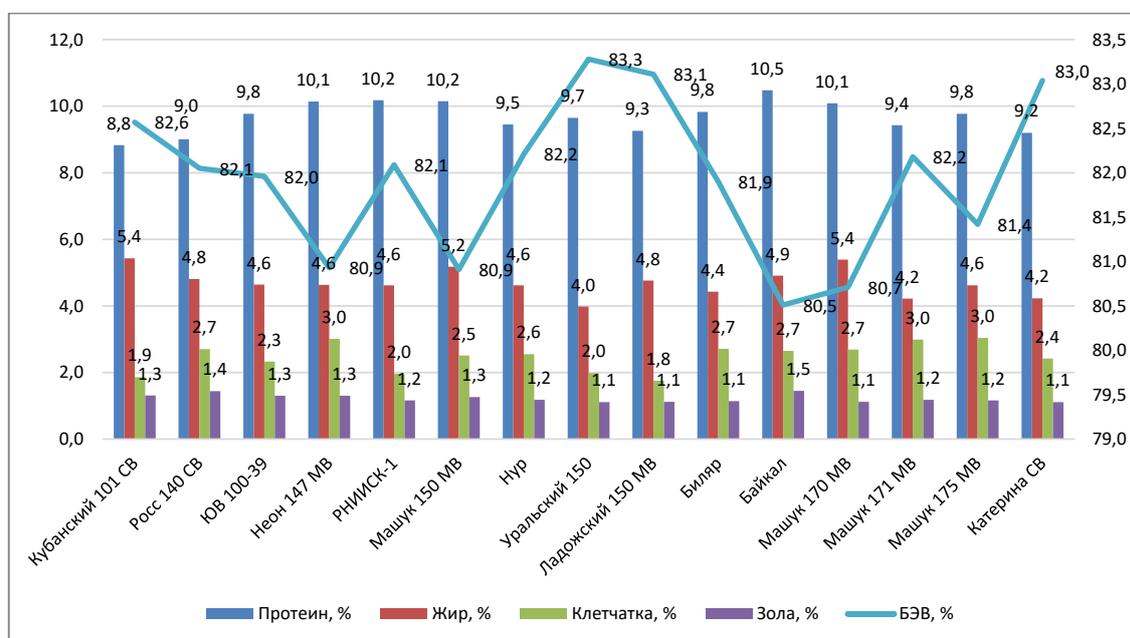


Рис. 1. Биохимический состав зерна гибридов кукурузы, среднее 2017–2019 гг.

Анализ результатов указывает на то, что основной вклад (82,0%) в урожайности питательных веществ состоит из сбора безазотисто-экстрактивных веществ (табл. 3). Роль остальных биохимических веществ в урожае зерна кукурузы в среднем составила: протеина – 9,7%, жира – 4,7%, клетчатки – 2,5%, золы – 1,2%. Параметры валового сбора питательных веществ с зерном в среднем колебались в следующих границах: протеина – 221,6–429,9 кг/га, жира – 124,2–197,3 кг/га, клетчатки – 46,7–

127,6 кг/га, золы – 32,9–56,3 кг/га, БЭВ – 2072,5–3431,4 кг/га. В 2017–2019 гг. высоким урожаем протеина характеризовались следующие гибриды: Неон 147 МВ (429,9 кг/га), РНИИСК-1 (375,6 кг/га), Байкал (406,6 кг/га), Машук 170 МВ (369,3 кг/га), Машук 175 МВ (384,0 кг/га). Лучшие параметры выхода жира сформировались у гибридов Неон 147 МВ (196,3 кг/га), Байкал (190,5 кг/га), Машук 170 МВ (197,3 кг/га), Машук 175 МВ (181,6 кг/га), РНИИСК 1 (170,5 кг/га).

Таблица 3

Выход питательных веществ с зерном гибридов кукурузы, ГДж/га

Гибрид	Урожайность а.с.в., т/га	Валовый сбор, кг/га				
		Протеин	Жир	Клетчатка	Зола	БЭВ
Кубанский 101 СВ	2,51	221,6	136,3	46,7	32,9	2072,5
Росс 140 СВ	3,30	297,3	158,7	89,1	47,5	2707,7
ЮВ 100-39	3,25	317,5	150,8	75,7	42,3	2663,7
Неон 147 МВ	4,24	429,9	196,3	127,6	55,1	3431,4
РНИИСК-1	3,69	375,6	170,5	72,3	42,8	3029,1
Машук 150 МВ	2,76	280,1	143,0	69,3	34,8	2233,1
Нур	3,46	327,0	159,9	88,2	40,8	2844,5
Уральский 150	3,12	301,1	124,2	61,8	34,6	2598,3
Ладожский 150 МВ	3,72	344,5	177,1	65,1	41,7	3091,7
Биляр	3,64	357,8	161,3	98,6	41,5	2981,2
Байкал	3,88	406,6	190,5	102,8	56,3	3123,8
Машук 170 МВ	3,66	369,3	197,3	98,5	41,0	2954,0
Машук 171 МВ	3,99	376,3	168,4	119,3	47,1	3279,0
Машук 175 МВ	3,93	384,0	181,6	119,5	45,6	3199,8
Катерина СВ	3,86	355,1	163,3	93,4	42,8	3205,3
Среднее	3,53	342,9	165,3	88,5	43,1	2894,3

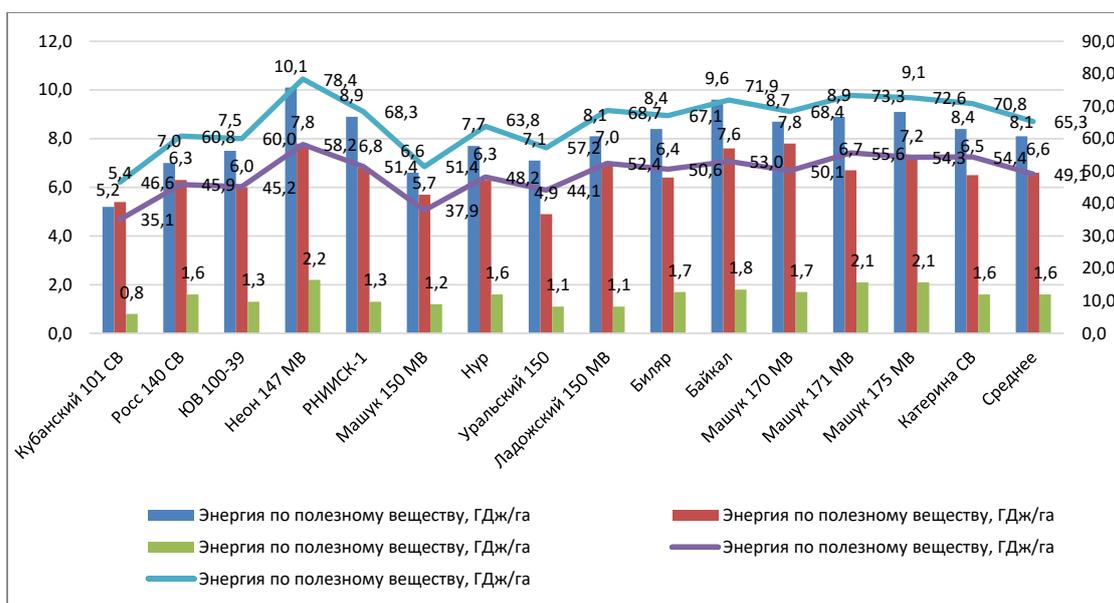


Рис. 2. Выход валовой энергии по полезному веществу гибридов кукурузы, ГДж/га

Скрининг изучаемого материала по биохимическому составу зерна позволяет исследователю определить общий выход валовой энергии с зерном (табл. 2). Выход валовой энергии (в среднем за 2017–2019 гг.) варьирует от 46,6 ГДж/га до 78,4 ГДж/га. При таком подходе, наибольшую долю в энергетической ценности занимает коли-

чество безазотистых экстрактивных веществ: 35,1–58,2 ГДж/га. Доля количества протеина составляет 5,2–10,1 ГДж/га, жира 5,4–7,8 ГДж/га, клетчатки 0,8–2,2 ГДж/га. Наибольшим выходом валовой энергии (более 70,0 ГДж/га) с урожаем зерна отличились гибрид: Неон 147 МВ, Байкал, Машук 171 МВ, Машук 175 МВ, Катерина СВ (рис. 2).

Таблица 4

Оценка энергетической эффективности производства зерна кукурузы
 в условиях Саратовской области, среднее за 2016–2019 гг.

Гибрид	Затраты совокупной энергии, ГДж/га	Коэффициент энергетической эффективности, q _i	Приращение валовой энергии, ГДж/га	Выход зерна в расчете – на 1 ГДж затрат энергии, т	Удельная энергоёмкость производства, ГДж/т
Кубанский 101 СВ	28,7	1,62	17,9	0,09	11,4
Росс 140 СВ	29,4	2,07	31,4	0,11	8,9
ЮВ 100-39	29,0	2,07	31,0	0,11	8,9
Неон 147 МВ	30,0	2,61	48,4	0,14	7,1
РНИИСК-1	29,4	2,32	38,9	0,13	8,0
Машук 150 МВ	28,9	1,78	22,5	0,10	10,5
Нур	29,2	2,18	34,6	0,12	8,4
Уральский 150	29,2	1,96	28,0	0,11	9,4
Ладожский 150 МВ	29,6	2,32	39,1	0,13	8,0
Биляр	29,5	2,27	37,6	0,12	8,1
Байкал	29,5	2,44	42,4	0,13	7,6
Машук 170 МВ	29,5	2,32	38,9	0,12	8,1
Машук 171 МВ	29,8	2,46	43,5	0,13	7,5
Машук 175 МВ	29,9	2,43	42,7	0,13	7,6
Катерина СВ	29,8	2,38	41,0	0,13	7,7
Среднее	29,4	2,22	35,9	0,12	8,5

При одинаковых способах выращивания затраты совокупной энергии на единицу площади у гибридов кукурузы колеблются в небольших пределах. Эти вариации в основном формируются разницей в энергозатратах на уборку и первичную доработку зерна, что зависит от урожайности и влажности зерна перед уборкой. Анализ параметров энергетической оценки производства зерна указывает на гибриды с лучшими оценками параметров энергетической эффективности: Неон 147 МВ (q_i = 2,61), Байкал (q_i = 2,44), Машук 171 МВ (q_i = 2,46), Машук 175 МВ (q_i = 2,43). Данные формы характеризовались и более низкими затратами энергии на производство 1 т зерна – 7,1–7,6 ГДж/т при 8,5 ГДж/т в среднем по гибридам (табл. 4). При этом коэффициент энергетической эффективности у гибридов, принятых в качестве стандартов в экологических сортоиспытаниях в селекцентрах – участниках Координационного совета оказался ниже: Росс 140 СВ (q_i = 2,07), Машук 150 МВ (q_i = 1,78), Катерина СВ (q_i = 2,38).

Заключение

Результаты эксперимента позволили выделить гибриды с максимально высо-

ким сбором валовой энергии: Неон 147 МВ (78,4 ГДж/га), Байкал (71,9 ГДж/га), Машук 171 МВ (73,3 ГДж/га), Машук 175 МВ (72,6 ГДж/га), Катерина СВ (70,8 ГДж/га) и сырого протеина: Неон 147 МВ (409,5–589,7 кг/га), РНИИСК-1 (418,0–452,3 кг/га), Байкал (437,6–516,0/га), Машук 170 МВ (386,2–512,4 кг/га), Машук 175 МВ (405–485,9 кг/га). Отмечены гибриды с максимальным выходом зерна (0,12 т) при затрате 1 ГДж энергии: Неон 147 МВ, Байкал, Машук 171 МВ, Машук 175 МВ. Повышение биоэнергетической эффективности при производстве зерна возможно при увеличении в посевных площадях доли раннеспелых форм, формирующих малое количество влаги в зерне перед уборкой, что обеспечивает сокращение материальных затрат на послеуборочную доработку продукции. Селекцию новых гибридов кукурузы следует направить на увеличение в зерне протеина, а также на снижение содержания клетчатки. Повышение урожайности и качества зерна, при одновременном снижении уборочной влажности является основой биоэнергетического направления селекции и создания энергосберегающих и энергетически эффективных сортов и гибридов кукурузы.

Список литературы

1. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. М.: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, 2020. 23 с.

2. Жученко А.А. Биологизация, экологизация, энергосбережение, экономика современных систем земледелия // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № S2. С. 9–13.

3. Жученко А.А. Эколого-генетические принципы мобилизации мировых генетических ресурсов высших растений // Образование, наука и производство. 2014. № 2 (7). С. 8–17.

4. Косолапов В.М., Чернявских В.И. Кормопроизводство: состояние, проблемы и роль ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» в их решении // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 4. С. 5–14.

5. Великанова Л.О., Сисо А.В. Биоэнергетическая оценка альтернативных технологий возделывания кукурузы на зерно и озимой пшеницы в низменно-западных агроландшафтах центральной зоны Краснодарского края // Научный журнал КубГАУ. 2013. № 87 (03). С. 528–536.

6. Зайцев С.А., Жужукин В.И., Гудова Л.А., Волков Д.П., Гусева С.А., Носко О.С. Экологический подход в адаптиро-

ванной системе селекции среднепоздних гибридов кукурузы (ФАО 300–399) в Нижнем Поволжье // Аграрный научный журнал. 2021. № 3. С. 19–24.

7. Кривошеев Г.Я., Игнатьев А.С., Шевченко Н.А. Продуктивность, кормовая ценность и биоэнергетическая эффективность возделывания гибридов кукурузы на зеленый корм и силос // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 4 (20). С. 63–69.

8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Книга по Требованию, 2013. 349 с.

9. Лакин Г.Ф. Биометрия: учебное пособие для биологических специальностей вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.

10. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1989. 194 с.

11. Сотченко В.С. Оптимизация семеноводства гибридной кукурузы с использованием селекционных индексов // Кукуруза и сорго. 2017. № 3. С. 3–9.

12. Петухова Е.А., Бессарабова Р.Ф., Халенева Л.Д., Антонова О.А. Зоотехнический анализ кормов. М.: Агропромиздат, 1989. 239 с.

УДК 631(470.620)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

^{1,2}Примаков Н.В., ¹Латифова А.С., ¹Дубровин Е.Ю.

¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», Краснодар,
e-mail: nik-primakov@yandex.ru, alatifova@yandex.ru, overwait@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»,
Краснодар, e-mail: nik-primakov@yandex.ru

На увеличение урожайности продукции растениеводства большое влияние оказывает конструкция полезащитных лесных насаждений. Цель исследования – определение состояния существующих конструкций полезащитных лесных насаждений Краснодарского края и экономической эффективности влияния защитных лесных насаждений в агроландшафте. Исследования проводились по общепринятым методикам и рекомендациям. Изучение лесных полос происходило на территории Абинского и Динского районов Краснодарского края. Объектом исследований явились полезащитные лесные полосы и поля агролесоландшафтов. Полезащитные лесные полосы района исследований создавались в 1950–1960 гг. Высота лесных полос оказывает влияние на дальность мелиоративного влияния. Распределение высот по вариантам исследований варьировало от 11,6 до 19,7 м. Экологическое состояние насаждений, оцененное по санитарной шкале, изменялось от третьей до четвертой категории. Значение состояния лесных полос оценивается как удовлетворительное, однако отмечаются участки, близкие к распаду насаждений. Установлено несоответствие конструкций лесных полос по вариантам исследований. На всех вариантах исследований отмечается изменение проектируемой ажурной конструкции на плотную. При приведении конструкций лесных полос к рекомендуемым отмечается повышение дальности мелиоративного влияния лесных полос. Более высокие показатели отмечены для Абинского района до 547,6 м. Коэффициент снижения мелиоративного влияния для всех районов исследований составил 0,44. Расчетным путем определено, что эффективность полезащитных полос при приведении их к рекомендуемой конструкции позволяет получить прибыль: по озимой пшенице 2921221 руб., яровому ячменю 2968186 руб., подсолнечнику 3331132 руб. (для среднего поля площадью 27 га). Расчеты произведены в ценах 2021 г. Владельцам лесных полос рекомендуется следить за состоянием полезащитных лесных полос и привести их конструкции к рекомендованным.

Ключевые слова: полезащитные лесные полосы, поля, конструкция лесной полосы, эффективность, влияние, урожайность, экологическое состояние

THE EFFECTIVENESS OF THE DESIGN OF PROTECTIVE FOREST PLANTATIONS OF THE KRASNODAR REGION

^{1,2}Primakov N.V., ¹Latifova A.S., ¹Dubrovin E.Yu.

¹Kuban State University, Krasnodar,

e-mail: nik-primakov@yandex.ru, alatifova@yandex.ru, overwait@mail.ru;

²Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar,

e-mail: nik-primakov@yandex.ru

The increase in crop yields is greatly influenced by the design of protective forest plantations. The purpose of the research is to determine the state of the existing structures of protective forest plantations of the Krasnodar Territory and the economic efficiency of the influence of protective forest plantations in the agricultural landscape. The studies were conducted according to generally accepted methods and recommendations. The study of forest strips took place on the territory of the Abinsky and Dinsky districts of the Krasnodarsky Krai. The object of research were protective forest strips and fields of agroforest landscapes. The protective forest strips of the research area were created in 1950-1960. The height of the forest strips affects the range of reclamation influence. The distribution of heights according to the study variants varied from 11.6 to 19.7 m. The ecological condition of the plantings, assessed on a sanitary scale, varied from the third to the fourth category. The value of the state of forest strips is assessed as satisfactory, however, areas close to the decay of plantings are noted. The discrepancy between the designs of forest strips according to the research options has been established. In all variants of the studies, a change in the projected openwork structure to a dense one is noted. When bringing the structures of forest strips to the recommended ones, an increase in the range of the reclamation effect of forest strips is noted. Higher indicators were noted for the Abinsky district up to 547.6 m. The coefficient of reduction of the reclamation effect for all research areas was 0.44. By calculation, it was determined that the effectiveness of protective strips when bringing them to the recommended design allows you to make a profit: for winter wheat 2921221 rubles, spring barley 2968186, sunflower 3331132 rubles. (for an average field of 27 hectares). The calculations were made in the prices of 2021. Owners of forest strips are recommended to monitor the condition of protective forest strips and bring their designs to the recommended ones.

Keywords: protective forest strips, fields, forest strip construction, efficiency, impact, yield, ecological condition

В последнее время в мире наблюдается увеличение стоимости продукции растениеводства [1]. По данным ООН за 2021 г. в мире голодает более 811 млн чел. Уменьшение количества голодающих может быть достигнуто путем снижения себестоимости

единицы продукции, что, в свою очередь, возможно в результате развития системы комплексных мероприятий, важным звеном которых являются агролесомелиоративные.

Обеспечение продовольственной, экономической и национальной безопасности Российской Федерации в целом в значительной мере зависит от состояния земель сельскохозяйственного назначения и их способности к воспроизводству почвенного плодородия. Анализ природных условий юга России (климата, рельефа, почвенного покрова), технологий возделывания сельскохозяйственных культур показал, что рельеф и почвенные характеристики края способствуют проявлению на его территории дефляции, эрозии, оползней, засоления, селей, переувлажнения, затопления и заболачивания.

Краснодарский край занимает лидирующее место среди аграрных регионов России. Площадь земель сельскохозяйственного назначения составляет 4692,9 тыс. га (62,16% от общей площади земель края). Регион характеризуется благоприятными агроклиматическими условиями для ведения сельского хозяйства. Преобладающие почвы – черноземы обыкновенные слабогумусные сверхмощные и черноземы типичные малогумусные сверхмощные. В результате интенсивного земледелия в почвах Краснодарского края наблюдается снижение основных элементов питания сельскохозяйственных растений. Согласно докладу «О состоянии окружающей среды Краснодарского края в 2020 году» в почвах края складывается отрицательный баланс элементов питания. Для сохранения плодородия почвы и повышения урожайности сельскохозяйственных культур необходимо возвращать в почву не менее 80% азота, 100–110% фосфора и 70–80% калия, взятых из нее. Кроме этого, в некоторых районах края отмечается развитие неблагоприятных деградационных процессов: эрозия, дефляция, засоление почв и др. Факт деградации земель в Краснодарском крае подтверждается тем, что из общей площади сельскохозяйственных угодий 62% повреждено различными деградационными процессами. На долю водной эрозии в средней и сильной степени ее проявления приходится 549,9 тыс. га.

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур при помощи системы полезащитных лесных полос отмечается в работе ряда исследователей [2, 3 и др.].

В трудах [4, 5 и др.] особое внимание уделяется влиянию на урожайность конструкций полезащитных лесных насаждений. В связи с чем целью наших исследований является определение состояния существующих конструкций полезащитных лесных насаждений Краснодарского края и экономической эффективности влияния защитных лесных насаждений в агроландшафте.

Материалы и методы исследования

В защитных лесных полосах закладывали временные пробные площади, ориентируясь на методику, изложенную в стандарте ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки». Форма пробных площадок прямоугольная. Методом сплошного перече́та определяли количество стволов, происхождение главных и встречающихся древесных и кустарниковых пород, вид лесополос и их состав. Исследовали расположение лесных полос, определяли породный состав, возраст, диаметр ствола на высоте 1,3 м и высоту насаждений лесной полосы. В процессе изучения устанавливали схему смешения, количество рядов, расстояние между рядами и посадочными местами в ряду, длину и ширину полезащитных насаждений. Плотность конструкций защитных лесных насаждений оценивали в облиственном состоянии фотооптическим методом. Прибавку урожая по сельскохозяйственным растениеводческим культурам на площади мелиоративного влияния 1 га лесных полос принимали по нормативу [6].

Исследования проводились на территории Абинского и Динского районов Краснодарского края. Объектом исследований явились полезащитные лесные полосы и поля. Объекты исследования Динского района представлены на рис. 1. Объекты находились в агролесоландшафтах Учхоза КУБГАУ, координаты 45,079542 с.ш. и 38,8883442 в.д. В лесных полосах основная № 1 и вспомогательная № 2. Древесный состав лесной полосы представлен чистым насаждением *Quercus robur* L.

В Абинском районе были выбраны три полезащитные лесные полосы. Первая лесная полоса (№ 1) расположена с северо-восточной стороны от поселка Ахтырского, имеет географические координаты: N44°52'09"; E38°21'15". Лесная полоса четырехрядная (рис. 2), главной древесной породой является *Fraxinus excelsior* L., кустарник *Prunus spinosa* L.



Рис. 1. Объекты исследования Динского района



Рис. 2. Лесная полоса № 1 с главной породой ясень обыкновенный

Вторая лесная полоса (№ 2) расположена в 2 км к северо-западу от хутора Пролетарий, имеет географические координаты: N44°53'27"; E38°14'07". Лесная полоса трехрядная, основная древесная порода *Quercus robur* L. Третья лесная полоса

(№ 3) расположена на западной оконечности поселка Ахтырского, имеет географические координаты: N44°31'21"; E38°15'45". Лесная полоса четырехрядная, главной древесной породой является *Quercus robur* L., сопутствующей *Acer tataricum* L.

Результаты исследования и их обсуждение

Характеристика полезащитных лесных полос района исследований представлена в табл. 1. Изучаемые полезащитные лесные полосы создавались в 1950–1960 гг. Лесные полосы Динского и Абинского районов относятся к третьему агролесомелиоративному району по классификации, предложенной Ф.С. Барышманом. Как следует из табл. 1, главными древесными породами являются дуб черешчатый и ясень обыкновенный.

Высота лесных полос оказывает влияние на дальность мелiorативного влияния. Как следует из табл. 1, колебания высот по вариантам исследований варьировали от 11,6 до 19,7 м, с более высоким показателем в полезащитной лесной № 1 полосе с *Fraxinus excelsior* L. в Абинском районе. Колебания диаметров от 38,4 до 69,5 см, с более высокими показателями отмечены на варианте № 2 с главной породой *Quercus robur* L. того же района. На показатели роста в древесных насаждениях оказывает

влияние размещение деревьев. Лесные полосы с невысокими расстояниями характерны для Динского района с расстоянием в междурядье 5 м, в ряду 2,5 м. Для Абинского района отмечаются более высокие показатели: так, в полезащитной лесной полосе № 3 расстояние в междурядье составило 12 м, в ряду 5,0 м. С рассмотренными выше показателями насаждений связан бонитет, который на вариантах составил IV, кроме варианта № 1 в лесной полосе с главной древесной породой *Fraxinus excelsior* L., где он составил III балла. Важным показателем состояния полезащитных лесных полос является состояние отдельных древесных пород в насаждении. Их экологическое состояние, оцененное по санитарной шкале, колебалось от третьей до четвертой категории. Значение состояния лесных полос оценивается как удовлетворительное, однако отмечаются участки, близкие к распаду насаждений. Сравнение лесомелиоративных характеристик исследуемых лесных полос представлено в табл. 2.

Таблица 1

Некоторые таксационные характеристики полезащитных лесных полос

№ л/п*	Древесные породы насаждения	Высота, м	Диаметр, см	Размещение деревьев, м	Бонитет	Экологическое состояние
Динской район						
1	<i>Quercus robur</i> L.	13,6±0,7	38,6±0,9	5x2,5	IV	3
2	<i>Quercus robur</i> L.	13,8±0,8	38,4±0,6	5x3,0	IV	4
Абинский район						
1	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	19,7±0,4	37,4±1,4	7x1,0	III	3
2	<i>Quercus robur</i> L.	18,5±0,6	69,5±1,9	10x5,0	IV	4
3	<i>Quercus robur</i> L. <i>Acer tataricum</i> L.	11,6±0,7	39,3±1,1	12x5,0	IV	4

* л/п – лесная полоса.

Таблица 2

Сравнение лесомелиоративных характеристик исследуемых лесных полос

№ л/п	Конструкция лесных полос	Высота, м	Мелиоративное влияние, м		Коэффициент снижения мелиоративного влияния
			Плотная конструкция	Ажурная конструкция	
Динской район					
1	Плотная	13,6	166,4	378,1	0,44
2	Плотная	13,8	168,8	383,6	0,44
Абинский район					
1	Плотная	19,7	241,0	547,6	0,44
2	Плотная	18,5	226,3	514,3	0,44
3	Плотная	11,6	141,9	322,5	0,44
Среднее		15,44	188,88	429,22	0,44

Таблица 3

Экономическая эффективность лесных полос в районе исследований
(для среднего поля площадью 27 га)

Сельхозкультура	Урожайность, ц/га	Прибавка урожая, ц/га	Доход с продажи без прибавки, руб.	Доход с продажи с прибавкой, руб.	Затраты на уборку, руб.	Прибыль с прибавкой, руб.
Озимая пшеница	63,5	4,45	2828925	3027173	105951	2921221
Яровой ячмень	59,8	4,20	2873988	3075840	107654,4	2968186
Кукуруза	52,3	3,66	2372328	2538346	88842,1	2449504
Подсолнечник	23,9	1,67	3226500	3451950	120818,3	3331132

Из данных таблицы следует, что мелиоративный эффект лесных полос по районам исследований неодинаков. Как известно, мелиоративное влияние полезавитных лесных полос во многом определяется их конструкцией – строением их продольного профиля. Конструкция зависит от высоты, ширины, ярусности, плотности и состава древесно-кустарниковых пород насаждения, а также своевременного проведения уходовых работ за насаждением. Соответствие конструкции позволяет равномерно распределять снег, мелкозем в мелиоративной зоне агроландшафта. На всех вариантах исследований отмечается изменение проектируемой ажурной конструкции на плотную. В Динском районе насаждения из *Quercus robur* L. обеспечивают дальность мелиоративного влияния на 166,4–168,8 м. В случае приведения конструкции к ажурной (проектируемой) дальность влияния достигала 378,1–383,6 м. В Абинском районе более высокие показатели мелиоративного влияния отмечены в лесной полосе № 1, с главной древесной породой *Fraxinus excelsior* L. 241,0 и 547,6 м соответственно. Более низкие показатели отмечались в лесной полосе № 3. Коэффициент снижения мелиоративного влияния для всех районов исследований составил 0,44. Нами для определения экономической эффективности полезавитных лесных полос района исследований в зависимости от конструкции лесных полос определены показатели, представленные в табл. 3. Расчет проводился для среднего поля площадью 27 га.

Как следует из табл. 3, прибавка урожая колебалась от 1,67 до 4,45 ц/га. Более высокая прибавка отмечается для озимой пшеницы 4,45 ц/га и ярового ячменя 4,20 ц/га. Прибыль с прибавкой для данных сельскохозяйственных культур составила 2921221 и 2968186 руб. соответственно. Более высокие показатели прибыли отмечаются для подсолнечника – 3331132 руб.

Для других сельскохозяйственных культур прибыль была несколько ниже.

Заключение

Таким образом, представленные исследования свидетельствуют о более высоких таксационных показателях лесной полезавитной полосы № 1 с главной древесной породой *Fraxinus excelsior* L. Высота для данного варианта составила 19,7 м. Установлено несоответствие конструкций лесных полос по вариантам исследований. При приведении конструкций лесных полос к рекомендованным отмечается повышение дальности мелиоративного влияния лесных полос. Более высокие показатели отмечены для Абинского района – до 547,6 м. Расчетным путем установлено, что эффективность полезавитных полос при приведении их к рекомендуемой конструкции позволит получить прибыль: по озимой пшенице 2921221 руб., яровому ячменю 2968186 руб., подсолнечнику 3331132 руб. (для среднего поля площадью 27 га). Владельцам лесных полос рекомендуется следить за состоянием полезавитных лесных полос и привести конструкции к рекомендованным.

Список литературы

1. Широков Ю.А. Анализ возможностей по управлению себестоимостью продукции растениеводства // Аграрная Россия. 2020. № 2. С. 32–39.
2. Петелько А.И. Подбор ассортимента древесных пород для защитных лесных насаждений // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки: материалы V международной научно-практической конференции / научный ред. В.С. Паштетский. 2020. С. 84–86.
3. Примаков Н.В. Почвообразующее воздействие лесных насаждений степной зоны: монография. Ростов-на-Дону, 2007. 171 с.
4. Есков Д.В. Закономерности воздействия конструкций лесных полос и удобрений на микроклимат и урожайность яровой пшеницы на южном черноземе // Успехи современного естествознания. 2022. № 5. С. 12–18.
5. Felix G.F. [et al.] Enhancing agroecosystem productivity with woody perennials in semi-arid West Africa: a meta-analysis. Science of the Total Environment. 2018. Vol. 640–641. P. 89–97.
6. Трибунская В.М., Кузьмина Т.С. Нормативы прибавок урожая важнейших сельскохозяйственных культур от мелиоративного влияния полезавитных лесных полос. М., 1984. 99 с.

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 630.90

**ИСТОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ
(АЭРОКОСМИЧЕСКИХ) МЕТОДОВ
В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ РОССИИ**

Сучков Д.К.

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

В обзорной статье описывается история применения аэрокосмических технологий в лесном секторе Российской Федерации. В качестве теоретического базиса, на котором основывается представленное нами исследование, рассматривались научные разработки, сделанные как отечественными специалистами, так и учеными из зарубежных стран. Исследуемые научные труды касались таких вопросов, как сущность, закономерность функционирования и закономерность развития цифровых технологий в агролесомелиорации. В работе применялись общенаучные методы, используемые в исторической и сельскохозяйственной науках. Поиск материалов осуществлялся в базах данных eLibrary.Ru, поисковой системе «Google Академия» и портале ResearchGate. Глубина поиска составила период 1976–2022 гг. Поисковые запросы выполнялись по следующим ключевым словам на русском и английском языке: «история аэрофотосъемки и гис-технологий», «цифровые технологии в агролесомелиорации», «космоснимки»; aerial photography, satellite images, gis technologies, protective forest plantations, remote methods. Установлено, что дистанционные (аэрокосмические) методы успешно применяются в отечественном лесном хозяйстве с конца XVIII в. Рассмотрены современные методы применения пространственного анализа для рационального природопользования как инструмента поддержки принятия решений. Благодаря их использованию были реализованы инвентаризация и картографирование лесов России, комплекс мероприятий по охране лесов от пожаров, вредителей и болезней, наблюдение за лесопользованием и воспроизводством. По результатам анализа многочисленных научных работ был сделан вывод, что цифровые технологии позволяют оптимизировать процесс цифровизации сельскохозяйственной отрасли и повысить производительность труда предприятий лесного сектора экономики страны. Но требуются дальнейшие разработки с использованием геоинформационных технологий в изучении защитных лесных насаждений.

Ключевые слова: аэрофотосъемка, космоснимки, гис-технологии, защитные лесные насаждения, цифровые технологии

**HISTORY OF REMOTE (AEROSPACE) APPLICATIONS METHODS
IN RUSSIAN FORESTRY**

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 review article describes the history of the use of aerospace technologies in the forest sector of the Russian Federation. As a theoretical basis on which the research presented by us is based, scientific developments made by both domestic specialists and scientists from foreign countries were considered. The research papers concerned such issues as the nature, the regularity of functioning and the regularity of the development of digital technologies in agroforestry. The general scientific methods used in historical and agricultural sciences were used in the work. The search for materials was carried out in databases eLibrary.Ru., the Google Academy search engine, and the ResearchGate portal. The search depth was the period 1976-2022. Search queries were performed for the following keywords in Russian and English: history of aerial photography and GIS technologies, digital technologies in agroforestry, satellite images; aerial photography, satellite images, gis technologies, protective forest plantations, remote methods. It is established that remote (aerospace) methods have been successfully used in domestic forestry since the end of the 18th century. Modern methods of spatial analysis application for rational nature management as a decision support tool are considered. Thanks to their use, inventory and mapping of Russian forests, implementation of a set of measures to protect forests from fires, pests and diseases, monitoring of forest management and reproduction were implemented. According to the results of the analysis of numerous scientific papers, it was concluded that digital technologies will optimize the process of digitalization of the agricultural sector and increase the productivity of enterprises in the forestry sector of the country's economy. But further developments are required, with the use of geoinformation technologies, in the study of protective forest plantations.

Keywords: aerial photography, satellite images, gis technologies, protective forest plantations, digital technologies

Применение снимков высокого разрешения, снятых с космических аппаратов для таких целей, которые касаются исследований леса, а также оценки ЗЛН, актуализировалось в 1980-е гг.

С точки зрения В. Виноградова, в аэрокосмическом мониторинге, проводимом в отношении систем агролесомелиоративного типа, имеется несколько разделов [1]. Первым разделом выступает такой, как

осуществление фитоэкологической расшифровки снимков, сделанных из космоса (данный раздел предоставляет возможность составлять документацию, куда вносятся сведения о том, насколько конкретные почвы являются пригодными с точки зрения размещения лесов на занимаемой ими территории). Второе направление – это инвентаризация таких лесных насаждений, которые к моменту проведения космической фотосъемки существуют на конкретной территории. Третье направление – это оценивание того, насколько лесные насаждения являются эффективными с точки зрения обеспечения экологической защиты на той территории, где они располагаются.

Целью исследований являлся обзор эффективности и истории применения аэрофотосъемки в защитном лесоразведении.

Материалы и методы исследования

В процессе написания работы применялась совокупность методов и подходов: системный и комплексный метод, метод экспертных оценок, методы различного вида анализов, в том числе и статистического анализа, посредством которых было проведено исследование ряда публикаций и монографий в рамках темы настоящей статьи [2]. Поиск материалов осуществлялся в базах данных eLibrary.Ru., поисковой системы «Google Академия» и портале ResearchGate. Глубина поиска составила период 1976–2022 гг. Поисковые запросы выполнялись по следующим ключевым словам на русском и английском языке: «история аэрофотосъемки и гис-технологий», «цифровые технологии в агролесомелиорации», «космоснимки»; aerial photography, satellite images, gis technologies, protective forest plantations, remote methods.

Результаты исследования и их обсуждение

Распространена позиция, в соответствии с которой воздушная съемка начала вестись в Российской Империи еще в 1880-х гг. [3]. Так, в 1886 г. А. Кованько, который осуществил подъем на большую высоту в воздух, используя для этого аэростат, произвел на высоте 800 м относительно Санкт-Петербурга несколько перспективных фотографических снимков. Через несколько десятилетий после обозначенного события была выдвинута мысль о том, что аэроснимки могут быть применены для изучения лесного дела. Автором данной мысли

оказался русский специалист в инженерной деятельности Р. Тиле [4]. Однако до стадии практического воплощения в жизнь прокомментированная мысль была доведена только через полтора десятилетия. В 1921 г. в ходе проведения первой Лесной конференции, состоявшейся на территории г. Москвы, Г. Турский сформулировал предложение о применении аэрофотосъемки, а также об использовании материалов, накапливающихся по ее итогам, для того, чтобы проводить таксацию леса. Такие предложения были уже через год реализованы на практике благодаря усилиям, предпринятым А. Новосельским. Он произвел аэросъемку для того, чтобы осуществить лесную таксацию. По итогам проведенной работы специалист пришел к выводу, что она является в достаточной степени эффективной для дальнейшего применения [5].

Начиная с 1932 г. деятельностью, сопряженной с эксплуатацией фотосъемки, проводимой с летательных аппаратов, начали заниматься специалисты ВНИИ сельскохозяйственной авиации (данное научное учреждение располагалось на территории г. Ленинграда) [6]. А вскоре после завершения Второй мировой войны начало функционировать объединение «Ленпроект», специалисты которого стали заниматься фотографической съемкой лесов, производимой с воздушных летательных аппаратов, уже по всей территории Советского Союза [7]. Благодаря практической деятельности, выстраиваемой указанными учреждениями, начал формироваться научный базис деятельности, сопряженной с аэрофотографированием лесных территорий. Уже в первые годы такая деятельность начала проводиться по нескольким направлениям [8].

Одним из данных направлений являлось дешифрование актуального состояния лесных насаждений на основании данных, представленных на фотографических снимках, делаемых посредством перемещения летательных аппаратов в воздухе [9]. Никакой объект леса не может быть исследован исключительно на основании его вида сверху. Таким образом, всегда, когда проводится аэрофотографирование леса, полученные по его итогам данные должны быть подтверждены через проведение полевых исследований. Но тем не менее применение фотографических снимков, сделанных с летательных аппаратов, обладает неоспоримым достоинством. Выражается оно

в том, что закладывается фундамент для существенного сокращения объемов проводимой полевой деятельности. В 1923 г. таким специалистом, как А. Новосельский, были проведены первые научные опыты, касающиеся сопряженности между собой показатели древостоев и полога [10]. Таким способом к нынешнему времени удалось сформировать большое количество материала, касающегося того, как нужно рассчитывать значение таксационных величин, присутствующих у насаждений, существующих в условиях камерального характера. Одним из специалистов, проводивших систематическую работу именно для развития комментируемого направления, оказался Г. Самойлович [11]. В частности, благодаря усилиям, предпринятым именно этим специалистом, были разработаны такие способы, которые предоставляли возможность реализовывать таксационную расшифровку фотографических карточек, делаемых в отношении леса посредством летательных аппаратов. Кроме того, данный специалист считается в научной среде создателем технологии, обеспечивающей максимально рациональную организацию работ с точки зрения проведения лесной таксации [12]. Рассмотрению вопросов, сопряженных с тем, как связаны между собой дешифровочные и таксационные характеристики лесных насаждений, уделили внимание в собственных научных трудах такие специалисты, как Д. Киреев, И. Трунов, а также А. Березин [13]. Они обращали внимание в том числе на то, как сопряжены характеристики, присутствующие у древесных крон, с характеристиками, демонстрируемыми древесными стволами. По итогам проведенной ими работы были представлены доказательства того, что связи корреляционного характера, имеющиеся между характеристиками дешифровочного и таксационного характера, имеются лишь у таких древостоев, для существования которых созданы определенные физико-географические параметры. Соответственно связи, выступающие в качестве актуальных для той или иной географической территории, не могут быть применены для анализа ситуации, складывающейся в иных географических районах.

Второе направление, на котором мы акцентируем внимание в работе, – это исследование характеристик, присутствующих у лесного полога. Специалистами, которые внесли наиболее существенный вклад в изучение данного направления, стали

Г. Самойлович вместе с В. Березиным. В частности, Г. Самойлович выступает разработчиком классификационной системы, в соответствии с которой все деревья могут быть распределены по категориям в зависимости их внешнего вида [7]. Данная классификационная система применяется и современными специалистами.

Третье направление представляет собой исследование спектральных параметров, присутствующих у растений. Отметим вклад в развитие данного направления, внесенный Е. Криновым [4]. По итогам его научных разработок, предпринятых в течение 1940-х гг., было определено следующее: в зависимости от того, каким конкретным значением спектральной яркости характеризуется тот или иной объект, находящийся на Земле, он может быть причислен к одной из четырех категорий. Все эти категории разнятся друг с другом с той точки зрения, что у них имеется уникальная отражающая способность. Первая категория сформирована горными породами, а также почвами. Ко второй категории специалистом были отнесены покровы снега и растений вместе с водными поверхностями. Открытие, совершенное Е. Криновым, характеризуется как исключительно важное с тех позиций, что оно стало основой для проведения многочисленных научных разработок, касающихся того, какой отражательной особенностью описываются самые разнообразные объекты, присутствующие в природе. По итогам научных разработок, что впоследствии были осуществлены С. Беловым, Н. Хариным вместе с еще несколькими специалистами, были сформированы следующие выводы [11]. На то, какими оптическими свойствами описываются те или иные растения, воздействуют, прежде всего, их морфологические спецификации, особенности их возраста, а также специфика географического расположения.

Четвертое направление исследовательской деятельности – это нахождение повреждений, присутствующих у лесных насаждений. Как определили П. Кропов вместе с Г. Самойловичем, различные значения показателей по спектральной отражающей способности, показываемые разными участками насаждений, свидетельствуют о том, что у них могут присутствовать повреждения [14]. Касаются данные повреждения, в частности, лесного усыхания, а также поражения лесных насаждений разными организмами-вредителями.

Вследствие того что фотографическая съемка лесных насаждений, производимая посредством летательных аппаратов, с течением десятилетий стала проводиться все более часто и комплексно, создалась основа для составления карт лесов, находящихся по всей территории государства. Впрочем, уже к концу 1970-х гг. стало понятно, что методы аэрофотографирования уже не предоставляют возможности обновлять информацию о состоянии лесов с такой скоростью, с которой это требуется. Стало ясно, что решение проблемы нужно искать в принципиально иной плоскости. И это было сделано за счет широкого внедрения методов космической съемки лесных насаждений.

В ходе проведения полетов таких аппаратов, как «Восход», «Союз», а также «Восток», не были поставлены самостоятельные задачи, касающиеся проведения фотографической съемки земной поверхности. Такая задача начала ставиться только после 1969 г. [12].

Сегодня существует большое количество материалов, сформированных по итогам проведения космической съемки земных насаждений [6]. Специалистами, оказавшимися самыми успешными с точки зрения организации деятельности, посвященной использованию космической съемки в целях изучения актуального состояния окружающей среды, стали В. Кравцова, Ю. Книжников совместно с В. Николаевым.

В советском Гослесхозе ответственность за проведение деятельности, ориентированной на то, чтобы увеличивать степень распространения использования лесной техники в решении задач, касающихся проведения лесной фотосъемки, несли специалисты таких структур, как ВО «Леспроект», а также ЛенНИИЛХ. Для решения поставленных задач в 1972 г. в структуре ВО «Леспроект» были проведены организационно-штатные изменения, по итогам которых в качестве отдельного подразделения выделялась научно-исследовательская часть [8]. Первым руководителем соответствующего подразделения стал В. Сухих [11]. Специалисты, которые были включены в его штат, занялись деятельностью, сопряженной с нахождением дешифровочных свойств, присутствующих у снимков, сделанных посредством космических летательных аппаратов. По итогам проведенной ими работы было установлено, что требования, предъявляемые к материалам, получаемым по итогам проведения фотосъемок из космоса, всегда

являются разными с точки зрения их информативности. Специалистами В. Сухих и А. Исаев были составлены перечни задач, являющихся актуальными для области лесного хозяйствования (и которые могут быть эффективным образом разрешены за счет использования преимуществ, предоставляемых лесной фотосъемкой, проводимой с применением космических летательных аппаратов) [6].

Те мероприятия, которые проводятся с целью дешифровки данных, отражаемых на снимках, делаемых из космоса, в целом являются точно такими же, какие осуществляются для организации работы с аэроснимками. Те космические фотографические снимки, которые делались в первое время после внедрения данной практики, предоставляли лишь информацию обзорного характера. Степень их информативности была такой же, что у мелкомасштабных фотографических снимков, делаемых посредством летательных аппаратов.

Традиционные технологии и методы, которые применяются в такой специфической области, как инвентаризация зеленых насаждений, присутствующих в лесу, предполагают реализацию разнообразных процедур, проводимых в том числе без отрыва от земной поверхности. Данные процедуры являются длительными по времени, а также финансово затратными. Применение способов лазерной локации, предполагающих наличие интеграции с аэросъемкой цифрового типа, дает возможность сделать работы, проводимые в области инвентаризации зеленых лесных насаждений, менее трудоемкими, а также более эффективными [15].

Специалистами исследовательского учреждения ВНИАЛМИ была сформирована методика, касающаяся агролесомелиоративного картографирования территорий, применяемых в агрохозяйственных целях. Кроме того, благодаря достижениям данных специалистов удалось улучшить организацию работ, объектом которых выступали аэрокосмические сведения, полученные по итогам космической съемки агропромышленных территорий. В 1991 г. начали использоваться практически рекомендации, касающиеся применения аэрокосмического инструментария в сфере агролесомелиорации [8].

Сегодня существует несколько научных учреждений на территории Российской Федерации, которые заслужили безусловный авторитет в плане организации работ,

касающихся лесного картографирования с использованием космических фотографирующих инструментов. Находятся данные научные учреждения в Новосибирске, а также в Красноярске. Их специалисты ведут систематическую научную деятельность в данном направлении, начав осуществлять ее еще в начале 1970-х гг. [3].

Следует акцентировать внимание на том, что научные исследования, предпринятые такими специалистами, как Г. Господинов [9], Л. Богомолов [2], В. Андроников [8, 13], являются крайне значимыми с точки зрения формулирования общих методических рекомендаций, касающихся организации работ, объектом которых выступает аэрокосмическая информация.

Заключение

Таким образом, использование информационных технологий для обработки картографических и аэрокосмических данных позволяет объединить пространственный анализ, методы математического моделирования и компьютерного картографирования в единый процесс, тем самым в значительной степени повысить качество и адекватность картографической продукции.

Список литературы

1. Виноградов Б.В. Аэрокосмический мониторинг многолетнего экологического тренда // Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач. Новосибирск, 1986. С. 107-114.
2. Савин И.Ю. Аэрокосмические методы в сельском и лесном хозяйстве: компьютерный практикум. М.: Изд-во РУДН, 2015. 112 с.
3. Вагизов М.Р., Истомин Е.П., Колбина О.Н., Яготинцева Н.В., Морщихина А.Е., Конжголадзе К.В. Разработка

интеллектуальной геоинформационной системы для отрасли лесного хозяйства // Геоинформатика. 2021. № 3. С. 4-13.

4. Замолодчиков Д.Г., Суховольский В.Г., Бартаев С.А., Лукина Н.В. Вклад академика А.С. Исаева в развитие лесной науки // Лесоведение. 2019. № 5. С. 323-340.

5. Золкин А.Л., Чистяков М.С., Сучков Д.К. Влияние цифрового сегмента реиндустриализации на аграрный сектор национальной экономической системы // Управленческий учет. 2021. № 5-2. С. 326-333.

6. Кошелев А.В. Дистанционная оценка и компьютерное картографирование защитных лесных насаждений Краснодарского края (в пределах Азово-Прикубанской низменности): автореф. дис. ... канд. сельскохозяйств. наук. Волгоград, 2009. 23 с.

7. Черных А.И., Годовалов Г.А. Информационные технологии в лесном хозяйстве // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 85-89.

8. Поконов А.А. Использование современных информационных технологий в отечественной промышленности (на примере лесного комплекса Российской Федерации) // Инновации и инвестиции. 2018. № 12. С. 305-308.

9. 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. P. 042070. DOI: 10.1088/1755-1315/988/4/042070.

10. Шинкаренко С.С. Анализ динамики пастбищных ландшафтов в аридных условиях на основе нормализованного вегетационного индекса (NDVI) // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 1. С. 110-114.

11. Черных А.И., Годовалов Г.А. Информационные технологии в лесном хозяйстве // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 85-89.

12. Yang W., Kobayashi H., Suzuki R., Nasahara K.N. A Simple Method for Retrieving Understorey NDVI in Sparse Needleleaf Forests in Alaska Using MODIS BRDF Data. Remote Sensing. 2014. № 6 (12). P. 11936-11955.

13. Пилипко Е.Н. Геоинформационные системы в лесном деле: учебно-методическое пособие. Вологда: ИЦ ВГМХА, 2018. 104 с.

14. Чибисова И. С. Информационные технологии в лесном хозяйстве // Эпоха науки. 2019. № 19. С. 85-86.

15. Пахучий В.В. Ведение лесного хозяйства на базе ГИС: учебное пособие. Сыктывкар: СЛИ, 2013. 56 с.

СТАТЬИ

УДК 551.577.13

**ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИЙ ОСНОВНЫХ ИОНОВ
В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ
НА ТЕРРИТОРИИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ С 2011 ПО 2020 Г.**

^{1,2}Галушин Д.А., ²Авдеев С.М., ^{1,3}Громов С.А.

¹ФГБУ Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля,
Москва, e-mail: galushin2012@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА
имени К.А. Тимирязева», Москва, e-mail: avdeev@rgau-msha.ru;

³ФГБУН Институт географии Российской академии наук, Москва, e-mail: gromov@igras.ru

С развитием промышленности и расширением использования транспорта все более актуальными становятся вопросы о сохранении природной среды и минимизации последствий регионального влияния загрязнения атмосферы, проявляющегося в виде кислотных осадков. Ежегодно от антропогенных и естественных источников в атмосферу поступает большое количество аэрозолей и газовых примесей (в основном это соединения серы и азота), и формирующиеся из них при фотохимических реакциях кислотные выпадения наносят ущерб экосистеме водоемов, вызывают повреждения растений и лесов, закисляют почвы. Именно поэтому химический состав атмосферных осадков является важным аспектом при анализе состояния окружающей среды. В данной работе рассматривается химический состав осадков на территории Иркутской области, проводится оценка уровней концентраций за последнее десятилетие и анализируются характерные причины пространственно-временной изменчивости этих показателей. Основным ионом в атмосферных осадках Иркутской области являются сульфаты, и наибольшая их концентрация отмечается на станциях, где наблюдается локальное загрязнение. Однако в последнее время в связи с закрытием предприятий и модернизацией технологий на действующих заводах удалось снизить выбросы серы и других веществ в атмосферу, что благоприятно сказывается на окружающей среде региона. Так, на ст. Черемхово концентрация сульфатов в атмосферных осадках снизилась более чем в 3 раза. Для исследователей в области экологии и трансграничного переноса загрязняющих веществ Иркутская область представляет особый интерес, поскольку она является одним из регионов, окружающих самое большое и самое глубокое озеро в Евразии – Байкал, охрана состояния которого является целью нескольких государственных программ и федеральных проектов.

Ключевые слова: кислотные осадки, химический состав осадков, загрязнение атмосферы, сера, азот, Иркутская область

**ESTIMATION OF BASIC IONS CONCENTRATIONS
IN ATMOSPHERIC PRECIPITATION
IN THE IRKUTSK REGION FROM 2011 TO 2020**

^{1,2}Galushin D.A., ²Avdeev S.M., ^{1,3}Gromov S.A.

¹*Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Moscow,
e-mail: galushin2012@yandex.ru;*

²*Russian State Agrarian University – MTA named K.A. Timiryazev, Moscow,
e-mail: avdeev@rgau-msha.ru;*

³*Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow,
e-mail: gromov@igras.ru*

With the development of industry and wide-spread using of transport, the issues of preserving the natural environment and minimizing the regional effects of air pollution like acid precipitation are becoming more and more urging. Every year a large amount of aerosols and gaseous impurities (mainly sulfur and nitrogen compounds) are emitted into the atmosphere from anthropogenic and natural sources, and after transformation them due to photochemical reactions acid precipitation makes negative effects on the fresh water ecosystems, causes damage to plants and forests, does acidifying soils. That is why the chemical composition of atmospheric precipitation is an important factor in the analysis of the state of the environment. In this paper, the chemical composition of precipitation in the Irkutsk region is considered, as well as an assessment of concentrations over the past decade and the characteristic causes of their spatial and temporal variability are analyzed. Sulfates are the main ion in atmospheric precipitation in the Irkutsk region, and their highest concentration is observed at stations where local pollution is observed. However, recently, due to the closure of old enterprises and modernization of technologies at existing plants, it has been possible to reduce emissions of sulfur and other substances into the atmosphere, which has a positive effect on the environment quality of the region. So, at the Cheremkhovo station, the sulfate concentrations in precipitation decreased by more than 3 times. For researchers in the field of ecology and transboundary transport of pollutants, the Irkutsk region is of particular interest, since it is the one of the regions surrounding the largest and deepest lake in Eurasia, Baikal, the environmental protection of which is a goal of the several governmental programs and national projects of activities.

Keywords: acid precipitation, chemical composition of precipitation, atmospheric pollution, sulfur, nitrogen, Irkutsk region

За последние несколько десятилетий исследования проблем формирования и переноса кислотных осадков в атмосфере стали актуальными в контексте антропогенного воздействия человека на окружающую среду. Впервые на проблему образования кислотных дождей обратил внимание известный ученый Роберт Смит в 1862 г., исследуя причины и последствия «Манчестерского смога», он же ввел в научный лексикон понятие «кислотные осадки». Однако всерьез эту проблему стали рассматривать спустя 90 лет, когда страны Западной Европы, Скандинавии и США на себе ощутили неблагоприятные последствия кислотных осадков. Так, в 1952 г. в Лондоне наблюдался так называемый «Великий смог», который по официальным данным унес жизни около 4000 чел. Одна из причин – это выбросы вредных веществ в атмосферу большого количества предприятий, сконцентрированных в районах Восточной Англии, а также использование теплоэлектростанциями угля, содержащего примеси серы и металлов, как источника энергии. Именно эти два региона (северо-восток США и Западная Европа) к тому времени являлись наиболее индустриализованными. Как отдаленные последствия, в Скандинавии (Норвегия, Швеция) зафиксировано закисление вод озер и вымирание рыб, причиной которых

был определен дальний трансграничный перенос загрязняющих веществ из производственных кластеров [1].

В 1979 г. благодаря объединенным усилиями стран Европы и СССР на международном уровне было создано совещание по сотрудничеству в области охраны окружающей среды, где европейские страны, а также США и Канада подписали Конвенцию о дальнем переносе загрязняющих воздух веществ на большие расстояния. В структуре деятельности Конвенции была организована международная программа мониторинга и оценки трансграничного загрязнения атмосферы в Европе (EMEP). Аналогичная программа исследований была создана с использованием европейского опыта и в другой части материка – Сеть мониторинга кислотных выпадений в Восточной Азии (EANET). На территории России с 1970-х гг. также развивалась национальная сеть изучения химического состава атмосферных осадков (ХСО), на которой определяется содержание макроионов в атмосферных влажных выпадениях.

Целью исследования нашей работы является анализ химического макроионного состава атмосферных осадков на территории Иркутской области, а также оценка уровней концентраций за последнее десятилетие и причины их пространственно-временной изменчивости.

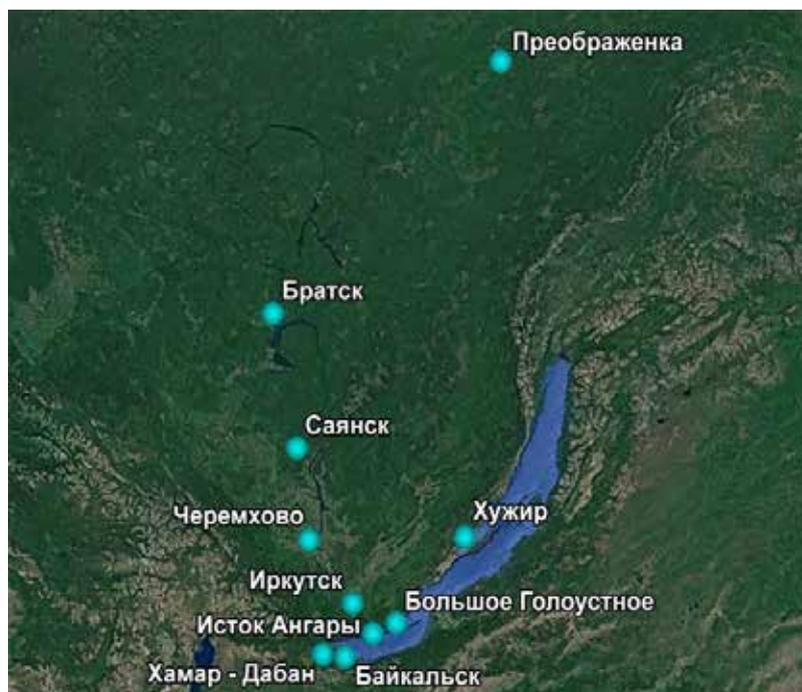


Рис. 1. Карта расположения станций химического содержания осадков Иркутского УГМС

Исследование химического состава осадков на территории Иркутской области имеет важную практическую составляющую, поскольку они участвуют в формировании состава вод, поступающих в Байкал – одно из крупнейших озер в Евразии, а также вод реки Ангара – крупнейшей водной артерии Прибайкалья, вдоль которой сформирован один из главных ареалов населения и промышленности юга Восточной Сибири.

Материалы и методы исследования

На территории Иркутской области в настоящее время действует 10 станций ХСО сети, относящихся к ФГБУ «Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (Иркутское УГМС): Большое Голоустное, Байкальск, Братск, Исток Ангары, Преображенка, Саянск, Хужир, Хамар-Дабан, Черемхово (рис. 1).

Для анализа химического состава осадков недостаточно применять только методы «мокрой химии», поэтому применяют подход с использованием комплекса современных, в том числе инструментальных, методов: спектрофотометрия, потенциометрический, электрохимический, ионная хроматография и т.д. [2, с. 481].

Исходные материалы для анализа рядов концентрации загрязняющих веществ в атмосферных осадках были взяты из открытых источников, в частности с официального сайта ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова», где публикуются ежегодные результаты мониторинга химического состава осадков [3, с. 30; 4, с. 30].

Результаты исследования и их обсуждение

В ранжированном ряду макроионов по величине содержания в химическом составе осадков региона сульфаты занимают первое место. Наименьшие концентрации SO_4 зафиксированы на ст. Хужир (1,63 мг/л), максимальные – на ст. Большое Голоустное (до 9,11 мг/л). Причинами высоких показателей содержания сульфатов можно назвать ряд факторов. В первую очередь это влияние азиатского антициклона в зимний период, при котором происходит застаивание воздуха, накопление и химическая трансформация серосодержащих газов в гидрофильные ядра конденсации. Вторым фактором можно назвать вклад выбросов промышленных предприятий в формирование химического состава осадков. Особенно ярко это выражено в зимний период, когда теплоэлектростанции в Сибири сжигают

большое количество угля для отопления жилых домов и промышленных предприятий. По совокупности этих двух причин и наблюдаются достаточно высокие показатели. Также высокие концентрации серы отмечаются на ст. Исток Ангары и Черемхово (6,96 и 7,11 мг/л). При проведении корреляционного анализа основных показателей химического состава осадков между станциями мы получили $R^2 = 0,98$, что говорит о едином источнике поступления загрязняющих веществ. Низкие показатели сульфатов на ст. Хужир и Саянск можно объяснить как удаленностью от Иркутско-Ангарского узла, который считается промышленным центром региона [5, с. 125], так и охлаждающей ролью поверхности озера Байкал, снижающей интенсивность образования осадков в районе ст. Хужир, а также орографическими препятствиями для переносов, отделяющими ст. Саянск от общего бассейна распространения осадков в регионе.

Максимальная концентрация нитратов за осредненный период наблюдения выявлена на ст. Большое Голоустное (1,80 мг/л), Исток Ангары (1,36 мг/л), Иркутск (1,32 мг/л). Причинами служат выбросы мелких локальных предприятий внутри этих пунктов, автотранспорт, поставляющие в приземный слой атмосферы легко абсорбируемые и окисляющиеся осадками оксиды азота, а также перенос с воздушными массами из промышленных комплексов Приангарья. Минимальная концентрация NO_3^- характерна для ст. Хужир и Хамар-Дабан (0,53 и 0,51 мг/л). Такие значения вполне очевидны, поэтому ст. Хужир, наряду со ст. Саянск (0,75 мг/л), относится к фоновым станциям.

По причинам воздействия промышленных предприятий Иркутска на загрязнение атмосферы и переноса воздушных масс из Приангарья, где также сосредоточено большое количество предприятий теплоэнергетики, в атмосферных осадках на ст. Байкальск и Исток Ангары отмечено максимальное количество ионов кальция (1,90 и 2,39 мг/л соответственно). Для сравнения, в атмосферных осадках, которые выпадают в районе ст. Хужир, концентрация кальция в 4–5 раз ниже, чем на рассматриваемых станциях, и составляет 0,49 мг/л (рис. 2).

На всех станциях, кроме Иркутска, pH составил больше 6,0. Повышенные значения кислотности можно объяснить тем, что места региона, где располагаются станции, относятся к зоне антропогенной нагрузки на окружающую среду (наличие автотранспорта и промышленных предприятий).

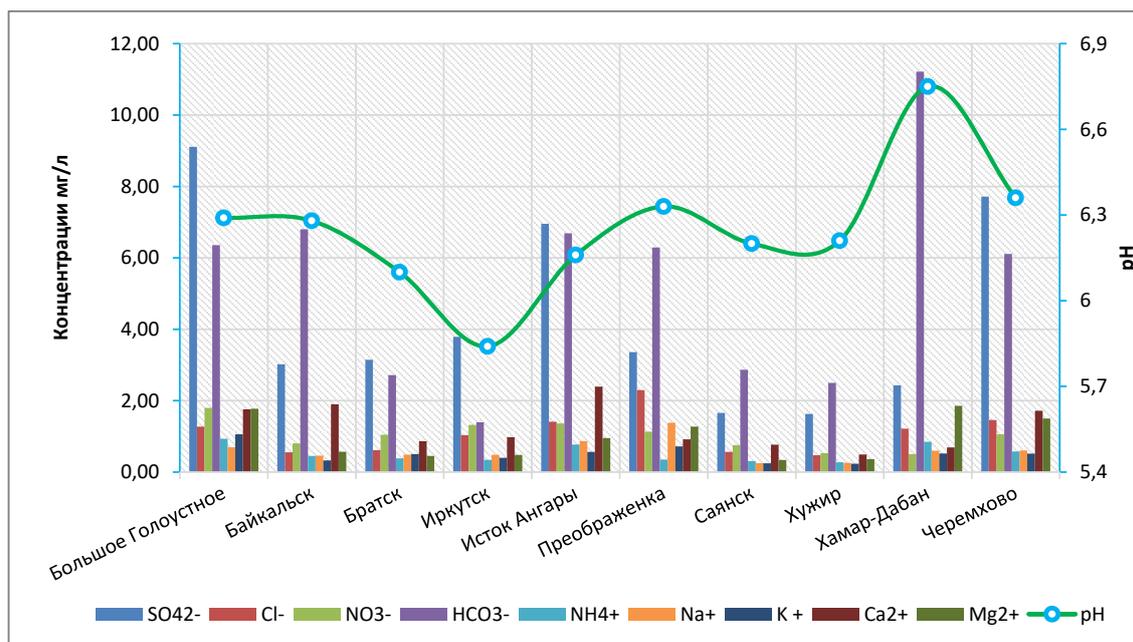


Рис. 2. Среднегодовые значения загрязняющих веществ и показателя рН

Однако на фоновой станции Хужир на острове Ольхон, где нет промышленных предприятий, значение кислотности выше, чем на ст. Иркутск, где показатель составляет 5,8. Это связано с тем, что в летний период во влажном воздухе при участии солнечной радиации и нитратов происходит фотохимическая реакция с образованием азотной кислоты, которая понижает уровень рН в осадках [5, с. 132].

Что касается гидрокарбонатов, то наибольшая концентрация их в атмосферных осадках наблюдается на ст. Хамар-Дабан – 11,22 мг/л. Это в 1,6 раз больше, чем на станциях, которые подвержены антропогенному загрязнению (Байкальск, Исток Ангары, Большое Голоустное), и в 4,5 раза больше, чем на фоновой станции Хужир (2,50 мг/л). Большое количество гидрокарбонатов в атмосферных осадках на этой станции объясняется ее расположением и характером распределения осадков: станция находится на горном хребте, и в среднем за год выпадает 1300 мм осадков [6, 7].

В рамках исследования мы построили корреляционные зависимости между показателем кислотности и содержанием основных ионов веществ, в частности гидрокарбонатов (рис. 3).

Как можем видеть из рис. 3, корреляционная связь между кислотностью осадков и содержанием гидрокарбонатов в них достаточная сильная ($R^2 = 0,767$). Рассма-

тривая сульфаты, нитраты, калий и другие вещества, можно сказать, что корреляционная зависимость будет слабой (от 0,003 для пары рН – сера до 0,53 для калия). При использовании метода корреляционных связей между основными ионами и кислотностью осадков стоит учитывать, что если исключить значения для ряда станций наблюдений, то результаты по отдельным параметрам могут сильно отличаться. Рассмотрим на примере хлора.

Если использовать все 10 станций наблюдений, то корреляция для хлора составит 0,27, а $R^2 = 0,07$, что является верным утверждением, однако, если использовать данные только 7 станций, исключив Иркутск, Исток Ангары и Преображенку, мы получим коэффициент детерминации равным 0,35, что в 5 раз больше истинного значения. При этом для гидрокарбонатов значение изменится всего на 13% и составит 0,89, что усилит корреляционную связь между гидрокарбонатами и рН. В ходе дальнейшего эксперимента мы исключили данные станции Черемхово из рассматриваемых, вместе с тремя указанными выше. Для хлора получается рост корреляционной связи с 0,35 до 0,46, по гидрокарбонатам так и остается 0,89. Это подтверждает, что метод корреляций корректно оценивает связь между гидрокарбонатами и кислотностью, однако для других ионов такой метод не является истинным для оценки [5, с. 120].

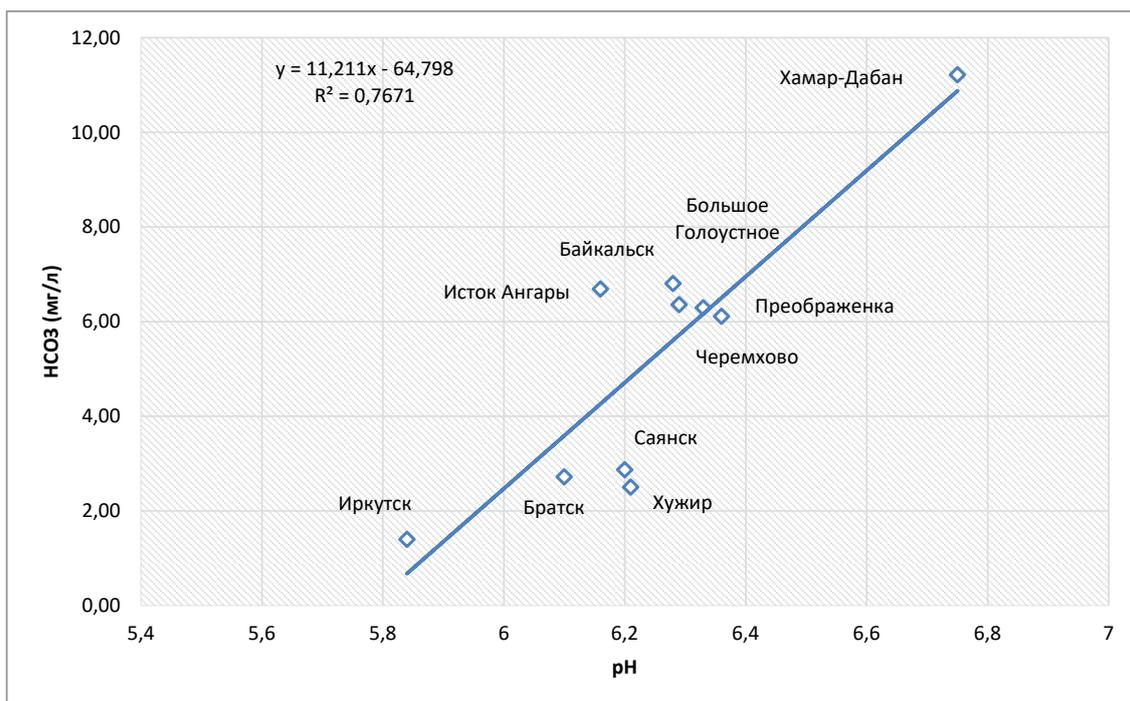


Рис. 3. Корреляционная зависимость между среднегодовыми значениями кислотности осадков и наличием гидрокарбонатов

Для станций на территории ФГБУ «Иркутское УГМС» были построены диаграммы, отражающие многолетнюю динамику средневзвешенных среднегодовых значений концентраций ионов SO_4 , NO_3 , HCO_3 в осадках, показатель pH, а также линейные тренды для сульфатов и нитратов (рис. 4).

На всех станциях региона можно увидеть тенденцию к снижению концентраций сульфатов в осадках. Наиболее сильно это прослеживается для ст. Черемхово: с 15 мг/л до 4 мг/л за исследуемый период времени. Снижение связано с переходом от использования угля к газу на теплоэлектростанциях и газификацией жилого фонда, дома которого до перехода полностью отапливались углем [5, с. 120].

Снижение концентраций сульфатов на ст. Байкальск, где уравнение линейного тренда составляет $y = -0,3985x + 5,3147$, можно объяснить тем, что местные предприятия продолжают работу по модернизации очистного оборудования путем установки современных фильтрационных устройств, а также переходят от использования угля на газ в топливно-энергетическом комплексе региона и т.д. [5, с. 120].

На всех станциях, кроме Преображенки, помимо снижения сульфатов наблюдается и снижение нитратов, но уравнения

линейного тренда показывают лишь незначительные изменения со временем. В среднем коэффициент изменения составляет $-(0,02-0,04)x$, и связано такое колебание с регионально-фоновым характером изменения нитратов в осадках. На ст. Большое Голоустное коэффициент изменения равен $-0,19x$, что является наибольшим изменением среди всех остальных станций. Причинами изменения нитратов с 3,85 мг/л в 2012 г. до 0,59 в 2020 г. служит ряд мероприятий по снижению антропогенных выбросов от предприятий и автотранспорта.

На ст. Преображенка наблюдается цикличность изменения содержания нитратов в осадках. В 2012, 2014 и 2016 гг. выявлен рост концентрации нитратов по сравнению с предыдущими годами (2011, 2013 и 2015 гг. соответственно). Но оценивая в целом, можно отметить, что в ряду значения концентраций находились на уровне 0,9–1,3 мг/л. За счет цикличности коэффициент линейного тренда демонстрирует увеличение нитратов $(0,014x)$.

Линейные тренды сульфатов и нитратов, измеренных на ст. Саянск, проходят параллельно друг другу и имеют значения в $-0,0798x$ и $-0,0205x$ соответственно. Такое распределение можно связать с изменением регионально-фоновому уровня этих веществ в атмосферных осадках [5, с. 120].

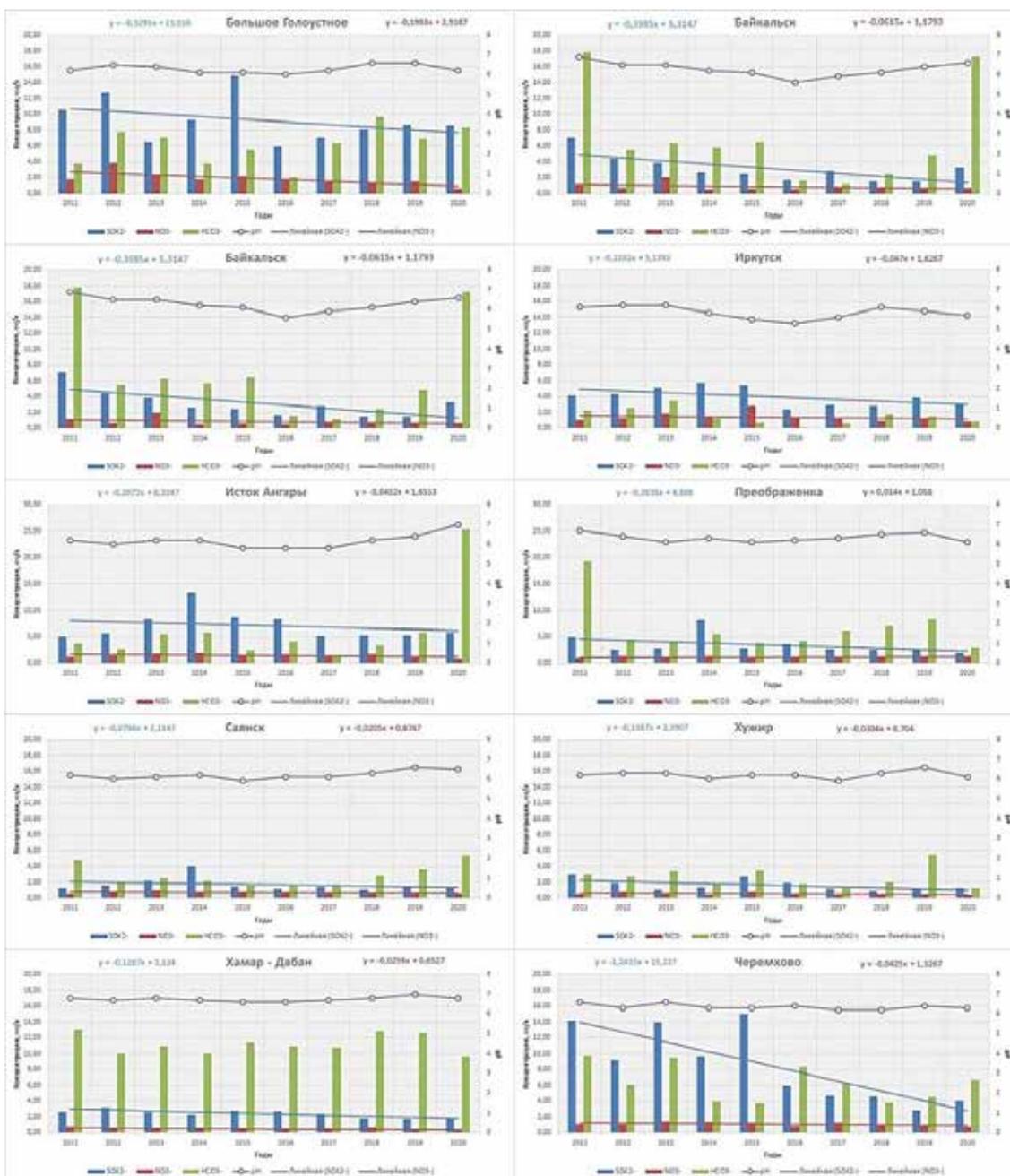


Рис. 4. Средневзвешенные годовые концентрации основных ионов загрязняющих веществ (сульфаты, нитраты и гидрокарбонаты), а также кислотность осадков на станциях Иркутского УГМС

Заключение

Сульфаты являются основным загрязняющим ионом в атмосферных осадках исследуемого региона. Максимальные значения концентраций сульфатов проявляются там, где существует локальное загрязнение (Большое Голоустное, Исток Ангары, Черемхово).

Все станции региона имеют $pH < 7$, что говорит о закислении осадков в связи

с выбросами от локальных промышленных предприятий.

Доказана эффективность использования корреляционного метода при сравнении показателя кислотности и концентраций гидрокарбонатов в осадках.

Согласно линейным уравнениям аппроксимации тренда, все станции региона имеют изменение на снижение концентра-

ций сульфатов в осадках. Наибольший темп отмечен в районе ст. Черемхово, наименьшее снижение характерно для ст. Саянск, Хамар-Дабан и Хужир. Также для ст. Саянск и Хужир характерно незначительное снижение нитратов, что связано с общим изменением регионального уровня содержания основных ионов в осадках.

Исследование выполнено в рамках темы НИОКТР АААА-А20-120013190049-4 «Развитие методов и технологий мониторинга загрязнения природной среды вследствие трансграничного переноса загрязняющих веществ (ЕЭК ООН: ЕМЕП, МСП КМ) и кислотных выпадений в Восточной Азии (ЕАНЕТ)».

Список литературы

1. Ахтиманкина А.В. Загрязнение атмосферного воздуха промышленными предприятиями г. Иркутска // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2013. Т. 6. № 1. С. 3–19.

2. Ходжер Т.В., Голобокова Л.П., Нещетаева О.Г. Результаты тестирования химических параметров искусственных стандартных образцов дождей и пресных поверхностных вод // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 17. № 5–6. С. 478–482.

3. Першина Н.А., Полищук А.И., Павлова М.Т., Семенов Е.А. Ежегодные данные по химическому составу и кислотности атмосферных осадков за 2016–2020 гг. СПб.: Амрит, 2021. 114 с.

4. Свистов П.Ф., Першина Н.А., Полищук А.И., Павлова М.Т., Семенов Е.С. Ежегодные данные по химическому составу и кислотности атмосферных осадков за 2011–2015 гг. СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016. 116 с.

5. Андреева И.С. Аэрозоли Сибири. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2006. 547 с.

6. Ващалова Т.В., Гармышев В.В. Загрязнение атмосферы Иркутской области в результате природных пожаров и оценка риска здоровью населения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 3. С. 252–262.

7. Кочугова Е.А., Николаева И.Р. Атмосферная циркуляция и ее вклад в формирование режима выпадения обильных осадков над Иркутской областью // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1–2. С. 89–92.

УДК 910.3

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В ВОДОСБОРЕ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Музыченко Т.К.

*ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток,
e-mail: muzychenko.tk@gmail.com*

В настоящей работе анализируется распределение типов землепользования в водосборе залива Петра Великого, в пределы которого также входит трансграничный бассейн р. Раздольной. Исходя из геоэкологической классификации ландшафтов В.А. Николаева, нами было выделено 10 типов земель: леса, луга, кустарники, водные объекты, застроенные земли, карьеры, используемые и неиспользуемые сельскохозяйственные поля с отдельным выделением рисовых чеков. На основе визуально-экспертного и автоматического дешифрирования спектральных снимков с космических аппаратов Sentinel-2 и Landsat 8 была составлена карта пространственного распределения типов земель в водосборе залива Петра Великого по состоянию на 2020 г. Для каждой категории земель были предоставлены картографо-статистические данные – абсолютные и относительные площади. В результате проведенного исследования выявлен ряд общих и частных тенденций в пространственном распространении типов земель в пределах водосбора. Было установлено, что большая часть изучаемой территории покрыта лесами, при этом они, как правило, располагаются в преимущественно горных внутренних районах водосбора и на водоразделах, а также в пределах особо охраняемых природных территорий I и II категории МСОП. Преобразованные человеком территории – застроенные территории и земли сельскохозяйственного назначения – чаще всего простираются в виде полос разной ширины вдоль речных долин, а также доминируют на относительно обширных равнинных участках. Выявлено четыре частных пространственных рисунка распределения типов землепользования для разных частей водосбора залива Петра Великого. Его юго-западная часть отличается низкими площадями антропогенно преобразованных земель, а также обилием лугов на прибрежных равнинах. В российской части трансграничного бассейна р. Раздольной структура землепользования имеет ярко выраженный сельскохозяйственный характер. В его китайской части совместно преобладают леса и сельскохозяйственные земли. В центральной и восточной частях водосбора залива типы земель, связанные с хозяйственным освоением, располагаются строго в долинах рек.

Ключевые слова: структура использования земель, картографирование, водосбор залива Петра Великого, данные дистанционного зондирования

SPATIAL ANALYSIS OF LAND USE OF THE PETER THE GREAT GULF BASIN

Музыченко Т.К.

*Pacific Geographical Institute Far-Eastern branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok,
e-mail: muzychenko.tk@gmail.com*

In this paper the spatial distribution of land use types of Peter the Great gulf (which includes the transboundary Razdolnaya river basin). Based on V.A. Nikolaev's geoecological landscape classification, we have defined 10 land use types: forests, meadows, shrubs, water bodies, built-up areas, quarries, used and unused arable land, used and unused paddy fields. We have created a land use map of Peter the Great Gulf basin for the year of 2020 by visually and automatically decoding the multi-spectral imagery from Sentinel-2 and Landsat 8 satellites. We have provided spatial statistics for each type of land use – absolute and relative area. As a result, we have established general and particular tendencies in how the land use types are distributed. The deciphered remote sensing data has allowed us to conclude that most of the Peter the Great Gulf basin's area is under forests, which are primarily located in the usually mountainous inland areas, on the watersheds, and within bounds of IUCN category I and II protected areas. The human impacted areas (this usually includes the built-up areas and various types of agricultural land) are often located along river valleys taking on the shape of strips, or on wide patches of flat terrain. We have established four particular spatial patterns which are prevalent in the different parts of Peter the Great gulf basin. Its southwestern part is characterized by small areas of human impacted land and a large concentration of meadows on the coastal plains. In the Russian part of Razdolnaya river basin land use structure is very diverse. The Chinese part of the transboundary basin is largely dominated by the forests and agricultural land. The defining trait of central and eastern parts is that the human impacted land is located strictly in the river valleys.

Keywords: land use and land cover, cartographic analysis, Peter the Great Gulf basin, remote sensing data

Залив Петра Великого, расположенный между устьем р. Туманной на западе и м. Поворотным на востоке, является одним из крупнейших заливов Японского моря. Его трансграничный водосбор (далее – ВЗПВ) находится на юге Приморского края Российской Федерации, на юго-востоке провинции Хэйлунцзян и северо-востоке провинции Цзилинь Китайской Народной

Республики (КНР). Водосборы рек, впадающих в залив Петра Великого, местами подвергаются значительному антропогенному воздействию, которое необходимо отслеживать и измерять не только для своевременного реагирования при ухудшении экологической обстановки, но и для разработки планов по устойчивому развитию территории.

ВЗПВ характеризуется контрастностью и разнообразием морфологических типов рельефа – среднегорное обрамление, подобно амфитеатру, переходит в прибрежные равнины, а в пределах среднего и нижнего течения р. Раздольной преобладает мелкогорный и равнинный рельеф. Климат умеренный муссонный со среднегодовым количеством осадков 800 мм, средняя температура января составляет -12°C , для июля этот показатель составляет $+20^{\circ}\text{C}$. Для рек, впадающих в залив, характерно дождевое питание [1].

В пределах водосбора преобладают бурые и подзолисто-бурые лесные почвы под хвойно-широколиственными лесами Маньчжурской флористической области. Согласно физико-географическому районированию А.Г. Исаченко, территория бассейна занята притихоокеанскими суббореальными гумидными широколиственными ландшафтами [2–4].

При анализе пространственной структуры землепользования изучаемой территории нами был использован бассейновый подход. Его основоположником считается Р. Хортон, который охарактеризовал речные бассейны как «эрозионные комплексы» [5]. В работах В.Б. Сочавы, М.И. Львовича, Н.И. Коронкевича, А.И. Субботина, И.С. Соседова, И.Н. Гарцмана, Ю.Б. Виноградова речной бассейн был представлен как геосистема [6]. Бассейн является пространственной системой суши с мощным интегрирующим фактором (таковым является водный поток) и четкими границами – водоразделами. При анализе структуры земель данный подход позволяет устанавливать эффективные пространственные формы взаимодействия между природопользователями, опираясь на специфику природно-хозяйственных условий в конкретном бассейне [6].

Бассейновый принцип широко применяется в практике изучения трансграничных территорий. Различные их части соединены энергетическими, вещественными, информационными потоками, но одновременно разделены границами государств [7–9]. Анализ пространственной структуры земель особенно важен для таких территорий, одной из которых является входящий в ВЗПВ трансграничный бассейн р. Раздольной.

Целью настоящей работы является изучение современной структуры пространственного распространения типов использования земель в пределах ВЗПВ. Решение поставленной цели направлено на отражение современных и исторических социально-

экономических особенностей территории, что важно для ее эффективного освоения и устойчивого природопользования.

Для достижения цели были поставлены и выполнены следующие задачи – составлены карты пространственного распределения земель в ВЗПВ, получены картографо-статистические данные по структуре землепользования территории и осуществлен пространственный анализ.

Материалы и методы исследования

За основу классификации типов использования земель в настоящей работе была взята геоэкологическая классификация ландшафтов В.А. Николаева [10], построенная на социально-экономических и социально-экологических принципах природопользования. Ландшафты в данной классификации делятся на две группы – природные и антропогенные.

Было выделено 10 категорий земель: леса, луга, кустарники, водные объекты, застроенные земли, карьеры, возделываемые поля, неиспользуемые сельскохозяйственные земли и рисовые чеки (используемые и неиспользуемые).

Принадлежность какого-либо участка к той или иной категории определялась посредством экспертного дешифрирования спектрально-зональных снимков с космических аппаратов Landsat 8 и Sentinel-2 за 2019–2020 гг., полученных через сервис USGS EarthExplorer. Проверка результатов дешифрирования произведена с использованием картографических подложек высокого разрешения ESRI Imagery и Google Maps. Обработка данных дистанционного зондирования (ДЗЗ) и картографирование структуры земель в ВЗПВ было выполнено с помощью программных пакетов ArcMap 10.8 и ArcGIS Pro 2.8 [11].

Контурные лесных и водных территорий были получены с помощью методов автоматического дешифрирования. Нами был рассчитан вегетационный индекс NDVI и водный индекс NDWI. Полученные в результате растровые изображения были переведены в векторный вид и затем совмещены с результатами визуально-экспертного дешифрирования [12; 13].

Контурные остальных категорий земель были оцифрованы посредством визуально-экспертного дешифрирования данных ДЗЗ. Участки, на которых отсутствует древесная растительность, были интерпретированы как луга, а частично покрытые – как редколесья и кустарники.

Обрабатываемые сельскохозяйственные поля, как правило, отличаются правильными геометрическими формами, однотонны и имеют четкую границу.

Неиспользуемые сельскохозяйственные земли имеют неоднородности в текстуре и относительно нечеткие границы. Под данным типом земель мы подразумеваем все остальные сельскохозяйственные земли, которые отличались правильными формами и четкими границами, но не были засеяны.

Используемые и неиспользуемые рисовые поля, как правило, имеют систему мелиорации земель, отличаются однотонностью и прямоугольной или квадратной формой. Такие земли легче всего выделять в определенное время раннего лета, когда происходит специальное заполнение водой рисовых чеков. Неиспользуемые рисовые поля в основном зарастают древесно-кустарниковой растительностью по границам и имеют более неоднородную текстуру, чем используемые.

При экспертно-визуальной оцифровке контуров с данных ДЗЗ населенных пунктов дополнительно были использованы данные топографических карт и картографической подложки OpenStreetMap.

Границы водосбора ВЗПВ были выделены с использованием открытых пространственных данных BasinATLAS. Общая площадь водосбора составляет 30 482,6 км².

Результаты исследования и их обсуждение

В структуре земель ВЗПВ преобладают леса, составляя 75,72% от общей территории. Суммарная площадь данного типа земель составляет 23093,53 км² (таблица). Леса встречаются повсеместно на водоразделах, а также во внутренних горных районах

водосбора. В данных районах, как правило, располагаются особо охраняемые природные территории (ООПТ) ВЗПВ. В пределах ООПТ I и II категории МСОП (заповедники, национальные парки), а также на островах залива доминирование лесов особенно выражено. В долинах рек и на прибрежных равнинах лесные угодья замещаются другими типами земель. В среднем течении р. Раздольной, а также в устье р. Туманной, сплошной лесной покров отсутствует.

1,14% площади ВЗПВ занимают кустарники, что составляет 347,45 км². Данный тип земель преимущественно находится рядом с землями лесов и лугов. Наиболее распространен на юго-западе водосбора, а также в долине р. Суходол, расположенной к северу от г. Большой Камень, и в среднем течении р. Партизанской.

Земли, занятые лугами, располагаются на прибрежных равнинах и вдоль широких участков речных долин. В среднем течении р. Раздольной они соседствуют с обрабатываемыми полями и неиспользуемыми сельскохозяйственными землями. Площадь земель данного типа составляет 7,14% от общей территории ВЗПВ (2 177,43 км²).

Возделываемые поля располагаются, как правило, в низовьях и средних течениях крупных рек, впадающих в залив Петра Великого – р. Артемовки, Шкотовки, Суходол и Партизанская. Данный тип земель приобретает сплошной характер распространения на крупных равнинных участках в пределах ВЗПВ – Раздольненской равнине, Артемовской межгорной котловине и др. Крупные массивы возделываемых полей имеются в верховьях и среднем течении р. Дасуйфэньхэ и р. Сяосуйфэньхэ, которые своим слиянием образуют р. Раздольную.

Структура использования земель в ВЗПВ, км²

Тип земель	Площадь, км ²	% площади ВЗПВ
Леса	23080,67	75,72
Кустарники	347,45	1,14
Луга	2176,62	7,14
Обрабатываемые поля	2733,56	8,97
Неисп. с/х земли	799,55	2,62
Рисовые чеки	35,75	0,12
Неисп. рисовые чеки	94,96	0,31
Карьеры	16,00	0,05
Застроенные земли	985,46	3,23
Водные объекты	212,59	0,70
ВСЕГО	30482,60	100,00

Наиболее они распространены в ее среднем течении. При этом их площади значительно выше в российской части трансграничного бассейна, вероятнее всего за счет того, что на китайской части бассейна рельеф преимущественно низко- и среднегорный. Данный тип земель занимает 0,12% площади ВЗПВ (суммарно 35,75 км²).

Подобным образом расположены и неиспользуемые рисовые чеки, составляя 0,31% (95,01 км²) от всей площади водосбора. Они наиболее распространены в низовьях р. Раздольной, но также встречаются в ее среднем течении.

Карьеры составляют 0,05% (16,01 км²) от общей площади изучаемой территории. Главным образом они располагаются в российской части бассейна р. Раздольной и в окрестностях г. Артем.

Застроенные земли занимают 3,23% (986,24 км²) от площади водосбора. Наиболее крупным населенным пунктом является г. Владивосток и его агломерация, которая простирается вдоль побережья северной части полуострова Муравьева-Амурского и обрамляет Артемовскую межгорную котловину. Значительными площадями отличаются г. Уссурийск, г. Находка, а также г. Дуннин и г. Суйфэньхэ со стороны КНР. Меньше всего населенных пунктов находится на юго-западе водосбора и на островных территориях залива.

0,7% (214,1 км²) территории ВЗПВ занимают водные объекты, в основном за счет относительно крупных естественных водоемов, расположенных на юго-западе (оз. Птичье, оз. Заречное и др.), а также водохранилищ (Артемовское, Раковское, Петровское и др.).

Заключение

В результате исследования была составлена карта использования земель в ВЗПВ по состоянию на 2020 г. в масштабе 1:100 000, отображающая пространственное распределение 10 типов земель. Это позволило рассчитать суммарную площадь для каждой категории земель по водосбору.

Было выявлено, что в структуре земель водосбора более половины площади занимают леса, распространенные, как правило, во внутриматериковых горных районах и на водоразделах, а также на островных территориях. Примечательно, что ООПТ I и II категории МСОП на юго-западе (национальный парк «Земля леопарда») и в центральной части (Уссурийский заповедник)

ВЗПВ также располагаются на водоразделах. Их охрана позволяет поддерживать на должном уровне качество и запасы пресной воды, регулировать сток рек, а также способность оказывать прочие экосистемные услуги [14; 15]. Доминирование лесных угодий в средне- и низкогорных частях водосбора может быть обусловлено тем, что рельеф данного типа менее пригоден для хозяйственного освоения, в отличие от прибрежных равнин и долин рек.

Пространственная структура земель в различных частях водосбора принимает различный вид. Для них можно выделить четыре вида пространственных структур землепользования.

В центральной и восточной частях ВЗПВ (долины р. Артемовки, Шкотовки, Суходола и Партизанской) луга и типы земель, так или иначе связанные с хозяйственной деятельностью человека (возделываемые поля, неиспользуемые сельскохозяйственные и застроенные земли), располагаются строго вдоль широких участков речных долин, а на побережьях доминируют земли лесов. Подобная структура также наблюдается в низовьях р. Раздольной. Исторически сложилось, что с 1880-х гг. контингент переселенцев на данных территориях состоял по большей части из крестьян. Их основным видом деятельности было сельское хозяйство, в связи с чем они селились вдоль рек [16]. Результаты настоящей работы продемонстрировали, что данный пространственный рисунок освоения территории ВЗПВ в общих чертах сохраняется и по сей день.

Среднее течение р. Раздольной, помимо полуострова Муравьева-Амурского, является одной из наиболее интенсивно антропогенно преобразованных территорий ВЗПВ. Ее хозяйственное освоение берет начало с конца XIX в. [17]. Из типов земель преобладают в большей степени возделываемые поля и в меньшей – неиспользуемые сельскохозяйственные земли, а также рисовые чеки. Здесь значительны площади неиспользуемых сельскохозяйственных земель.

Примечательно, что на китайской части трансграничного бассейна р. Раздольной структура землепользования менее разнообразна, чем на российской. Преобладающими категориями земель там являются леса, которые непосредственно соседствуют с возделываемыми полями. Площади неиспользуемых сельскохозяйственных земель относительно малы.

На юго-западе сложилась структура землепользования, отличная от других частей ВЗПВ. Там наблюдается низкий уровень покрытия лесом на прибрежных равнинах, где также располагаются немногочисленные по площади сельскохозяйственные и застроенные земли. При этом долины рек освоены мало, так как они, как правило, находятся в пределах ООПТ.

Список литературы

1. Гайко Л.А. Изменение климата в прибрежной зоне Приморского края в современный период (северо-западная часть Японского моря) // EESJ. 2016. № 4. С. 35–42.
2. Пшеничников Б.Ф., Пшеничникова Н.Ф., Киселева А.Г., Родникова И.М. Роль фациальности биоклиматических условий почвообразования в географии буроземов прибрежно-островной зоны Приморского края (юг Дальнего Востока, Россия) // Тихоокеанская география. 2020. № 3. С. 29–38.
3. Куренцова Г.Э. Растительность Приморского края. Владивосток: Дальиздат, 1968. 192 с.
4. Исаченко А.Г. Ландшафты СССР. Л.: Изд-во Ленингр. ин-та, 1985. 320 с.
5. Хортон Р.Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. Л.: Инстр. лит., 1948. 156 с.
6. Корытный Л.М. Бассейновая концепция: от гидрологии к природопользованию // География и природные ресурсы. 2017. № 2. С. 5–16.
7. Ганзей С.С. Трансграничные геосистемы юга Дальнего Востока России и северо-востока КНР. Владивосток: Дальнаука, 2004. 231 с.
8. Ermoshin V.V., Ganzei S.S., Shiraiva T. Land use changes in the trans-boundary Amur River basin in the 20th century. Geography. Environment. Sustainability. 2013. No. 6 (2). P. 4–19.
9. Бакланов П.Я. Структурные особенности и потенциал развития приграничных и трансграничных районов: теоретические аспекты // Региональные исследования. 2018. № 3 (61). С. 19–24.
10. Николаев В.А. Ландшафтоведение. Семинарские и практические занятия. М.: Географический факультет МГУ, 2006. 208 с.
11. Базаров К.Ю., Егидарев Е.Г., Мишина Н.В. Применение данных дистанционного зондирования Земли для анализа современной структуры использования земель в бассейне озера Ханка // Геосистемы Северо-Восточной Азии: особенности их пространственно-временных структур, районирование территории и акватории. 2019. С. 197–203.
12. Малышева Н.В. Автоматизированное дешифрирование аэрокосмических изображений лесных насаждений. М.: Изд-во МГУЛ, 2012. 154 с.
13. Владимиров И.Н., Софронов А.П., Сороковой А.А., Кобылкин Д.В., Фролов А.А. Структура растительного покрова западной части Верхнеангарской котловины // География и природные ресурсы. 2014. № 2. С. 44–53.
14. Bremer L.L., DeMaagd N., Wada C.A., Burnett K.M. Priority watershed management areas for groundwater recharge and drinking water protection: A case study from Hawai'i Island. Journal of Environmental Management. 2021. Vol. 286. P. 111622.
15. Erol A., Randhir T.O. Watershed ecosystem modeling of land-use impacts on water quality. Ecological Modelling. 2013. Vol. 2013. P. 54–63.
16. Сидоренко А.В., Сидоренко М.А. Исторические этапы заселения Приморского края русскими переселенцами // Инновационная наука. 2019. № 2. С. 54–55.
17. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Корнюшенко Т.В., Ганзей К.С., Кудрявцева Е.П., Гридасова И.В., Клюев Н.А., Прокопец С.Д. Соотношение природных и антропогенных факторов в развитии ландшафтов бассейна реки Раздольная, Приморье // Известия РАН. Серия географическая. 2020. Т. 84. № 2. С. 246–258.

ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ МОРСКИМ ТРАНСПОРТОМ

Пономаренко И.А.

*Филиал ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» в г. Калининграде, Калининград,
e-mail: i.ponomarenko@bk.ru*

В статье рассмотрены экономико-географические аспекты, связанные с понятием и значением перевозки грузов морским транспортом. Общенаучные методы: анализ, синтез, индукция, дедукция, дали возможность всесторонне и объективно исследовать объект исследования – морские перевозки грузов, рассмотреть все его стороны и элементы. Частнонаучные методы: картографический, экономико-географического и политико-географического районирования способствовали наиболее полному и всестороннему исследованию перевозок грузов морским транспортом. Проведен анализ имеющихся в отечественной науке позиций по вопросу определения понятия перевозки грузов морским транспортом. Анализ приведенных определений позволяет сделать вывод, что морская инфраструктура выступает средством обеспечения морских перевозок, то есть перемещения грузов и пассажиров с помощью морского транспорта. Так, морские перевозки необходимо рассматривать, прежде всего, как деятельностный процесс, направленный на перемещение грузов и пассажиров, а морскую инфраструктуру – как совокупность инструментов, способствующих обеспечению надлежащего процесса перевозки. Предложено авторское определение морских перевозок. Выявлено значение морских перевозок, определены их экономико-географические особенности. Исследуя вопросы осуществления морских перевозок, необходимо учитывать взаимодействие данной системы с внешней средой, в качестве которой в данном случае выступают транспортные комплексы.

Ключевые слова: инфраструктура, морские перевозки, морские порты, морской транспорт, транспортный комплекс

ECONOMIC AND GEOGRAPHICAL ASPECTS OF CARGO CARRIAGE BY SEA TRANSPORT

Ponomarenko I.A.

*Branch of the Military Training and Research Center of the Navy “Naval Academy” in Kaliningrad,
Kaliningrad, e-mail: i.ponomarenko@bk.ru*

The article deals with the economic and geographical aspects related to the concept and significance of the carriage of goods by sea. General scientific methods: analysis, synthesis, induction, deduction made it possible to comprehensively and objectively study the object of study – sea transportation of goods, to consider all its aspects and elements. Private scientific methods: cartographic, economic-geographical and political-geographical zoning contributed to the most complete and comprehensive study of the carriage of goods by sea. The analysis of positions available in domestic science on the issue of defining the concept of transportation of goods by sea is carried out. An analysis of the above definitions allows us to conclude that maritime infrastructure acts as a means of ensuring maritime transportation, that is, the movement of goods and passengers using maritime transport. So, maritime transportation should be considered, first of all, as an activity process aimed at the movement of goods and passengers, and maritime infrastructure – as a set of tools that help ensure the proper process of transportation. The author's definition of maritime transport is proposed. The significance of maritime transport is revealed, their economic and geographical features are determined. When studying the issues of sea transportation, it is necessary to take into account the interaction of this system with the external environment, which in this case is transport complexes.

Keywords: infrastructure, shipping, seaports, maritime transport, transport complex

С момента начала развития торговых отношений в мире между различными странами перевозки грузов по морю приобрели большую значимость. Это обусловлено, прежде всего, экономической выгодой по сравнению с другими видами грузоперевозок. В настоящее время морские перевозки не потеряли свою популярность. На данный момент одно из первых мест в системе международных транспортных связей занимает именно морской вид транспорта. По данным Международной морской организации (далее – ИМО), на долю морских перевозок приходится примерно 90 процентов всех перевозимых грузов. По прогнозам Организации Объединенных Наций и ИМО, в обозримом будущем мор-

ской транспорт останется мировым лидером перевозок. Этому способствуют следующие положительные свойства, присущие морским грузоперевозкам:

- сравнительно низкая себестоимость грузоперевозок по морю, которая выгодна как компаниям-перевозчикам, так и их клиентам;

- возможность судов перевозить достаточно большие объемы груза, соответственно уменьшается количество перевозок;

- пропускная способность морских путей практически неограниченна;

- грузоперевозки по морю ограничены только особенностью географического местоположения грузоотправителя и грузополучателя.

Стоит иметь в виду, что перевозка крупного груза морским транспортом – это единственный способ доставлять товар с континента на континент. Кроме того, имеются некоторые особенности грузоперевозки, которые зависят от технических характеристик морских судов. Морские суда не могут передвигаться с большой скоростью, следовательно, никто не станет перевозить на них срочные грузы. С другой стороны, как уже указывалось выше, грузоподъемность некоторых судов настолько велика, что, если сравнивать с грузоперевозкой сухопутным транспортом, понадобилась бы не одна сотня грузовых автомобилей или несколько десятков железнодорожных составов, что было бы в несколько раз дороже.

Еще одна особенность грузоперевозок через море, которая редко учитывается при использовании наземного транспорта – это малое воздействие на экологическую ситуацию. Хотя последствия некоторых аварий при перевозке по морю могут быть катастрофичны для окружающей среды.

Еще одной немаловажной особенностью является то, что отправлять грузы по воде возможно исключительно из прибрежных населенных пунктов. Соответственно, грузоперевозка производится тогда, когда груз доставят в порт с помощью наземных видов транспорта (по железной дороге или с помощью автомашин). Для этого необходима точная организация и координация во всех звеньях данной цепи перевозок с включением различных видов транспорта на разных участках.

Поэтому морские перевозки следует считать сложно организованной системой, представляющей собой совокупность взаимосвязанных структурных элементов, имеющих собственное функциональное назначение. Кроме того, все элементы системы морских перевозок взаимодействуют не только между собой, но и с внешней средой, выступая фактором развития различных общественных отношений.

Материалы и методы исследования

Для достижения цели были применены общенаучные и частнонаучные методы. Общенаучные методы (анализ, синтез, индукция, дедукция) дали возможность всесторонне и объективно исследовать объект исследования – морские перевозки грузов, рассмотреть все его стороны и элементы. Среди частнонаучных следует отметить картографический метод, использование

которого позволило выявить особенности понятия морского маршрута.

Результаты исследования и их обсуждение

Понятие морских перевозок тесно взаимосвязано с дефиницией «морская инфраструктура». Так, например, Т.Е. Александрова под морской инфраструктурой понимает блок учреждений (морской транспорт, порты, морское судостроение, морское образование, система управления, гидрографии, метеорологии и др.), которые обеспечивают всю морскую деятельность государства [1, с. 47]. Л.П. Гончаренко, В.Г. Кещян и Ф.В. Акулинин в своем исследовании используют термин «морская транспортная инфраструктура», тем самым уточняя ранее указанное понятие морской инфраструктуры, ограничивая его сферой морского транспорта [2, с. 61].

Г.В. Лебедев вводит в научный оборот понятие «инфраструктура морского транспортного комплекса Арктической зоны РФ», под которым предлагает понимать систему объектов грузоперевозок, субъектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств, направленную на обеспечение экспортно-импортных грузоперевозок в исследуемом регионе [3, с. 7].

Анализ приведенных определений позволяет сделать вывод, что морская инфраструктура выступает средством обеспечения морских перевозок, то есть перемещения грузов и пассажиров с помощью морского транспорта. Так, морские перевозки необходимо рассматривать, прежде всего, как деятельностный процесс, направленный на перемещение грузов и пассажиров, а морскую инфраструктуру – как совокупность инструментов, способствующих обеспечению надлежащего процесса перевозки.

Первичным звеном в системе морских перевозок является морской транспорт. Под морским транспортом необходимо понимать вид водного транспорта, осуществляющего перевозки грузов и пассажиров при помощи морских судов по морским коммуникациям (океанам, морям, морским каналам) [4, с. 44]. Е.А. Заостровских характеризует морской транспорт как составную часть транспортной системы мирового хозяйства [5, с. 34]. Д.А. Мельник рассматривает морской транспорт как системообразующий вид Балтийского трансграничного транспортного региона. Автор обосновывает роль морского транспорта как ключевого

элемента транснационального транспортного региона, обеспечивающего активизацию существующих и развитие новых форм международной кооперации [6, с. 140].

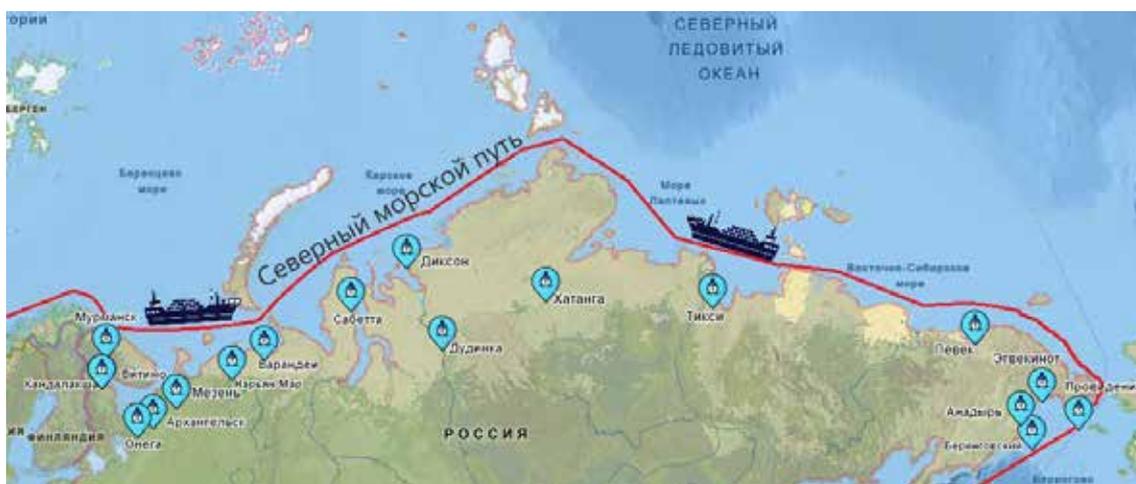
Морской транспорт является довольно универсальной категорией, при помощи которой может быть обозначено множество видов судов. Тем не менее с целью четкого понимания особенностей морского транспорта и, следовательно, морских перевозок, морской транспорт необходимо дифференцировать на следующие типы в зависимости от своего функционального назначения. Так, гражданские суда подразделяются на транспортные, промысловые, служебно-вспомогательные и суда технического флота [4, с. 54].

Значительная часть морского транспорта представлена транспортными судами, которые предназначены для перевозки грузов и пассажиров. Среди транспортных судов выделяются такие виды, как грузовые, пассажирские, грузопассажирские и специальные суда. В свою очередь, грузовые суда можно дифференцировать на наливные суда (танкеры, предназначенные для перевозки жидких грузов) и сухогрузы. В настоящее время сухогрузные суда представлены разнообразным флотом, включающим балкеры для перевозки насыпных грузов, контейнеровозы, рефрижераторные суда, трейлерные суда, лесовозы, суда для перевозки автомобилей, скота и т.д.

Морской транспорт, как и наземные и воздушные виды транспорта, работает в собственном пространстве, которое одновременно является географическим по своим физическим характеристикам, стра-

тегическим по своему контролю и коммерческим по своему использованию. При этом географические характеристики, как правило, постоянны во времени (за исключением сезонности погодных условий), в связи с чем стратегические и особенно коммерческие соображения гораздо более динамичны. Понятие морского транспорта основывается на существовании регулярных маршрутов, более известных как морские маршруты. Морской маршрут представляет собой путь следования морского транспорта. Ярким примером морского маршрута является Северный морской путь (далее – СМП), «соединяющий порты европейского и дальневосточного побережий с портами в устьях сибирских рек в единую водно-транспортную систему» [7]. На рисунке графически отображены порты Арктического бассейна России, вдоль которых проходит трасса такого морского маршрута, как СМП: Анадырь, Архангельск, Беринговский, Варандей, Витино, Диксон, Дудинка, Кандалакша, Мезень, Мурманск, Нарьян-Мар, Онега, Певек, Провидения, Сабетта, Тикси, Хатанга, Эгвекино.

Морские маршруты зависят от обязательных пунктов пересечения с наземным транспортом, которые являются стратегическими местами, а также зависят от физических условий (побережья, ветры, морские течения, глубина, рифы, лед) и политических границ. Морские маршруты связывают морские пространства, представляющие основные коммерческие районы, между которыми и в пределах которых устанавливаются морские перевозки.



Морские порты Арктического бассейна России (составлено автором)

Важность и конфигурация морских маршрутов изменились с развитием экономики и технических условий. Кроме этого, контейнеризация изменила конфигурацию грузовых маршрутов за счет инновационных услуг. До контейнеризации загрузка или разгрузка корабля была дорогостоящей и трудоемкой задачей и грузовое судно обычно проводило в доке больше времени, чем в море. Если раньше время плавания составляло около 25% годового времени судна для стандартных судов для массовых грузов, то сейчас этот показатель составляет около 70% для контейнеровозов. Благодаря более быстрым и дешевым портам маршруты между дальними маршрутами превратились в доминирующую конфигурацию контейнерных морских сетей.

Безусловно, эффективная перевозка грузов и пассажиров морским транспортом невозможна без надлежащей инфраструктуры, которая, помимо транспорта, включает также портовую инфраструктуру. Вопросам функционирования портов в научной литературе уделено значительное внимание.

К.Д. Шелест рассматривает морские порты как «сложные геопространственные системы, расположенные в береговой зоне, на акватории моря и территории суши» [8, с. 8]. Автор рассматривает морские порты как сложные транспортно-хозяйственные структуры, которые выступают ключевыми объектами международных транспортных перевозок. Хотелось бы не согласиться с характеристикой морского порта как объекта транспортной перевозки, поскольку объект – это явление, предмет, на которые направлена деятельность субъекта [9]. Представляется более верным рассматривать морские порты как транспортно-хозяйственные структуры, обеспечивающие процессы морских перевозок. При этом объектом морских перевозок являются грузы и пассажиры.

Представляется весьма значимой классификация морских портов, разработанная К.Д. Шелест [10]. Так, автором предложены различные виды морских портов, среди которых хотелось бы особо выделить классификации по значению в экономике, по функциональному назначению и по величине грузооборота. По значению в экономике выделены мировые, международные и местные морские порты; по функциональному назначению – многофункциональные, промышленные, транзитные, узкоспециализированные. По величине грузооборота

морские порты подразделяются на очень малые, небольшие, средние, крупные и крупнейшие [10, с. 121].

Последующие научные исследования вопросов функционирования морских портов во многом связаны с приведенными классификациями морских портов, поскольку они позволяют дифференцировать различные портовые структуры и проводить сравнительные и прогностические исследования применительно к отдельным видам портов. Так, Р.Р. Ахмедов рассматривал особенности транспортной сети портов Балтийского моря, проблемы ее оптимизации с целью увеличения грузооборота и отражения вызовов, связанных с модернизацией транспортного комплекса России [11, с. 85]. Ученый выделяет тенденцию увеличения грузопотоков в смешанном железнодорожно-водном сообщении, на основе чего приходит к выводу о том, что грузооборот существующих портов в ближайшее десятилетие будет возрастать.

Исследуя вопросы осуществления морских перевозок, необходимо также учитывать взаимодействие данной системы с внешней средой, в качестве которой в данном случае выступают транспортные комплексы. Согласно статье 1 Федерального закона № 16-ФЗ от 09.02.2007 (ред. от 14.03.2022) «О транспортной безопасности», транспортный комплекс – это объекты и субъекты транспортной инфраструктуры, транспортные средства [12]. Как справедливо отмечают С.В. Орлов и В.С. Корнеев, транспортный комплекс объединяет автомобильный, железнодорожный, морской, речной, воздушный транспорт и объекты соответствующей инфраструктуры (дороги, железнодорожные станции, порты и аэропорт, пункты пропуска через государственную границу) [13, с. 144]. Соответственно, морской транспорт является составной частью транспортного комплекса. Кроме того, в системе транспортного комплекса морской транспорт является одним из видов транспортных средств. При этом все суда в системе транспортных средств необходимо дифференцировать на суда, применяемые на внутренних водных путях, а также на морские суда, используемые при торговом мореплавании [14, с. 162].

Самому термину «морские перевозки» в научной литературе не уделяется достаточного внимания. При этом под морскими перевозками общепринято понимать перевозку грузов и пассажиров, которая осущест-

вляется на судах по морским коммуникациям. Тем не менее приведенное определение морских перевозок не отражает всех особенностей данного явления, поскольку, прежде всего, данное определение не учитывает наличие особенностей и различных видов морских перевозок. При этом среди множества подобных явлений необходимо различать следующие виды морских перевозок. Во-первых, по пространственному критерию морские перевозки необходимо подразделять на международные (осуществляемые между двумя и более странами) и каботажные (осуществляемые между портами одной страны). Во-вторых, в зависимости от предмета можно выделить пассажирские и грузовые морские перевозки. При этом морские перевозки в основном ориентированы на грузовые перевозки, поскольку нет эффективной альтернативы дальним перевозкам больших объемов грузов. В-третьих, в зависимости от типа судна и, соответственно, перевозимого груза морские перевозки могут быть танкерные, контейнерные, балкерные, рефрижераторные и др.

Заключение

Таким образом, морские перевозки необходимо определить как процесс перемещения грузов и пассажиров, осуществляемый на морских судах по морским коммуникациям (океанам, морям, морским каналам). Морские перевозки обеспечиваются посредством морской инфраструктуры, основными элементами которой являются морской транспорт и морские порты. Признаками морских перевозок являются, во-первых, предмет морских перевозок (грузы и пассажиры), во-вторых, средство перевозок (транспортные средства – суда) и, в-третьих, пространство перемещения, которым выступают морские коммуникации. Тем не менее анализ исследовательских работ по вопросам морских перевозок позволяет сделать вывод, что в настоящее время сфера морских перевозок не является в полной мере изученной. В частности, понятийный аппарат в данной сфере не раз-

работан применительно к отдельным видам морских перевозок грузов, что представляется перспективным направлением экономико-географической науки.

Список литературы

1. Александрова Т.Е. Морская инфраструктура России. СПб.: Аврора-Дизайн, 2010. 352 с.
2. Гончаренко Л.П., Кещян В.Г., Акулинин Ф.В. Развитие морской транспортной инфраструктуры РФ как фактора обеспечения национальной экономической безопасности // Транспортное дело России. 2009. № 9. С. 60-62.
3. Лебедев Г.В. Особенности пространственной организации инфраструктуры морского транспортного комплекса Арктической зоны Российской Федерации: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Санкт-Петербург, 2014. 24 с.
4. Кочинов Ю.А., Кочинова Т.В. Транспортное обеспечение коммерческой деятельности. М.: Инфра-М, 2020. 226 с.
5. Заостровских Е.В. Развитие морского транспорта России и Дальнего Востока в контексте мировых тенденций // Таможенная политика России на Дальнем Востоке. 2014. № 3. С. 34-49.
6. Мельник Д.А. Морской транспорт как системообразующий элемент Балтийского транснационального транспортного региона // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2013. № 1. С. 140-147.
7. Куватов В.И., Козьмовский Д.В., Шаталова Н.В. Потенциал Северного морского пути Арктической зоны России. Факторы и стратегия развития // Наукоедение. 2014. [Электронный ресурс]. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/20TVN614.pdf> (дата обращения: 11.09.2022).
8. Шелест К.Д. Формирование системы экологического менеджмента в морских портах Балтийского региона: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Санкт-Петербург, 2007. 19 с.
9. Кузнецов С.А. Большой толковый словарь русского языка. Первое издание: СПб.: Норинт, 1998. Публикуется в авторской редакции 2014 года. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gramota.ru/slovari/info/bts/> (дата обращения: 11.09.2022).
10. Шелест К.Д. Классификации морских портов Балтийского региона // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2005. № 3. С. 119-126.
11. Ахмедов Р.Р. Актуальность исследования проблемы оптимизации грузооборота портов Балтийского моря в условиях модернизации транспортного комплекса // Известия Трансиба. 2014. № 1. С. 84-88.
12. О транспортной безопасности: федеральный закон № 16-ФЗ от 09.02.2007 (ред. от 14.03.2022). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 11.09.2022).
13. Орлов С.В., Корнеев В.С. Транспортный кластер как вариант развития транспортного комплекса // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2012. № 1. С. 144-149.
14. Фофанова А.Ю. Транспортный комплекс и его роль в развитии регионов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. № 1-2. С. 162-165.

УДК 556.5(470.41)

**ХАРАКТЕРИСТИКА КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА
ВОД МАЛЫХ РЕК НИЖНЕКАМСКОГО
МУНИЦИПАЛЬНОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

Рыков Р.А., Урбанова О.Н., Горшкова А.Т., Семанов Д.А., Бортникова Н.В.

*Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан,
Казань, e-mail: rykov97@gmail.com*

Ландшафты Нижнекамского муниципального района Республики Татарстан испытывают значительную антропогенную нагрузку за счет сосредоточения в районе крупного промышленного узла, в первую очередь представленного одной из крупнейших европейских компаний по производству синтетических каучуков и пластиков, включающих широкий комплекс производственных объектов и теплоцентраль общей площадью 40 км². Химическое производство на столь значительной территории способно оказывать весомое влияние на большую часть компонентов окружающего ландшафта и преобразовывать их в отрицательном виде. В данной работе представлены сведения о химическом составе воды восьми малых рек Нижнекамского муниципального района (м.р.) Республики Татарстан (РТ), в ходе анализа которых рассчитан индекс загрязненности вод (ИЗВ). Величина ИЗВ позволила установить класс качества воды обследованных рек по содержанию химических веществ, что наряду с экологической характеристикой классов отражает состояние окружающей среды. Построенная по данным ИЗВ картосхема наглядно показывает, что вода пяти обследованных рек относится к III классу качества («умеренно загрязненные», или воды удовлетворительной чистоты), что считается нормальным естественным состоянием равнинных рек. Качество воды еще трех рек относится к IV («загрязненная») и V («грязная») классу качества. Это реки Стрелочный Лог, Субай и у Камских Полян, водосборы которых испытывают значительную антропогенную нагрузку, а водные ресурсы имеют ограничения по использованию.

Ключевые слова: качество воды, гидрохимический состав, индекс загрязненности вод, экологическая ситуация, Нижнекамский район

**CHARACTERISTICS OF THE QUALITATIVE COMPOSITION
THE WATERS OF SMALL RIVERS THE NIZHNEKAMSK
MUNICIPAL DISTRICT OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN**

Rykov R.A., Urbanova O.N., Gorshkova A.T., Semanov D.A., Bortnikova N.V.

*Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences,
Kazan, e-mail: rykov97@gmail.com*

The landscapes of the Nizhnekamsk municipal district of the Republic of Tatarstan are experiencing a significant anthropogenic load due to the concentration of a large industrial hub in the area, primarily represented by one of the largest European companies producing synthetic rubbers and plastics, including a wide range of production facilities and a heating plant with a total area of 40 km². Chemical production in such a large area can have a significant impact on most of the components of the surrounding landscape, and transform them in a negative way. This paper presents information on the chemical composition of the water of eight small rivers of the Nizhnekamsk municipal district of the Republic of Tatarstan, during the analysis of which the water pollution index was calculated. The value of the index made it possible to establish the water quality class of the surveyed rivers by the content of chemicals, which, along with the environmental characteristics of the classes, reflects the state of the environment. The map constructed according to index data clearly shows that the river water of the five surveyed rivers belongs to the III quality class ("moderately polluted" or water of satisfactory purity), which is considered the normal natural state of lowland rivers. The water quality of three more rivers belongs to the IV ("polluted") and V ("dirty") quality class. These are the Strelochny Log, Subai and u Kamskih Polyan rivers, the catchments of which are experiencing significant anthropogenic stress and the water resources of the rivers have restrictions on use.

Keywords: water quality, hydrochemical composition, water pollution index, ecological state, Nizhnekamsk district

Качественный состав речной воды обусловлен взаимодействием многообразия естественного природного фона бассейнов и значительного техногенного преобразования водосборных площадей. Объективно оценить состав и качество речной воды невозможно без достоверных данных о ее химическом составе. В настоящее время в природных водах анализируется более 1200 различных химических соединений [1]. Такое количество анализируемых компо-

нентов создает проблему оценки их взаимодействия, решить которую помогают различные гидрохимические индексы, позволяющие обобщить результаты анализа и привести их к наглядному доступному для восприятия виду. Одним из таких общеизвестных совокупных показателей является индекс загрязненности воды (ИЗВ), объединяющий концентрации основных загрязняющих веществ (ЗВ) в речной воде. ИЗВ является типичным коэффициентом

и представляет собой среднюю долю превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) по строго определенному числу (шесть-семь) индивидуальных, так называемых «лимитируемых» показателей. Целью настоящего исследования является апробирование возможности применения индикаторных параметров для получения картографической интерпретации результатов гидрохимического анализа малых рек Нижнекамского м.р. РТ.

Материалы и методы исследования

ИЗВ, установленный Госкомгидрометом СССР, относится к категории показателей, наиболее часто используемых для оценки качества водных объектов, и наряду с более современными интегральными показателями, такими как удельный комбинированный индекс загрязненности воды и критический показатель загрязненности воды, продолжает использоваться для оценки качества природных вод. По данным интегральных показателей определяется качество и класс природной воды на территории РТ. Отбор проб и анализ воды проводят ФГБУ «УГМС Республики Татарстан» на 14 водных объектах (26 пунктов наблюдений, 40 створов) и территориальные отделы Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан в рамках государственного гидрохимического мониторинга поверхностных водных объектов.

К сожалению, на восьми малых реках Нижнекамского м.р. данного рода наблюдения не проводятся, вследствие чего летом 2021 г. институтом проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан было проведено гидрографическое, гидрологическое и гидрохимическое обследование водосборных бассейнов рек [2, 3]. Отбор проб проводился согласно методике рекомендаций Р 52.24.353-2012. Выбранные места отбора соответствовали основным требованиям для качественной оценки проб: представляли собой выпрямленные, проточные участки русел и находились в устьевой зоне основных рек исследуемых бассейнов. Данный выбор мест проб был обусловлен следующими факторами: точки отбора находились на достаточном удалении ниже по течению населенных пунктов и их очистных сооружений, ниже впадения всех притоков, сохраняли естественную скорость речного потока и не были зарегулированы водами р. Кама и Нижнекамским водохранилищем. Забор

проб проводился в центральной части поперечного речного профиля, на глубине более 30 см от поверхности и дна.

В основе нормативов для анализируемых гидрохимических показателей использованы рыбохозяйственные ПДК, представляющие собой максимальную концентрацию ЗВ в воде, не оказывающую вредного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых. Основываясь на ИЗВ, значение которого можно найти в различной справочной и методической литературе, вода рек Нижнекамского м.р. была отнесена к классам качества воды, являющимся интегральной характеристикой загрязненности поверхностных вод [4]. Количество и состав ЗВ значительно влияют на формирование водных экосистем, основной составляющей которых является вода как среда обитания различных организмов и от качества которой зависит видовой состав и обилие водных гидробионтов. Следует отметить, что при расчетах ИЗВ не учитываются микробиологические показатели, часто являющиеся решающими при оценке пригодности воды для использования. В зависимости от видового разнообразия гидробионтов и способности воды к самоочищению была разработана «Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши», включающая ряд частных классификаций, позволяющих оценить состав и свойства воды как среды обитания и изменения состояния водных объектов под воздействием антропогенного пресса [5]. Характеристика качественного состава воды малых рек Нижнекамского м.р. Республики Татарстан выполнена на основе сочетания классов качества воды (табл. 1).

Результаты исследования и их обсуждение

По руслам обследованных малых рек Нижнекамского м.р. протекают пресные, гидрокарбонатные воды с преобладанием кальция, средней и повышенной минерализации, мягкие, слабощелочные воды. Основные показатели гидрохимического состава речной воды представлены в табл. 2.

Одним из важнейших факторов, влияющих на оценку качества вод, является концентрация или уровень активности ионов водорода, называемый водородным показателем (рН). В различных растворах рН варьирует в диапазоне от 0 до 14 и отражает интенсивность их кислотности (рН менее 7) или щелочности (рН более 7).

Таблица 1

Характеристика экологического состояния воды при различных значениях ИЗВ

Воды	Значения ИЗВ	Класс качества
Очень чистые	менее или равно 0,2	I
Чистые	0,2–1,0	II
Умеренно загрязненные	1,0–2,0	III
Загрязненные	2,0–4,0	IV
Грязные	4,0–6,0	V
Очень грязные	6,0–10,0	VI
Чрезвычайно грязные	Более 10,0	VII

Таблица 2

Гидрохимический состав воды малых рек Нижнекамского м.р.

Ингредиенты	Единицы измерения	ПДК	Реки							
			Стрелочный Лог	Прости	Омшанка	Субай	Уратьма	Вязовка	б/н у Камских Полян	Оша
рН	ед. рН	6,5–8,5	8,0	7,9	7,6	7,9	7,7	8,3	7,8	8,2
Кислород	мгО ₂ /дм ³	6,0	8,6	11,7	7,0	5,6	11,3	7,7	6,1	8,0
Сухой остаток	мг/дм ³	1000	660	348	584	632	392	656	576	612
Жесткость	°Ж	–	6,0	3,6	5,6	8,0	4,9	7,6	5,9	5,8
Кальций	мг/дм ³	180	90	47	83	116	61	93	79	74
Магний	мг/дм ³	40	19	16	17	27	23	36	24	26
Сульфаты	мг/дм ³	100	43	53	56	52	17	8	9	8
Хлориды	мг/дм ³	300	62	47	58	77	31	23	23	5
Гидрокарбонаты	мг/дм ³	–	233	100	222	186	208	350	290	319
Окисляемость	мг/дм ³	–	5,7	7,4	5,7	6,7	6,4	3,2	5,1	1,7
ХПК	мг/дм ³	30	16,8	16,9	15,4	23,8	19,1	10,8	17,2	8,3
БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	2,0	0,9	1,8	0,8	1,0	2,8	1,0	3,6	0,7
Взвешенные вещества	мг/дм ³	–	<3,0	5,2	<3,0	8,4	4,6	<3,0	3,0	<3,0
Аммоний	мг/дм ³	0,50	0,12	0,22	0,12	0,31	0,70	0,05	1,87	0,05
Нитриты	мг/дм ³	0,08	0,02	0,02	0,10	0,04	0,09	0,04	1,11	0,03
Нитраты	мг/дм ³	40,0	0,36	0,20	3,00	1,06	2,59	17,6	8,59	4,49
Фосфаты	мг/дм ³	0,60	0,04	0,21	0,68	1,45	0,26	0,23	1,09	0,30
Нефтепродукты	мг/дм ³	0,05	0,02	0,02	0,05	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04
Фенолы	мг/дм ³	0,001	0,001	0,0007	0,0008	0,0009	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Железо общее	мг/дм ³	0,10	0,29	0,18	0,19	0,30	0,11	0,12	0,18	0,10

Норма рН в поверхностных водах составляет 6,5–8,5. Эта величина имеет решающее значение для определения стабильности воды, как среды обитания гидробионтов; накипеобразующих и коррози-

онных свойств воды; прохождения многочисленных химических и биологических процессов; миграции и превращения различных форм биогенных элементов; изменение токсичности ЗВ. Колебания рН

в ту или иную сторону существенно сказываются на запахе, привкусе и внешнем виде воды, а при pH ниже 5,0 гибнут все виды рыб. Водородный показатель всех восьми обследованных рек находится в пределах ПДК (7,6–8,3), что позволяет отнести воду к слабощелочным или нейтральным водам. Такая речная вода является оптимальной для существования гидробионтов и водохозяйственного использования.

Растворенный кислород в воде не только обеспечивает необходимые условия для дыхания гидробионтов, но и участвует в процессах разложения отмерших организмов и окисления различных примесей. Резкое снижение концентрации кислорода в воде указывает на ее загрязнение. Сравнивая содержание растворенного кислорода с ПДК, отметим, что кислородный режим в обследованных реках летом 2021 г. был удовлетворительным. При величине ПДК в $6 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ его содержание в речных водах колеблется в пределах $5,6\text{--}11,7 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. Наименьшее количество кислорода отмечено в воде реки Субай ($5,6 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$), а наибольшее – в р. Прости ($11,7 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$) и Уратьма ($11,3 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$).

Суммарное содержание всех найденных при химическом анализе воды минеральных веществ называют «минерализацией» или общим солесодержанием. От минерализации природных вод зависит удельная электропроводность воды, изменяющаяся в широких пределах. Минерализация обследованных рек определялась по сухому остатку, ПДК которого составляет 1000 мг/дм^3 . Этот предел установлен в связи с тем, что при большей минерализации вкус воды становится солоноватым, соленым или горько-соленым, а при меньшей минерализации вкус воды остается пресным. Вода обследованных рек относится к пресным водам. Воды р. Прости и Уратьма имеют среднюю минерализацию, р. Стрелочный Лог, Субай, Омшанка, Вязовка, у Камских Полян, Оша – повышенную.

Жесткость воды обследованных рек, выраженная в градусах жесткости, показывает, что речная вода всех восьми рек относится к категории мягких вод. От количества взвешенных веществ, попадающих в речную воду в результате смыва твердых частиц почвы водосбора дождями или талыми водами, а также в результате размыва русел рек, зависит прозрачность воды, температура, состав и распределение донных отложений, скорость осадкообразования. Вода, в которой много взвешенных частиц, не подходит

для рекреационного использования по эстетическим соображениям. Определенные в воде обследованных рек взвешенные вещества находятся в небольших количествах (менее 3 мг/дм^3) в пяти реках, а максимальное их количество зафиксировано только у р. Субай ($8,4 \text{ мг/дм}^3$).

В поверхностных водах растворено большое количество органических веществ, мерой содержания которых служит их окисляемость. В зависимости от применяемого окислителя различают перманганатную и бихроматную окисляемость. Считается, что если показатель химического потребления кислорода (ХПК) превышает биологические показатели, то в воде содержится много трудноокисляемой органики. Показателем качества воды, характеризующим суммарное содержание в воде органических веществ, является биохимическое потребление кислорода (БПК), чаще определяемое по истечении пяти суток (БПК₅). Количество органических веществ, установленное по БПК₅, в речной воде шести обследованных рек не превышает ПДК, лишь в двух из них (р. у Камских Полян и Уратьма) оно немного превышено ($3,57$ и $2,80$ соответственно).

Соединения таких микроэлементов, как азот, фосфор, кремний, углерод и др., играют немаловажную роль в жизнедеятельности организмов. В поверхностные воды данные биогенные вещества попадают посредством плоскостного стока с водосборных площадей или в результате распада животных и растительных останков, обитающих в водной среде. Содержание биогенных веществ в природных водах различается и зависит от различных параметров, таких как температура воды, интенсивность процессов образования и разложения органических веществ. Содержание аммония в речной воде обследованных рек находится в пределах ПДК, за исключением р. Уратьма и у Камских Полян, в которых значения аммония превышают ПДК в 1,4 и 3,7 раза. В этих реках, а также в р. Омшанка несколько превышено ПДК по нитритам (в 1,1; 1,3; 13,8 раз соответственно), также зафиксировано небольшое превышение по фосфатам. Увеличение концентрации фосфатов в природных водах усиливает процесс эвтрофикации водной среды [6]. Одной из причин повышенного содержания биогенных веществ в речных водах исследуемой территории является поступление значительного количества коммунально-бытовых и производственных сточных вод с территории населенных пунктов.

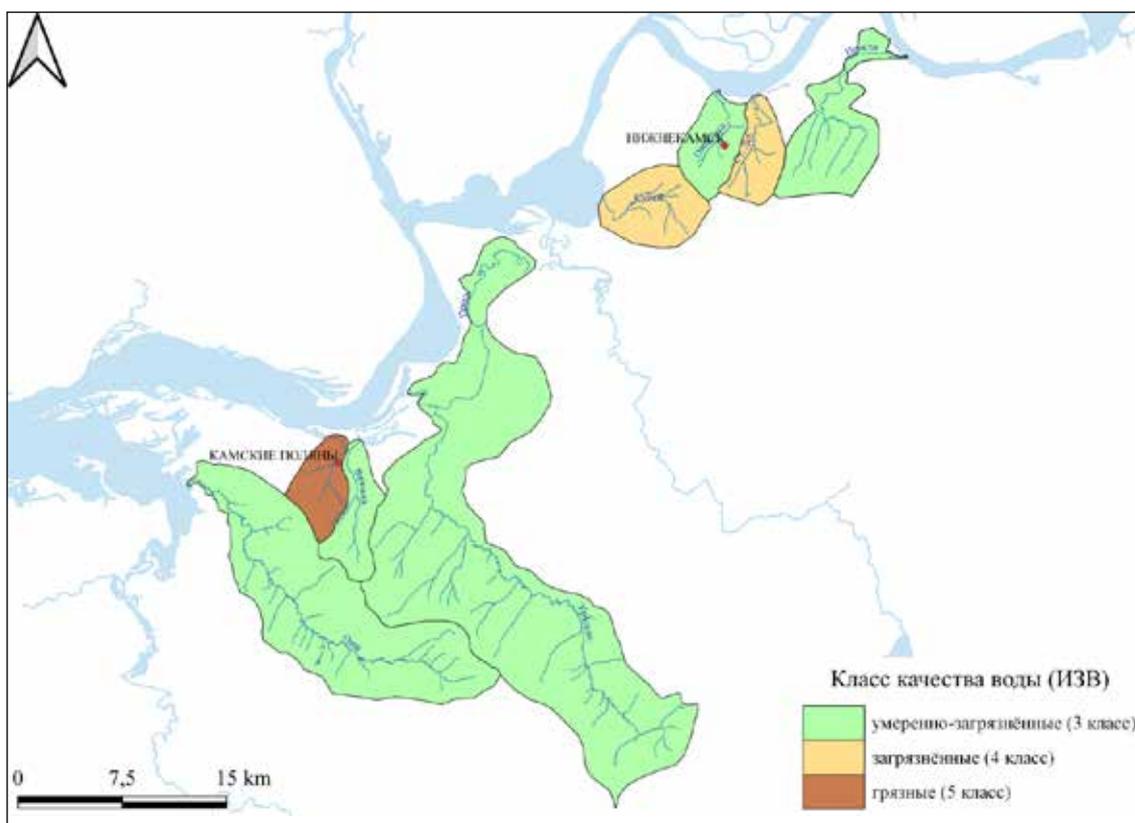
Железо входит в состав большого количества горных пород, что является одним из факторов высокого его содержания в природных водах исследуемого региона, что позволяет называть железо макроэлементом. Концентрация железа в природной воде зависит от геолого-гидрологических условий бассейна, а также гидрохимического режима водного объекта. Железо в природных водах не является само по себе токсичным загрязнителем, но чрезмерное использование питьевой воды с повышенным содержанием железа может привести к накоплению его в организме человека. Загрязнение железом влияет на органолептические свойства воды и может вызывать дискомфорт при ее бытовом использовании. Почти во всех обследованных реках зафиксированы незначительные (1,1–2,95) превышения ПДК по железу общему.

Среди всех обследованных рек только в воде р. Оша не зафиксировано ни одного случая превышения ПДК. Сказывается отсутствие крупных населенных пунктов и объектов промышленного производства, а земли бассейна в основном относятся

к категории земель лесного фонда и, в меньшей степени, к землям сельскохозяйственного назначения.

Расчитанные значения ИЗВ показали, что вода большинства обследованных рек соответствует III классу качества – «умеренно загрязненные» – ИЗВ вод р. Прости, Омшанка, Уратьма, Вязовка, Оша колеблется в пределах 1,65–1,92. Вода р. Субай соответствует IV классу качества («загрязненные» воды). В бассейне данной реки зафиксировано двукратное превышение ПДК по фосфатам, а содержание кислорода немного ниже нормы (5,6). Вода р. Стрелочный Лог также соответствует IV классу качества («загрязненные» воды), здесь зафиксировано двукратное превышение по железу.

Самой загрязненной рекой из всех обследованных в 2021 г. является р. у Камских Полян, ИЗВ которой равен 4,7, что соответствует V классу качества («грязные» воды). В речной воде зафиксировано почти 14-кратное превышение по нитритам и 4-кратное по аммонийному азоту, а также незначительное превышение ПДК по фосфатам.



Картосхема классов качества поверхностных вод

Так как отбор проб воды проводился в устьевых участках русел основных рек, после впадения всех притоков и ниже по течению населенных пунктов, результаты гидрохимического анализа репрезентативны для всего исследуемого водосборного бассейна, согласно концепции речного континуума [7]. Значения ИЗВ послужили основой построения картосхемы классов качества поверхностных вод обследованных рек (рисунок).

Картосхема показывает, что речная вода пяти левых притоков р. Кама относится к «умеренно загрязненным» водам (III класс качества), что является нормальным естественным состоянием для равнинных рек. Реки Стрелочный Лог, Субай и у Камских Полян испытывают значительную антропогенную нагрузку, в результате которой в них поступает большое количество биогенных элементов, что накладывает определенные ограничения водопользования.

Заключение

По рассчитанным значениям ИЗВ речная вода р. Прости, Омшанка, Уратьма, Вязовка, Оша относится к III классу качества («умеренно загрязненные»). Воды р. Субай и Стрелочный Лог относятся к IV классу качества («загрязненная»), поскольку испытывают значительную антропогенную нагрузку. Воды этих рек перенасыщены биогенными элементами, обуславливающими вторичное загрязнение, что делает их непригодными для рыбоводства и рекреаци-

онного использования. Река у Камских Полян, протекающая в одноименном поселке, относится к V классу качества («грязная»). Возможности самоочищения экосистемы реки ограничены, к тому же грязные воды способствуют распространению инфекционных заболеваний человека и животных.

Список литературы

1. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 года № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 15.08.2022).
2. Урбанова О.Н., Горшкова А.Т., Бортникова Н.В., Семанов Д.А., Рыков Р.А. Изменение структуры речной сети малых рек Нижнекамского района Республики Татарстан // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 2. С. 74–82.
3. Урбанова О.Н., Горшкова А.Т., Бортникова Н.В., Семанов Д.А., Рыков Р.А. Меженный сток малых рек Нижнекамского муниципального района Республики Татарстан // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 3 (31). С. 79–87.
4. Гагарина О.В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы: учебно-методическое пособие. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет». 2012. 199 с.
5. Оксенок О.Н., Жукин В.Н. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29. № 4. С. 62–76.
6. Минакова Е.А., Шлычков А.П., Шайхиев И.Г. Многолетняя динамика биогенных веществ в воде Куйбышевского водохранилища в современный период // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 8. С. 134–137.
7. Батурина Н.С. Закономерности организации речных экосистем: ретроспектива становления современных концепций (Обзор) // Биология внутренних вод. 2019. № 1. С. 3–11.

СТАТЬИ

УДК 504.054

**РАДИОАКТИВНОСТЬ НЕФТЕШЛАМА:
ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
ТЕРРИТОРИИ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ**

Пучков А.В., Яковлев Е.Ю., Дружинина А.С., Дружинин С.В.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврова Российской академии наук, Архангельск, e-mail: andrey.puchkov@fciarctic.ru

Авторами проведены исследования отдельных проб нефтешлама, отобранных на территории Большеземельской тундры (Ненецкий автономный округ и Республика Коми). Точки отбора проб нефтешлама определялись по результатам предварительной гамма-съемки местности, на которой отмечалось наличие нефтяных загрязнений. Пробы отбирались в случае превышения уровня гамма-излучения над фоном. Гамма-съемка территории была проведена в восьми точках по маршруту в.п. Харьягинский (Ненецкий автономный округ) – г. Усинск (Республика Коми). Всего отобрано три пробы нефтешлама с превышением уровня гамма-излучения. Исследования проводились вне охранных зон нефтепроводов и не нарушали нормы и правила в области обеспечения безопасности. В исследовании применялись методы полевой радиометрии и дозиметрии, а также полупроводниковой гамма-спектрометрии в лабораторных условиях. В пробах исследовалось наличие радионуклидов Ra-226, Ra-228, Th-232, K-40, Pb-210 и их удельные активности. По результатам исследований выявлены факты превышения уровня гамма-излучения над фоновыми показателями в местах законсервированных скважин со свободным доступом и без предупреждающих знаков. Отдельные значения мощности гамма-излучения превышали 5,30 мкЗв/ч вплотную от точки загрязнения нефтешламом. Удельная активность Ra-226 в отобранных пробах составила от 145 до 6900 Бк/кг, Ra-228 от 80 до 1030 Бк/кг, Th-232 от 85 до 1340 Бк/кг, K-40 от 320 до 500 Бк/кг, Pb-210 от 60 до 1090 Бк/кг. В соответствии с требованиями законодательства РФ в области радиационной безопасности отобранные пробы на текущем уровне проведенных измерений не являются радиоактивными отходами.

Ключевые слова: нефтешлам, радиоактивность, радиоактивные отходы, радий-226, торий-232

**RADIOACTIVITY OF OIL SLUDGE: FIRST RESULTS
OF STUDIES OF BOLSHEAZEMELSKAYA TUNDRA**

Puchkov A.V., Yakovlev E.Yu., Druzhinina A.S., Druzhinin S.V.

*Federal Centre for Integrated Arctic Research named after N.P. Laverov RAS, Archangelsk,
e-mail: andrey.puchkov@fciarctic.ru*

The authors carried out studies of several samples of oil sludge taken on the territory of the Bolshezemelskaya tundra (Nenets Autonomous Okrug and the Komi Republic). Oil sludge sampling points were determined based on the results of a preliminary gamma-ray survey of the area where the presence of oil pollution was noted. Samples were taken when the level of gamma radiation exceeded the background. Gamma-ray survey of the territory was carried out at 8 points along the route Kharyaginsky village (Nenets Autonomous Okrug) - Usinsk city (Komi Republic). A total of 3 samples of oil sludge were taken with an excess of gamma radiation. The studies were carried out outside the security zones of oil pipelines and did not violate the norms and rules in the field of safety. The study used methods of field radiometry and dosimetry, as well as semiconductor gamma spectrometry in the laboratory. The presence of radionuclides Ra-226, Ra-228, Th-232, K-40, Pb-210 and their specific activities were studied in the samples. According to the results of the research, the facts of the excess of the level of gamma radiation over the background values were revealed in the places of mothballed wells with free access and without warning signs. Individual values of gamma radiation power exceeded 5.30 $\mu\text{Sv/h}$ close to the point of contamination with oil sludge. The specific activity of Ra-226 in the selected samples ranged from 145 to 6900 Bq/kg, Ra-228 from 80 to 1030 Bq/kg, Th-232 from 85 to 1340 Bq/kg, K-40 from 320 to 500 Bq/kg, Pb-210 from 60 to 1090 Bq/kg. In accordance with the requirements of the legislation of the Russian Federation in the field of radiation safety, the samples taken at the current level of measurements performed are not radioactive waste.

Keywords: oil sludge, radioactivity, radioactive waste, radium-226, thorium-232

Арктика является уникальной территорией в России и на Земле в целом, имеющей огромный природный, ресурсный и культурный потенциал. При этом данные территории характеризуются крайней уязвимостью природной среды, сложностью ее восстановления, труднодоступностью и суровыми климатическими условиями [1, 2]. Но, несмотря на это, арктические регионы подвергаются влиянию хозяйственной де-

ятельности человека по освоению ресурсного потенциала, и особенно здесь выделяется нефтегазодобывающая отрасль. Среди таких регионов выделяются пока еще малонарушенные тундровые территории, ярким представителем которых является Большеземельская тундра Ненецкого автономного округа и Республики Коми [3].

Большеземельская тундра ограничивается реками Печора и Уса с запада и юга,

а также Полярным Уралом и хребтом Пай-Хой с востока [3]. Особенностью данной территории является большое количество нефтегазовых месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Расширение деятельности по разведке, добыче и обращению с нефтегазовыми ресурсами Большеземельской тундры может приводить к загрязнению объектов окружающей среды углеводородами, тяжелыми металлами. При этом в последнее время к традиционным, давно известным проблемам обеспечения безопасности в нефтегазодобывающей промышленности добавилась еще одна – обеспечение радиационной безопасности [4]. Связано это с тем, что залежи нефти и газа содержат высокие концентрации радионуклидов уранового и ториевого рядов, а также калий-40 [5]. Обогащение углеводородов радионуклидами, как правило, связано с тем, что нефти часто сопровождаются глинистыми сланцами с высоким естественным содержанием урана. Песчано-глинистые коллекторы содержат циркулирующие рассолы, в которых постепенно растворяется ^{226}Ra и его дочерние продукты и вместе с нефтью и газом поступают на поверхность [5]. Второй путь обогащения углеводородов радионуклидами связан с диффузией ^{222}Rn из глубинных пород в нефтяные пласты. ^{222}Rn , и продукты его распада, такие как ^{210}Po и ^{210}Pb , также являются главными радиоактивными загрязнителями нефти и газа. Наибольшее количество радионуклидов поступает на поверхность в составе минерализованных попутных вод, составляющих самый большой объем отходов в процессе добычи нефти и газа [6].

Таким образом, проблемы обеспечения радиационной безопасности в нефтегазовом комплексе страны и мира имеют место быть и определяют необходимость разработки соответствующих мероприятий по минимизации воздействия радиоактивности на окружающую среду и персонал. В связи с этим в последние годы международным научным сообществом уделяется большое внимание, как с научно-технической, так и с нормативно-правовой позиции, проблеме образования радиоактивных отходов естественного происхождения при добыче и переработке углеводородов [7, 8]. В России решению данной проблемы до сих пор не уделяется должного внимания [9]. Наличие таких отходов, а также общие подходы к их обращению частично

зафиксированы и регламентированы в российском законодательстве и федеральных нормах и правилах, не дающих четкого и ясного регламента обращения с радиоактивными отходами нефтегазовой отрасли, содержащими радионуклиды естественного происхождения. В связи с этим крайне актуальным в настоящее время для Российской Федерации является вопрос создания нормативного обеспечения по организации обращения с радиоактивными отходами при нефтегазодобыче [9].

Целью исследования является оценка общего уровня радиоактивности по результатам проведения гамма-съемки в местах нефтяных загрязнений и присутствия нефтешламов на территориях Ненецкого автономного округа и Республики Коми, выявление радиационных аномалий (превышение уровня гамма-излучения над фоновыми значениями), а также определение качественного и количественного радионуклидного состава загрязненных территорий в условиях наличия радиационной аномалии.

Материалы и методы исследования

В рамках данной работы авторами были проведены экспедиционные работы на территориях Ненецкого автономного округа и Республики Коми на участке с. Хорей-Вер – п. Харьягинский – г. Усинск. По всей длине участка в местах наличия нефтяных загрязнений и присутствия нефтешламов проведена гамма-съемка с оценкой уровня гамма-излучения. В случае превышения уровня гамма-излучения над фоновыми значениями (за фоновое значение в данной работе принято $0,15 \text{ мкЗв/ч}$, превышением считалось значение уровня гамма-излучения от $0,16 \text{ мкЗв/ч}$ и выше) в данных точках производился отбор проб для дальнейшего качественного и количественного анализа радионуклидного состава. Всего выявлено восемь участков с наличием нефтяных загрязнений и нефтешламов. На данных участках проведена гамма-съемка, по результатам которой отобрано три пробы нефтешлама и загрязненного грунта с превышением по уровню гамма-излучения. Экспедиционные работы были проведены вне охранных зон нефтепроводов и не нарушали нормы и правила в области обеспечения безопасности.

Гамма-съемка местности проводилась с применением сцинтилляционного геолого-разведочного прибора СРП-88 и дозиметра ДРГ-01Т.

Подготовка отобранных проб нефтешлама и загрязненного грунта осуществлялась путем высушивания при температуре 105 °С.

Определение качественного и количественного радионуклидного состава (радионуклиды Ra-226, Ra-228, Th-232, K-40, Pb-210) проводилось с применением полупроводникового гамма-спектрометрического комплекса ORTEC с детектором GEM 10 в низкофоновом исполнении с азотным охлаждением.

Результаты исследования и их обсуждение

Картограмма проведения гамма-съемки приведена на рис. 1. В результате оценки уровня дозы гамма-излучения в восьми точках присутствия нефтешлама или загрязненного нефтепродуктами грунта выявлено два участка с повышенными значениями измеряемого параметра.

В т. 5 обнаружено наличие нефтешлама на поверхности земли вокруг законсервированной скважины с уровнем мощности дозы гамма-излучения от 0,12 до 5,30 мкЗв/ч вплотную от места загрязнения. На данном участке выполнена локальная гамма-съемка местности с применением сцинтилляционного геолого-разведочного прибора СРП-88 с целью оценки пространственного распространения радиоактивного загрязнения. Результаты съемки приведены на рис. 2. Уровень гамма-излучения находится в основном в пределах от 18 до 40 имп./с*10). Основной участок загрязнения находится в непосредственной близости к законсервированной скважине. Максимальный уровень гамма-излучения наблюдается вплотную от нижней части скважины и составляет 2656 имп./с*10) (5,30 мкЗв/ч). Распространение загрязнения за пределы участка по результатам гамма-съемки отсутствует.

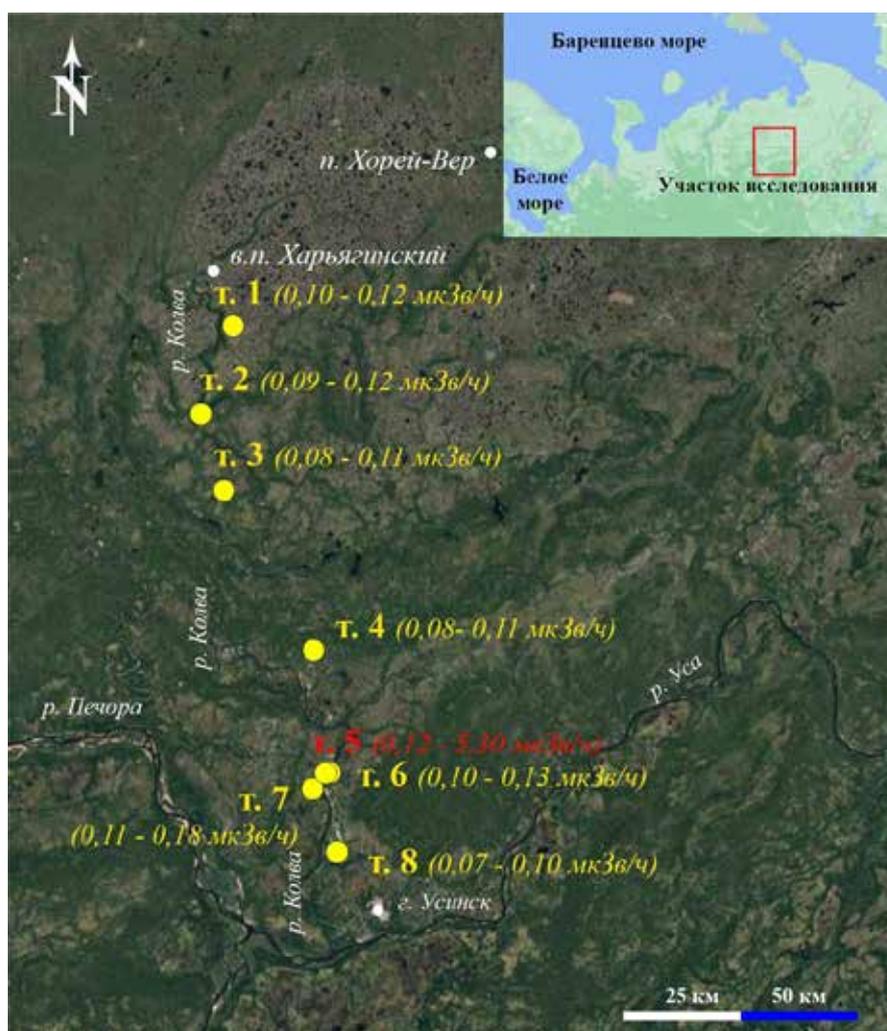


Рис. 1. Картограмма проведения гамма-съемки по маршруту в.п. Харьягинский – г. Усинск

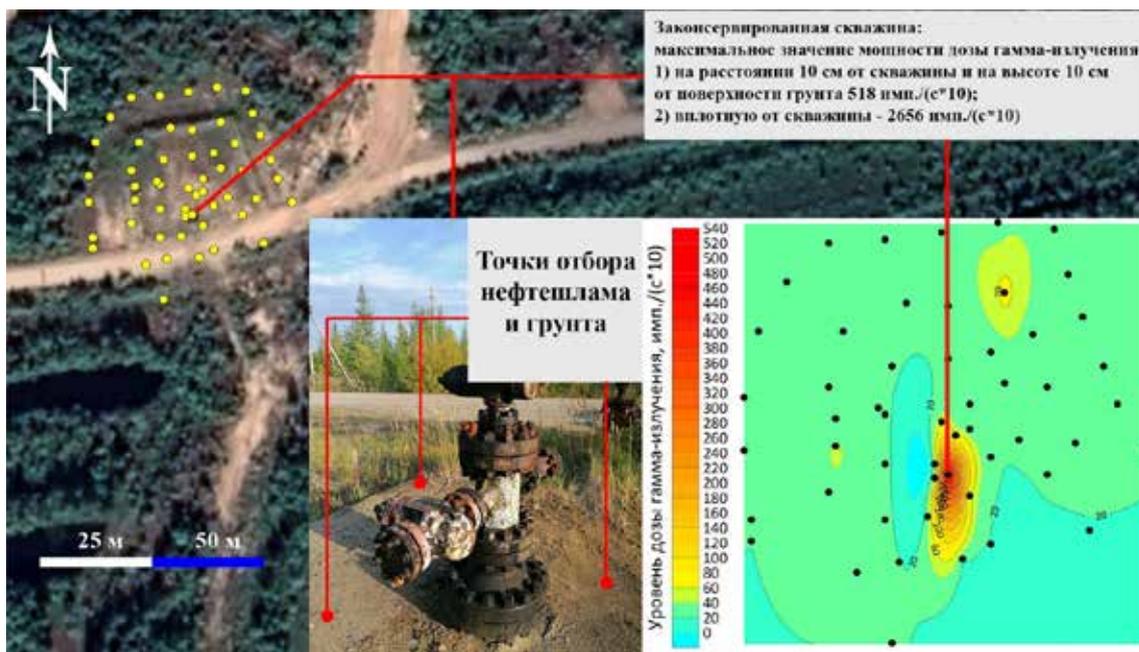


Рис. 2. Картограмма участка в т. 5 (рис. 1) и точки отбора нефтешлама и загрязненного грунта

Необходимо отметить, что территория, на которой располагается законсервированная скважина, огорожена песчаными отвалами со свободным въездом/выездом непосредственно у дороги (рис. 2).

Предупреждающие знаки об опасности отсутствуют на исследованном участке. Дорога, которая располагается в непосредственной близости к скважине используется в том числе местным населением для проезда к месту рыболовства и отдыха на реке Колва. В рамках данной научной статьи на указанном участке проанализировано две пробы: загрязненный грунт и непосредственно нефтешлам, отобранные вокруг скважины. Нефтешлам на участке был представлен отдельными углеводородными включениями черного цвета размером до нескольких сантиметров, покрытых песком (рис. 3). Результаты измерений отобранных проб приведены в таблице.

Еще одним участком с повышенным уровнем гамма-излучения является точка 7 (рис. 1), в которой мощность дозы гамма-излучения варьировалась от 0,11 до 0,18 мкЗв/ч, незначительно превышая фоновые значения. Максимальное значение мощности дозы зафиксировано вплотную от законсервированной скважины. На данном участке отобрана одна проба загрязненного грунта нефтепродук-

тами. Результаты измерений представлены в таблице.

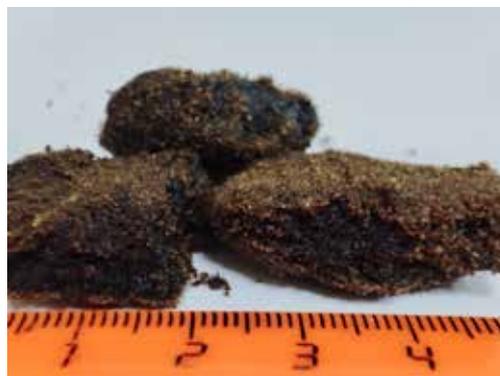


Рис. 3. Отобранные пробы нефтешлама

Результаты измерений отобранных проб (таблица) показали типичный радионуклидный состав для отходов нефтяной промышленности [4]. Основная активность обусловлена радионуклидами радия, тория, калия, поступающими вместе с попутными минерализованными водами и осаждающимися на поверхностях технологического оборудования в виде солей радия и бария [5]. В дальнейшем планируется определить элементный состав отобранных проб, а также содержание нефтепродуктов, для более детального описания изученных технологических сред.

Результаты измерений радиационных параметров
 нефтешлама и загрязненного грунта

№ п/п	Точка отбора и тип пробы (согласно рис. 1)	Радиационные параметры пробы, Бк/кг				
		Ra-226*	Ra-228	Th-232	K-40	Pb-210
1	Точка 5, загрязненный грунт	6400±830	1000±120	1190±130	500±150	910±140
2	Точка 5, нефтешлам	6900±890	1030±110	1340±150	410±120	1090±150
3	Точка 7, загрязненный грунт	145±30	80±16	85±19	320±64	60±19

Примечание: *значения удельной активности Ra-226 и Th-232 приведены по результатам экспрессного измерения без герметизации счетных образцов. На текущий момент проводятся эксперименты по оценке коэффициента накопления радона-222 и определения достоверного значения удельной активности Ra-226.

Согласно пункту 4 документа [10] «твердые отходы, образующиеся при осуществлении не связанных с использованием атомной энергии видов деятельности по добыче и переработке минерального и органического сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов, относятся к радиоактивным отходам в случае, если выполняется следующее условие:

$$A_{Ra} + 1,3 \cdot A_{Th} + 0,09 \cdot A_K > 10 \text{ Бк/г},$$

где A_{Ra} – удельная активность радия-226, находящегося в равновесии с радионуклидами уранового ряда, Бк/г; A_{Th} – удельная активность тория-232, находящегося в равновесии с радионуклидами ториевого ряда, Бк/г; A_K – удельная активность калия-40, Бк/г».

Если применить вышеуказанное требование к оценке соответствия отобранных проб критериям отнесения к радиоактивным отходам, то они не будут ими являться (сумма удельных активностей радионуклидов согласно законодательному условию ниже 10 Бк/г). Но необходимо отметить, что в рамках данной научной статьи удельная активность Ra-226 определена экспрессным методом без герметизации счетных образцов и приведения к равновесному состоянию с продуктами распада. На текущий момент проводятся эксперименты по оценке коэффициента накопления радона-222 и определения достоверного значения удельной активности Ra-226. В результате данных экспериментов удельная активность Ra-226 может существенно возрасти, что может привести к ситуации, когда отобранные пробы будут отнесены к радиоактивным отходам.

Заключение

Результаты исследований на участке в.п. Харьягинский (Ненецкий автономный округ) – г. Усинск (Республика Коми) пока-

зали наличие локальных участков, загрязненных нефтешламом и нефтепродуктами. Отдельные участки характеризуются повышенным уровнем мощности дозы гамма-излучения в пределах от 0,12 до 5,30 мкЗв/ч. Радионуклидный анализ данных участков показал повышенный уровень удельной активности радионуклидов Ra-226, Ra-228, Th-232, K-40, Pb-210. В соответствии с законодательством Российской Федерации в области радиационной безопасности данные пробы на текущем уровне проведенных измерений не являются радиоактивными отходами. Исследования проведены вне охранных зон нефтепроводов во избежание нарушений требований безопасности.

В условиях крайней ограниченности потенциально возможных мест проведения исследований в силу отсутствия разрешения на проведение работ в охранных зонах и на территориях месторождений, а также фактов выявления загрязненных нефтешламом и нефтепродуктами участков, в том числе с повышенным уровнем активности естественных радионуклидов, необходимость проведения комплексного изучения объектов окружающей среды на радиационный фактор не вызывает сомнений. Актуальности данным исследованиям добавляет тот факт, что месторождения и инфраструктура предприятий нефтегазовой отрасли располагаются в бассейне реки Колва, которая является основным источником рыбных ресурсов для местного населения и которая впадает в р. Уса и Печора, являющиеся главными водными артериями Республики Коми и Ненецкого автономного округа.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-27-20079 «Радионуклиды в экосистемах тундры: источники, уровни загрязнения, антропогенные механизмы трансформации (на примере Ненецкого автономного округа)».

Список литературы

1. Menshakova Marija, Miłosz Huber, Ramziya Gainanova, Valeriia Surovets, Nina Moiseeva, Anastasiia Nizikova, and Marina Mashinets. Content of Heavy Metals in the Lichens of Winter Reindeer Pastures of the Timan and Bolshezemelskaya Tundras. *Agriculture*. 2022. No. 12 (10). P. 122–144.
2. Пучков А.В., Яковлев Е.Ю., Дружинин С.В. Естественные и искусственные радионуклиды в снеговом покрове условно чистой территории Ненецкого автономного округа // *Успехи современного естествознания*. 2020. № 4. С. 140–145
3. Осадчая Г.Г., Зенгина Т.Ю. Возможности сбалансированного использования криосферного и ресурсного потенциала Большеземельской тундры // *Криосфера Земли*. 2012. № 2. Т. 16. С. 43–51.
4. Лебедев В.А., Карабута В.С. Проблемы обеспечения радиационной безопасности в нефтедобывающей промышленности России // *Молодой ученый*. 2016. № 1 (105). С. 257–261.
5. Нозик М.Л. Научно-методические основы обеспечения радиоэкологической безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса: спец. 25.00.36 «Геоэкология»: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Москва, 2010. 165 с.
6. Stephenson M.T. *A Survey of Produced Water Studies*. Springer, Boston, 1992. P. 12. DOI: 10.1007/978-1-4615-2902-6_1.
7. Khalid Al Nabhani, Faisal Khan, Ming Yang. Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials in oil and gas production: A silent killer. *Process Safety and Environmental Protection*. 2016. Vol. 99. P. 237–247.
8. Natural Radioactivity in Produced Water from the Norwegian Oil and Gas Industry in 2003: сайт / Norwegian Radiation Protection Authority, 2004. P. 54. URL: <https://www2.dsa.no/publication/straalevernrapport-2005-2-natural-radioactivity-in-produced-water-from-the-norwegian-oil-and-gas-industry-in-2003.pdf> (дата обращения: 01.10.2022).
9. Кошкина В.В., Ярош В.И. О морских перевозках радиоактивных отходов, образующихся при нефтегазодобыче на шельфе // *Сборник научных трудов АО «ЦНИИМФ»*. СПб., 2016. С. 63–75.
10. Постановление Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов». URL: <https://base.garant.ru/70247038/> (дата обращения: 30.09.2022).

УДК 553.981

УГЛЕВОДОРОДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Рудых И.В.

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, e-mail: rudih@mail.ru

Нефтегазовый комплекс Республики Саха (Якутия) за последнее десятилетие вышел на совершенно новый этап развития. В период с 2012 по 2021 гг. в Республике открыто 8 нефтегазовых месторождений. Балансовые запасы промышленных категорий C_1+C_2 Республики Саха (Якутия) увеличились по газу на 353,2 млрд m^3 , по извлекаемой нефти на 101,4 млн т. Развитие ключевых инвестиционных проектов топливного комплекса Республики позволило обновить исторические показатели по добыче газа и нефти, которые в 2021 г. достигли 13,8 млрд m^3 и 17,3 млн т соответственно. Уникальная минерально-сырьевая база является основой развития экономики Республики Саха (Якутия). При ее крупнейших территориальных размерах и огромных природных богатствах недр она является уникальным регионом, одним из немногих в Российской Федерации, где имеются реальные весьма крупные резервы для ускоренного прироста запасов нефти и газа на континентальной суше и на шельфе прилегающих морей. Арктические территории континентального шельфа моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря, несмотря на весьма слабую и неравномерную геолого-геофизическую изученность, однозначно на российском и международном уровнях оцениваются как высокоперспективные в нефтегазовом отношении. Практически вся Восточная Арктика обладает уникально высоким прогнозным углеводородным потенциалом. В настоящей статье по результатам проведенного анализа перспектив нефтегазоносности Якутии в целом и арктических территорий в частности предлагается проведение комплекса поисково-разведочных работ с целью существенного прироста запасов углеводородного сырья.

Ключевые слова: нефть, газ, углеводороды, запасы, прирост, Арктика, Республика Саха (Якутия)

HYDROCARBON POTENTIAL REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

Rudykh I.V.

North-Eastern Federal University M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: rudih@mail.ru

The oil and gas industry of the Republic of Sakha (Yakutia) has entered a completely new stage of development over the past decade. In the period from 2012 to 2021, eight oil and gas fields were discovered in the Republic. The reserves of industrial categories C_1+C_2 of the Republic of Sakha have increased by 353.2 billion m^3 for gas and 101.4 million tons for recoverable oil. The development of key investment projects of the fuel complex of the republic made it possible to update the historical indicators for gas and oil production, reaching 13.8 billion m^3 and 17.3 million tons in 2021, respectively. The unique mineral resource base is the basis for the development of the economy of the Republic of Sakha (Yakutia). With its largest areal dimensions and enormous natural wealth, the subsoil is a unique region, one of the few in the Russian Federation, where there are real, very large reserves for the accelerated growth of oil and gas reserves on continental land and on the shelf of adjacent seas. The Arctic territories of the continental shelf of the Laptev Sea and the East Siberian Sea, despite the very weak and uneven geological and geophysical knowledge, are unequivocally assessed at the Russian and international levels as highly promising in terms of oil and gas. Almost the entire Eastern Arctic has a uniquely high predictive hydrocarbon potential. In this article, based on the results of the analysis of the prospects for the oil and gas potential of Yakutia in general and the Arctic territories in particular, it is proposed to carry out a complex of prospecting and exploration works with the aim of a significant increase in hydrocarbon reserves.

Keywords: oil, gas, hydrocarbons, reserves, growth, Arctic, Republic of Sakha (Yakutia)

Республика Саха (Якутия) занимает более 18% территории Российской Федерации. Вместе с тем следует отметить слабую изученность сейсморазведочными работами и низкую плотность глубокого бурения запасов нефти и газа. Прогнозные ресурсы Якутии оцениваются по категориям $C_3+D_1+D_2$ по газу в 10,1 трлн m^3 , по нефти (извлекаемой) – в 2,3 млрд т [1].

В последние годы особое внимание уделяется арктическим территориям Республики Саха (Якутия), в частности территориям континентального шельфа моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. Несмотря на весьма низкую изученность, данные территории оцениваются как высокоперспективные в нефтегазовом отношении [2]. Практически вся Восточная Арктика обла-

дает уникально высоким прогнозным углеводородным потенциалом.

Цели исследования: определить перспективы нефтегазоносности Республики Саха (Якутия), а также ее арктических территорий; внести предложения по проведению геолого-разведочных работ на наиболее перспективных территориях.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования послужили арктические территории Республики Саха (Якутия) в частности и Республика в целом. Проведены сбор, систематизация и анализ полевых материалов, полученных по результатам проведенных геолого-разведочных работ.

Республика Саха (Якутия) по геологической изученности согласно международным

стандартам лишь на 15% обладает разведанными запасами и прогнозными ресурсами нефти и газа.

Арктические территории континентального шельфа моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря, несмотря на весьма слабую и неравномерную геолого-геофизическую изученность, однозначно на российском и международном уровнях оцениваются как высокоперспективные в нефтегазовом отношении. Практически вся Восточная Арктика обладает уникально высоким прогнозным углеводородным потенциалом.

В настоящее время основными центрами добычи нефти и газа являются Непско-Ботубинская антеклиза (Пеледуйский свод и Мирнинский выступ), а также Вилюйская синеклиза, расположенные в пределах юго-западной Якутии. В пределах арктической территории Республики к настоящему времени не открыто ни одного месторождения углеводородов, за исключением выявленного нефтепроявления в пределах Южно-Тигянской площади в 1954 г. (Анабарский улус (район) Республики Саха (Якутия)).

Интервалы залегания продуктивных нефтегазовых горизонтов в Республике изменяются от 1000 м на крупном Талаканском нефтегазоконденсатном месторождении, расположенном в пределах Непско-Ботубинской антеклизы, до 3600 м на Соболюх-Неджелинском газоконденсатном месторождении в Вилюйской синеклизе [3].

Также особое внимание стоит уделить перспективам нефтегазоносности Предпатомского краевого прогиба, где степень опоискованности начальных сырьевых ресурсов (НСР) по перспективным на нефть и газ площадям составляет всего 4%; в свою очередь степень опоискованности НСР в пределах Непско-Ботубинской антеклизы и Вилюйской синеклизы составляет 40% и 17% соответственно [4]. Следует отметить также, что территория Предпатомского краевого прогиба расположена в непосредственной близости от магистрального газопровода «Сила Сибири» (МГ «Сила Сибири») и нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» («ВС-ТО»). Данный факт дает преимущество в плане подключения и наполнения газо- и нефтепровода с минимальными затратами на развитие необходимой инфраструктуры по отношению к северным территориям Якутии.

Вместе с тем Арктика, несомненно, играет ключевую роль в восполнении минерально-сырьевой базы углеводородного сырья как Республики Саха (Якутия), так

и Российской Федерации в целом. Учитывая ее высокие перспективы в плане открытия крупных месторождений нефти и газа, считаем необходимым увеличение объемов геолого-разведочных работ с целью прироста запасов нефти, газа и их дальнейшей разработки, что в свою очередь повлечет за собой рост экономического и социально-го развития северных территорий.

По данным количественной оценки прогнозных ресурсов углеводородов, учтенной при разработке Минприроды России в 2000 г. «Концепции изучения и освоения углеводородных ресурсов морской периферии России в новых экономических условиях», показатели по шельфу моря Лаптевых, принятые с понижающим коэффициентом в связи со слабой геолого-геофизической изученностью территории и полным отсутствием глубокого бурения, составляют более 5 млрд т условных углеводородов (УУВ) с равным соотношением нефти и газа. По шельфу Восточно-Сибирского моря прогнозный углеводородный потенциал оценивается более чем в 9 млрд т УУВ.

О перспективах арктических территорий свидетельствует открытое нефтепроявление с притоком нефти объемом до 12 м³/сут. из скважины № Р-102, расположенной на Южно-Тигянской антиклинальной структуре Анабаро-Хатангской нефтегазоносной области [5]. Доразведка данного месторождения, постановка комплекса геолого-геофизических исследований и бурение скважины до глубины 5 км, очевидно, приведут к открытию месторождения [6]. Но в настоящее время в пределах арктических территорий Якутии отсутствуют открытые и поставленные на государственный баланс Российской Федерации месторождения нефти и газа.

В подтверждение высоких перспектив нефтегазоносности в Арктике говорит факт открытия ПАО НК «Роснефть» в 2017 г. Центральное-Ольгинского нефтяного месторождения, расположенного на границе Красноярского края и Республики Саха (Якутия) в пределах полуострова Хара-Тумус и частично в акватории Хатангского залива Первоначальные запасы нефти по месторождению составили 81 млн т по категориям В₁+В₂.

На современном этапе минерально-сырьевая база углеводородного сырья Якутии составляет по газу 3,1 трлн м³, нефти (извлекаемой) – более 650 млн т [7, 8]. При этом рост балансовых запасов по газу составил 113% – с 2716,8 млрд м³ в 2012 г. до 3069,9 млрд м³ в 2021 г. (рис. 1) [7, 9].

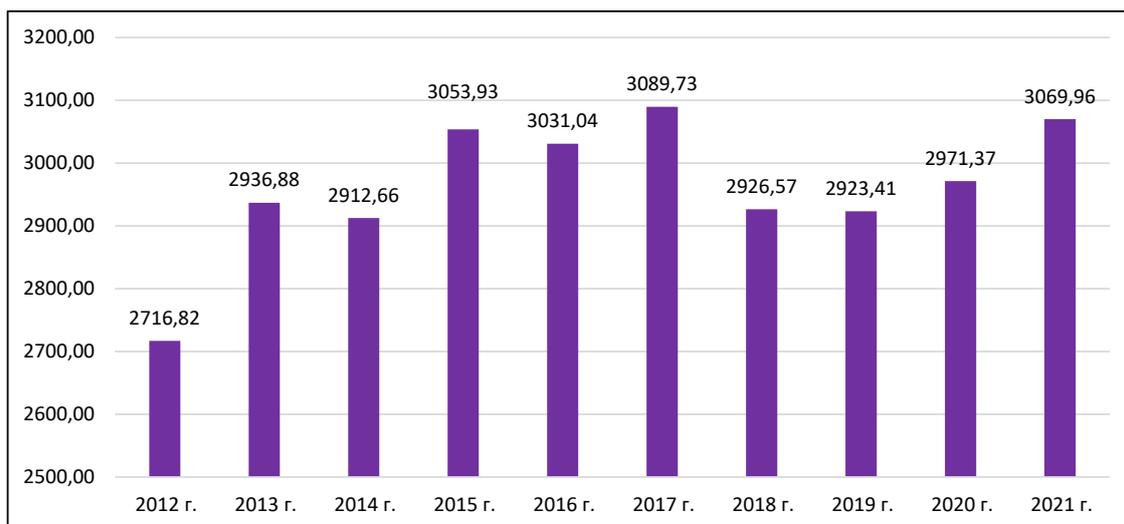


Рис. 1. Балансовые запасы газа по Республике Саха (Якутия), млрд м³

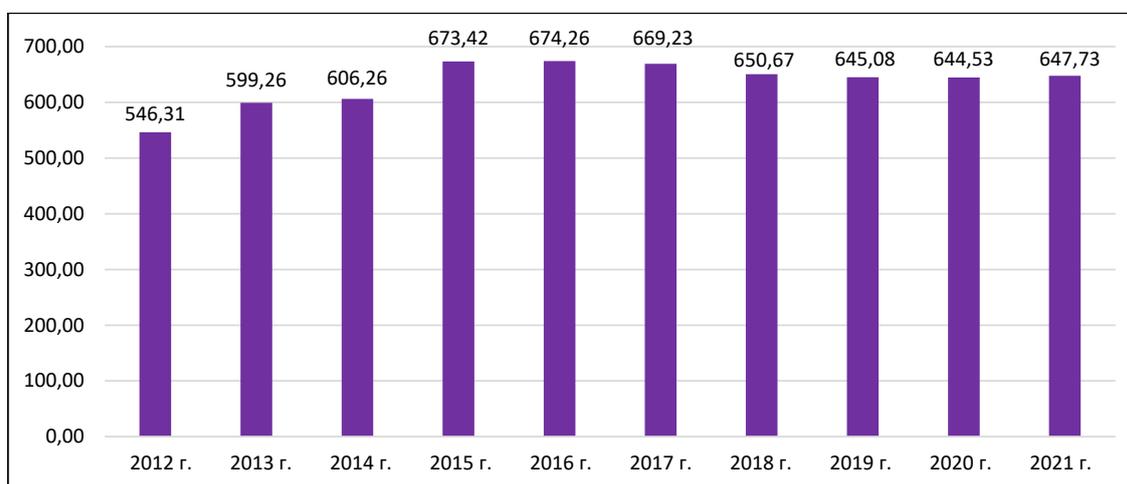


Рис. 2. Балансовые запасы извлекаемой нефти по Республике Саха (Якутия), млн т

Рост балансовых запасов извлекаемой нефти составил 119% – с 546,3 млн т в 2012 г. до 647,7 млн т в 2021 г. (рис. 2) [8, 10].

Значительный вклад в развитие нефтегазового комплекса Якутии обеспечивают такие компании-недропользователи, как: ПАО «Газпром», ПАО «Сургутнефтегаз», ПАО НК «Роснефть», ООО «Иркутская нефтяная компания», ПАО «Якутская топливно-энергетическая компания», ООО «Газпромнефть-Ангара» и многие другие. Развитие инвестиционных проектов топливно-энергетического комплекса Республики и начало подачи нефти по «ВС-ТО» и газа по МГ «Сила Сибири» позволили достичь показателей в 2021 г. по добыче нефти до 17,3 млн т и газу до 13,8 млрд м³ [11].

Всего на территории Республики Саха (Якутия) в настоящее время открыты 46 месторождений нефти и газа, действуют 133 лицензии на геологическое изучение, поиски, разведку и добычу углеводородного сырья [12]. Вместе с тем следует отметить, что 4 мелких газовых месторождения (Андыхлахское, Бадаранское, Нижневилуйское и Нижнетюкянское) до настоящего времени находятся в нераспределенном фонде – отсутствует недропользователь. Несмотря на неоднократно проводимые аукционы, пользователь недр по месторождениям так и не был объявлен. Основная причина данного факта кроется в низких запасах по месторождениям и неразвитой инфраструктуре. Одним из 4 перспективных месторожде-

ний является Бадаранское газовое месторождение с запасами 6,1 млрд м³. Данное месторождение является недоразведанным и обладает высоким углеводородным потенциалом. На данный факт указывает расположение месторождения – в пределах структуры I порядка Хапчагайского мегавала Вилюйской синеклизы, в пределах которого открыты также Средневилюйское, Толонское, Мастахское, Саболох-Неджелинское, Нижневилюйское газовые месторождения с разведанными запасами в объеме 465,2 млрд м³ по категориям В₁+В₂, представляющие единый газоносный район.

Из данных диаграммы (рис. 3) видно, что практически при неизменном со-

стоянии балансовых запасов газа (рис. 4) прирост осуществляется недостаточно оперативно и составил по результатам 2021 г. 13,8 млрд м³, несмотря на ежегодное увеличение финансирования объемов геолого-разведочных работ. В первую очередь можно предположить, что необходимы поиск каких-то новых современных подходов проведения комплекса поисковых, поисково-разведочных работ, а также возможный переход на более глубокие горизонты поисковых работ. Отрицательная динамика по приросту газа в 2014 г. и в 2016 г. связана с пересчетом запасов газа по Чаяндинскому нефтегазоконденсатному месторождению.

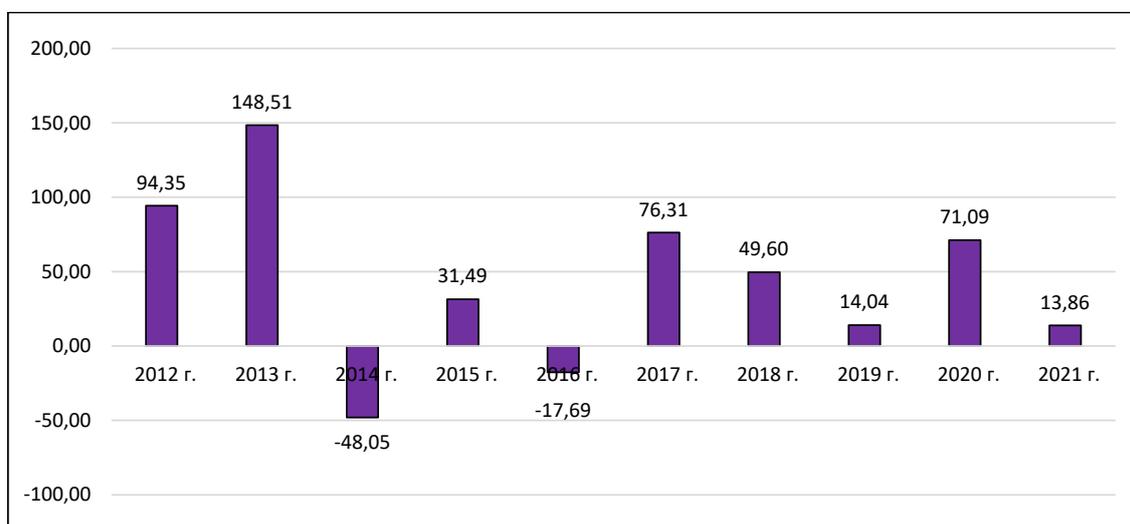


Рис. 3. Прирост балансовых запасов газа по Республике Саха (Якутия), млрд м³

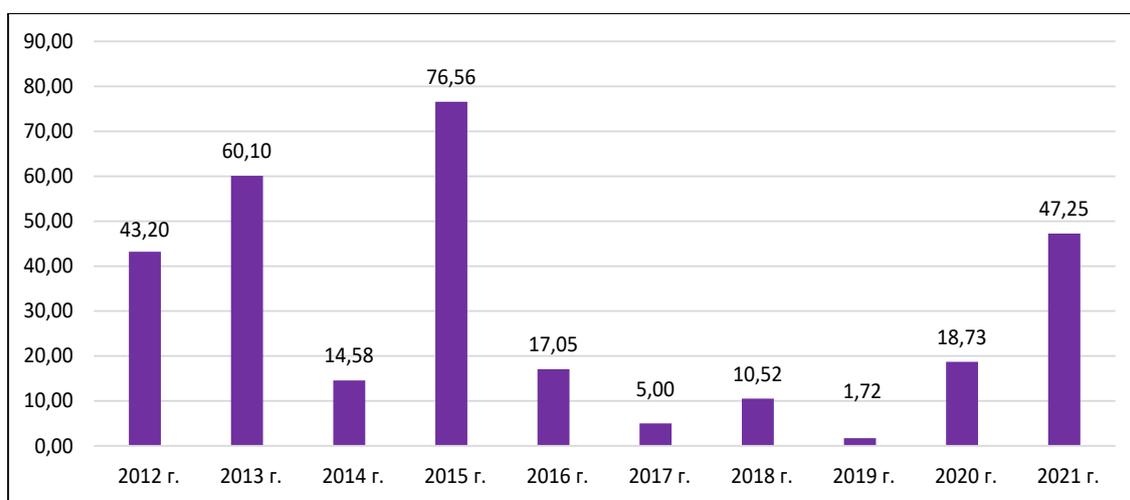


Рис. 4. Прирост балансовых запасов нефти (извлекаемой) по Республике Саха (Якутия), млн т

Выводы

В результате проведенного анализа можно сделать следующий вывод. Финансирование геолого-разведочных работ за счет собственных средств недропользователей растет от года к году, превысив в 2021 г. 20 млрд руб. За счет средств федерального бюджета в Республике Саха (Якутия) за последние 10 лет выполнены региональные геолого-геофизические работы по 22 объектам с ежегодным увеличением финансирования. Но, несмотря на увеличение объемов геолого-разведочных работ и их ежегодно увеличивающееся финансирование, динамика прироста запасов газа показывает отрицательный характер – с 94,3 и 148,5 млрд м³ в 2012 и 2013 гг. соответственно до 13,8 млрд м³ в 2021 г. [7, 9].

С учетом бурного развития современных технологий, очевидно, необходимо искать новые методы и методики изучения наиболее глубоко залегающих продуктивных горизонтов на нефть и газ с использованием современных комплексов обработки больших данных.

С учетом высоких перспектив открытия новых месторождений нефти и газа в арктических территориях Республики Саха (Якутия) в первую очередь предлагаются постановка комплекса региональных геолого-разведочных работ и бурение параметрических скважин по результатам проведенных работ, на арктическом побережье моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря (рис. 5, 6; табл. 1, 2).



Рис. 5. Схема расположения участка предлагаемых к постановке геолого-разведочных работ на арктическом побережье моря Лаптевых

Таблица 1

Рекомендуемые геологоразведочные работы на арктическом побережье моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря

№ п/п	Наименование скважины	Местоположение	Рекомендуемая глубина	Проектный горизонт
1	Сейсморазведочные работы МОГТ-2Д	Континентальная часть арктического побережья моря Лаптевых	3000 пог. км	До кристаллического фундамента
3	Усть-Ленская	шельф	4000	мезозой



Рис. 6. Схема расположения участка предлагаемых к постановке геолого-разведочных работ на Арктическом побережье Восточно-Сибирского моря

Таблица 2

Рекомендуемые геолого-разведочные работ
 в северной части Тастахского прогиба и в устьевой части р. Колымы

№ п/п	Наименование скважины	Местоположение	Рекомендуемая глубина	Проектный горизонт
	Сейсморазведочные работы МОГТ-2Д	Северная часть Тастахского прогиба и устьевая часть р. Колымы	5000 пог. км	До кристаллического фундамента
1	Тастахская	арктическое побережье	4000	мезозой

В составе региональных работ в северо-западном секторе предлагаются проведение региональных сейсморазведочных работ МОГТ-2Д и заложение параметрической скважины (рис. 5). В составе региональных работ в северной части Тастахского прогиба предлагаются проведение региональный сейсморазведочных работ МОГТ-2Д и заложение параметрической скважины (рис. 6).

Список литературы

1. Слепцова М.И., Ситников В.С., Севостьянова Р.Ф. Прогнозные ресурсы углеводородов и их освоение на северных территориях Якутии // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2018. Т. 13. № 4. С. 9.

2. Сафронов А.Ф., Ситников В.С. Перспективы нефтегазоносности шельфа моря Лаптевых и прилегающих арктических территорий Якутии // Арктика и Северный морской путь. 2001. С. 32-36.

3. Парфенов Л.М., Кузьмин М.И. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 571 с.

4. Сафронов А.Ф. Геология нефти и газа. Якутск: СО РАН, 2000. 166 с.

5. Зотеев А.М. Якутия. Нефть и газ: от истоков до добычи. М.: Де-По, 2012. 496 с.

6. Сивцев А.И., Чалая О.Н., Зуева И.Н. Модель Южно-Тигянского месторождения тяжелой нефти // Георесурсы. 2017. Т. 19. № 3. Ч. 2. С. 279-283.

7. Государственный баланс полезных ископаемых (Республика Саха (Якутия) на 01.01.2021г. (Газы горючие) // Федеральное государственное бюджетное учреждение «Рос-

сийский федеральный геологический фонд». 2021. № 82. Часть 1. С. 2-3.

8. Государственный баланс полезных ископаемых (Республика Саха (Якутия) на 01.01.2021 г. (Нефть) // Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский федеральный геологический фонд». 2021. № 81. Часть 1. С. 2-4.

9. Государственный баланс полезных ископаемых (Республика Саха (Якутия) на 01.01.2013 г. (Газы горючие) // Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский федеральный геологический фонд». 2013. № 82. Часть 1. С. 2-4.

10. Государственный баланс полезных ископаемых (Республика Саха (Якутия) на 01.01.2013 г. (Нефть) // Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский федеральный геологический фонд». 2013. № 81. Часть 1. С. 2-5.

11. Министерство промышленности и геологии Республики Саха (Якутия) // Отрасли. Нефтегазовая промышленность. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://minprom.sakha.gov.ru/otrasli/neftegazovaja-promyshlennost/dinamikadobychi/2021> (дата обращения: 03.10.2022).

12. Российский федеральный геологический фонд. [Электронный ресурс]. URL: <https://rfgf.ru/ReestrLic/> (дата обращения: 03.10.2022).

ВЛАГОЗАПАСЫ ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ БАСЕЙНА РЕКИ ЛЕНЫ

Угаров И.С., Ефремов П.В.

*ФГУВ Институт мерзлотоведения СО РАН им. академика П.И. Мельникова, Якутск,
e-mail: pvefremov@mpi.ysn.ru*

В статье представлены данные геокриологических исследований на мониторинговых полигонах Института мерзлотоведения СО РАН и расчетные данные влажности грунтов в зависимости от выпадающих осадков, величины испарения, а также свойства почв, влияющие на процессы инфильтрации и испарения. Влагозапас почвогрунтов имеет большое влияние на мощность сезонно-талого и сезонно-мерзлого слоев многолетнемерзлых грунтов. Водный режим почв подчиняется принципу зональности, так как климат, растительность и водные свойства почв имеют зональный аспект. По карте увлажненности Д.И. Шашко территория бассейна реки Лены по условиям годового увлажнения попадает в зону достаточно влажного, умеренно влажного и недостаточного увлажнения. По картам растительности, увлажненности и разновидностям механического состава водно-физических свойств мы можем проводить приблизительный расчет пределов изменения влажности почв в засушливые и увлажненные годы. В каждом типе ландшафтов по совокупности тех или иных условий влажности почвы может меняться от влажности завядания до полной влагоемкости. Поэтому использовали водные константы и физические свойства почв в зависимости от механического состава. Величина влагозапасов деятельного слоя ландшафтов зависит от атмосферных осадков, испаряемости, типа растительного покрова, рельефа, механического состава и водно-физических свойств почвогрунтов, глубины сезонного протаивания и т.д. Приблизительный расчет влагозапасов деятельного слоя почвогрунтов бассейна реки Лены, показал широкий диапазон его изменения от 20 до 910 мм в зависимости от ландшафтов, механического состава и водно-физических свойств грунтов, глубины сезонного протаивания и промерзания. Также провели анализ распределения влагозапасов деятельного слоя в зависимости от минимального и максимального протаивания почвогрунтов в процентном отношении.

Ключевые слова: влажность почвогрунтов, испаряемость, гидротермический коэффициент, осадки, карта увлажненности

ACTIVE-LAYER SOIL MOISTURE IN THE LENA RIVER BASIN

Ugarov I.S., Efremov P.V.

Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, e-mail: pvefremov@mpi.ysn.ru

This paper presents the data from geocryological investigations at the Melnikov Permafrost Institute's monitoring sites and the estimated soil moisture contents in relation to precipitation, evaporation and soil properties controlling infiltration and evaporation. Soil moisture storage has a strong influence on the thickness of the active layer of permafrost. Soil moisture regimes exhibit zonality, because climate, vegetation and soil hydrological properties have a zonal aspect. According to the Shashko's moisture index map, the Lena River basin lies within the zones of high, moderate and insufficient annual moisture supply. Based on the vegetation and moisture maps, soil texture and soil hydrophysical properties, we can roughly estimate the moisture content limits in dry and wet years. In each landscape type, soil moisture can vary from wilting point to field capacity depending on the combination of factors. We therefore used the soil water constants and physical properties related to texture. Soil moisture storage in the active layer of landscapes depends on precipitation, potential evapotranspiration, vegetation type, topography, soil texture and hydrophysical properties, seasonal thaw depth, etc. An approximate estimation for the Lena River basin has shown that the soil water storage varies over a wide range, from 20 to 910 mm, depending on land cover, soil texture and soil hydrophysical properties, as well as depths of seasonal thawing and freezing. We also analyzed the distribution of active-layer soil moisture storage in relation to minimum and maximum thaw on a percentage basis.

Keywords: soil moisture content, potential evapotranspiration, Hydro-Thermal Coefficient, precipitation, moisture map

Создание самой почвы, нормальное протекание важнейших физиологических процессов невозможно без постоянного и достаточного наличия влаги. От влагозапасов почвы в большей степени зависит и мощность сезонно-талого и сезонно-мерзлого слоев (СТС-СМС), которые являются одной из наиболее динамичных характеристик многолетнемерзлых пород. Условия увлажнения в отдельных природных зонах зависят не столько от количества выпадающих осадков и величины испарения, отдельно взятых, сколько от их соотношения, определяющего водный баланс почв и рас-

тений, а также от свойств почв, влияющих на процессы инфильтрации и испарения. Факторы, определяющие скорость потока тепла и влаги, в первую очередь климат, растительность и водные свойства почв, имеют зональный аспект, поэтому водный режим почв подчиняется принципу зональности.

Цель исследования – приблизительный расчет влагозапасов деятельного слоя основных типов ландшафтов бассейна р. Лены.

Материалы и методы исследования

Методика расчета. Для расчета влажности грунтов различных типов ландшаф-

тов исходным материалом послужили: ландшафтная карта, карты типов растительности и влагообеспеченности, разрезы поверхностных отложений, водно-физические константы, материалы экспериментальных исследований гидротермического режима почв и др.

Для определения степени увлажнения существуют многочисленные показатели. На практике в основном используются радиационный индекс сухости, отношение осадков к дефициту влажности воздуха, гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова, отношение осадков к расчетным величинам испаряемости по основным факторам испарения и др.

В качестве одного из основных показателей широко применяется гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова

$$P/0,1\Sigma T,$$

где P – осадки; ΣT – сумма температур за летние месяцы [1, с. 154].

Недостатком ГТК является неучет весенних запасов влаги в почве.

Радиационный индекс сухости М.И. Бурдыко (1956)

$$R/LP,$$

где R – радиационный баланс; LP – затрата тепла на испарение осадков, ограничен тем, что актинометрические наблюдения проводятся только на станциях 1 класса [2, с. 161].

П.И. Колосков (1947) предложил определять увлажненность почвы через формулу

$$W = K(H/E - e)$$

где W – увлажненность почвы, H – количество осадков, E – e – недостаток упругости пара и K – коэффициент пропорциональности [3, с. 27].

Применение этой формулы затрудняется тем, что K подлежит дополнительному определению на основании учета данных о влажности почвы.

Метод Д.И. Шашко (1985)

$$KU = P/0,45\Sigma D,$$

где P – годовое количество осадков, ΣD – сумма дефицита влажности воздуха [4, с. 45].

Он более точно отражает степень увлажненности местности, так как учитывает годовой ход осадков и испарения. Показатель увлажнения Н.Н. Иванова (1948) еще лучше выражает природные зональные особенности территории и динамику увлажнения теплого периода:

$$E_m = 0,0018(25 + t)^2 (100 - a),$$

где E_m – испаряемость за месяц, мм; t – средняя температура месяца, °C; a – средняя относительная влажность воздуха за месяц, в % [5, с. 80].

Мы использовали карту увлажненности, построенную Д.И. Шашко (1985) по методу Н.Н. Иванова [4, с. 89]. Территория бассейна р. Лены по условиям годового увлажнения попадает в зону достаточно влажного, умеренно влажного и недостаточного увлажнения.

По картам растительности, увлажненности и разновидностям механического состава водно-физических свойств мы можем проводить приблизительный расчет пределов изменения влажности почв в засушливые и увлажненные годы. Так, например, почвы зоны тундры переувлажнены весь теплый сезон, и их влажность изменяется от полной до наименьшей влагоемкости. В каждом типе ландшафтов по совокупности тех или иных условий влажность почвы может меняться от влажности завядания до полной влагоемкости. Поэтому необходимо использовать водные константы и физические свойства почв в зависимости от механического состава.

Средние величины плотности твердого минерального компонента мерзлой породы называют удельным весом (УВ). Для приближенных расчетов УВ принимают равными для песков – 2,65, суглинков – 2,70–2,73 и глин – 2,75 г/см³. Плотность скелета мерзлой породы изменяется в среднем от 2,0 до 0,62 г/см³. Плотность мерзлой породы изменяется от 1,0 г/см³ и меньше для сильнольдистых льдонасыщенных пород с атакситовой криогенной текстурой, до 2,73 г/см³ и выше для прочно сцементированных аргиллитов и песчаников с массивной криогенной текстурой [6, с. 112]. Объемный вес (ОВ) и наименьшую влагоемкость (НВ) разновидностей механического состава мы получили в результате статистической обработки данных более 60 почвенных разрезов. Полная влагоемкость (ПВ) рассчитывается по данным удельного и объемного весов. По данным Л.Г. Еловской, А.К. Коноровского (1976) влажность разрыва капилляров (ВРК) можно принять равной некоторой доле НВ, а именно для почв: песчаных ВРК – 0,50 НВ, супесчаных ВРК – 0,55 НВ, легкосуглинистых ВРК – 0,60 НВ, средне- и тяжелосуглинистых ВРК – 0,70 НВ и глинистых ВРК – 0,80 НВ [7, с. 128].

Средненные данные водно-физических свойств почв

Почвогрунт	УВ, г/см ³	ОВ, г/см ³	ПВ, % от веса	НВ, % от веса	ВРК, % от веса	ВЗ, % от веса
Суглинок	2,71	1,37	49	26	17	9
Супесь	2,63	1,45	45	22	14	4
Песок	2,66	1,43	46	16	8	2
Мох	1,48	0,18	88	62	43	14
Торф	1,48	0,28	81	56	43	14
Щебень	2,70	2,70				
Галька, валун	2,65	2,65				

Влажность устойчивого завядания (ВЗ) абсолютно сухой почвы по данным С.А. Верига, Л.А. Разумовой (1973) можно принять: песок – 0,5–1,5, супесь – 1,5–4,0, суглинок легкий – 3,5–7,0, суглинок средний – 5,0–7,0, суглинок тяжелый – 8,0–12,0, глина – 12,0–20,0, торф (низинного болота) – 40,0–50,0 в процентах от веса [8, с. 56]. Влажность ВЗ в период вегетации растений несколько изменяется в связи с изменением температуры почвы, поскольку подвижность влаги увеличивается, а вязкость и водоудерживающая сила с повышением температуры уменьшаются. К концу лета влажность устойчивого завядания ниже, чем весной. Однако эти изменения невелики. По расчетам, выполненным на основе данных о температуре почвы, они колеблются около 5% величины влажности.

Средненные данные водно-физических свойств почв бассейна р. Лены представлены в таблице.

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Удельный и объемный вес. Доля почвогрунтов с удельным весом, равным 2,64–

2,65 г/см³, соответствует песчаному механическому составу и занимает 22% от общей площади (рис. 1, а). Почти столько же площади занимают почвогрунты с супесчаным и песчаным механическим составом (УВ = 2,66–2,67 г/см³). Почвогрунты плакорных, склоновых делювиально-коллювиальных, делювиально-солифлюкционных на карбонатных горных породах, межгаласных, долинных, горно-склоновых делювиально-солифлюкционных комплексов с суглинистым составом отложений с удельным весом 2,70–2,71 г/см³ занимают до 44% площади. Доля торфянистых почв с удельным весом 1,48 г/см³ также значительна – 11%. Они встречаются на приводораздельных, межгрядово-низинных, интразональных долинных, северо- и средне-таежных задровых, ледниково-долинных и мелководных типах местности. Средний объемный вес почвогрунтов деятельного слоя, кроме торфа, изменяется незначительно и колеблется от 1,37 до 1,45 г/см³. Самую большую площадь занимают почвогрунты с объемным весом 1,37 г/см³ (53%), наименьшую с объемным весом 0,28 г/см³ – 4% (рис. 1, б).

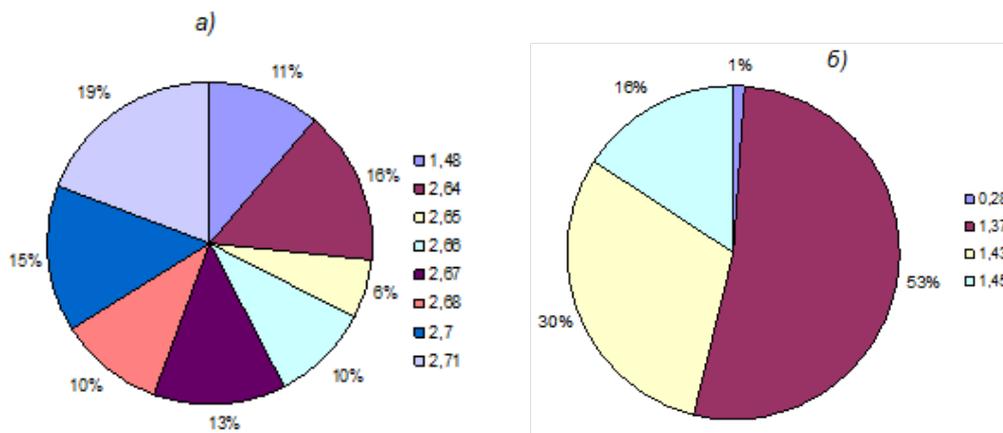


Рис. 1. Площадь распределения удельного (а) и объемного (б) весов почвогрунтов бассейна р. Лены

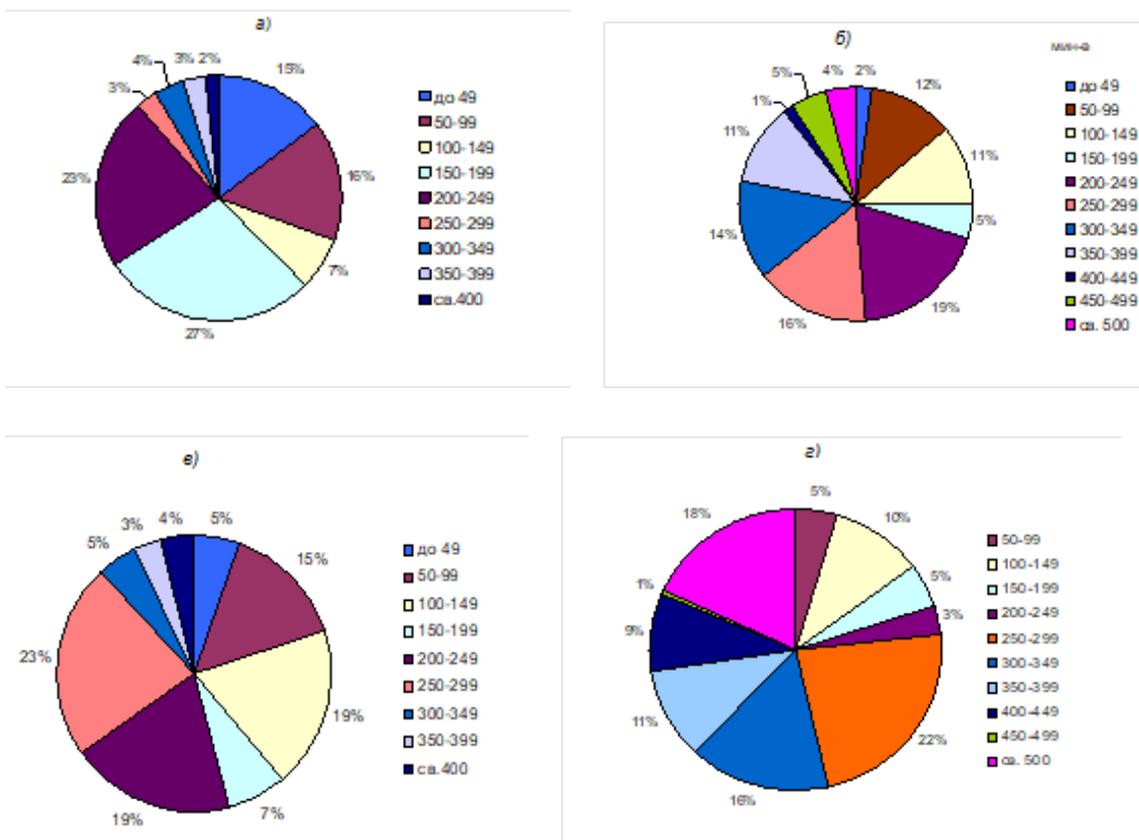


Рис. 2. Площадь распределения влагозапасов деятельного слоя почвогрунтов бассейна р. Лены:
 а) нижний предел увлажнения при минимальном СТС;
 б) верхний предел увлажнения при минимальном СТС;
 в) нижний предел увлажнения при максимальном СТС;
 г) верхний предел увлажнения при максимальном СТС

Влагозапасы почвогрунтов. Величина влагозапасов деятельного слоя ландшафтов зависит от атмосферных осадков, испаряемости, типа растительного покрова, рельефа, механического состава и водно-физических свойств почвогрунтов, глубины сезонного протаивания и т.д.

Рассмотрим минимальное содержание влаги в деятельном слое, которое может наблюдаться в засушливые годы и максимальное ее содержание в более увлажненные годы. В засушливые годы влагозапасы деятельного слоя бассейна р. Лены изменяются от 20 до 590 мм. Наименьшее содержание влаги наблюдается на горно-тундровых, горно-редколесных типах ландшафта, где в составе почвогрунтов содержатся до 80% гравия и галечника, а протаивание составляет всего 0,6–0,8 м. Наибольшее количество влаги наблюдается на тундровых и среднетаежных типах ландшафта. В зоне тундры количество осадков превышает испаряемость, поэтому в теплый

период почва постоянно переувлажнена. В среднетаежных ландшафтах с прерывистым и островным характером многолетнемерзлых пород наибольшее содержание влаги объясняется суглинистым механическим составом почвогрунтов и большой глубиной протаивания.

В наиболее увлажненные годы максимальное содержание влаги в деятельном слое может достигать 650–910 мм при больших значениях мощности деятельного слоя. Такое содержание влаги характерно для среднетаежных ландшафтов с прерывистым и островным распространением многолетнемерзлых пород, а также для сезоннопромерзающих южнотаежных ландшафтов. Механический состав почвогрунтов при этом в основном суглинистый, растительность представлена лиственнично-сосновым, ольховниковым лимнасово-кустарничково-зеленомошным и пихтово-кедровым, кедрово-еловым лесами.

Для упрощения анализа пространственного распределения влагозапасов деятельного слоя нами проведена градация его через 50 мм (рис. 2). Из диаграммы видно, что почвогрунты с влагозапасом до 50 мм при минимальном СТС-СМС в засушливые годы занимают 15%, а во влажные годы – 2% от общей площади (рис. 2, а, б). Такие влагозапасы характерны для горно-тундрового, горно-редколесного и подгольцово-кустарникового типов ландшафта с песчаным и супесчаным механическим составом с включениями гравия и щебня, для которого характерно небольшое значение сезонного протаивания. Наибольшую площадь в засушливые годы при минимальном СТС занимают почвогрунты с влагозапасом от 150 до 200 мм (27%), а во влажные годы – от 200 до 250 мм (19%). Почвогрунты с таким влагозапасом встречаются в северотаежных, среднетаежных и горно-таежных типах ландшафта. В этих типах ландшафта преобладают почвогрунты из суглинка, супеси, песка с включениями гравия и щебня. Средние значения глубин сезонного протаивания составляют 1,2–1,6 м. Среднетаежные и горно-таежные ландшафты с островными и прерывистыми многолетнемерзлыми породами, южнотаежные талые с СМС до 2,5 м содержат свыше 400 мм влаги и занимают от 2 до 0% общей площади.

При максимальном протаивании в засушливые годы почвогрунты с содержанием влаги 50–100 мм занимают 15% площади (рис. 2, в). Почвогрунты с таким содержанием влаги встречаются на подгольцово-кустарниковых, горно-редколесных, горно-тундровых, северотаежных ландшафтах. Общим для них является то, что почвогрунты содержат до 80% грубообломочного материала и протаивают от 0,8 до 1,5 м. Во влажные годы площадь ландшафтов с содержанием влаги 50–100 мм сокращается до 5% (рис. 2, г). Около 22% территории в засушливые и влажные годы занимают почвогрунты с влагозапасами 250–300 мм. Если в засушливые годы почвогрунты с влагозапасами свыше 400 мм занимают наименьшую площадь (2%), то в увлажненные годы на долю свыше 500 мм приходится 18% территории.

Заключение

По условиям годового увлажнения территория бассейна р. Лены попадает в зоны достаточно влажного, умеренно влажного и недостаточного увлажнения.

Приближенный расчет влагозапасов деятельного слоя почвогрунтов бассейна р. Лены показал широкий диапазон его изменения от 20 до 910 мм в зависимости от ландшафтов, механического состава и водно-физических свойств грунтов, глубины сезонного протаивания и промерзания.

В засушливые годы влагозапасы деятельного слоя бассейна р. Лены изменяются от 20 до 590 мм.

В наиболее увлажненные годы максимальное содержание влаги в деятельном слое бассейна р. Лены может достигать 650–910 мм при больших значениях мощности деятельного слоя.

Наименьшее содержание влаги наблюдается на горно-тундровых, горно-редколесных типах ландшафта, где мощность деятельного слоя составляет всего 0,6–0,8 м.

Наибольшее количество влаги наблюдаются на тундровых, среднетаежных типах ландшафта, а также на сезоннопромерзающих южнотаежных ландшафтах, где механический состав почвогрунтов представлен суглинками.

Список литературы

1. Селянинов Г.Т. К вопросу о классификации сельскохозяйственных культур по климатическому признаку // Труды сельскохозяйственной метеорологии. 1930. Вып. 21. С. 130–171.
2. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. Л.: Гидрометеиздат, 1956. 254 с.
3. Колосков П.И. Агроклиматическое районирование Казахстана. М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1947. 267 с.
4. Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 247 с.
5. Иванов Н.Н. Ландшафтно-климатические зоны земного шара // Записки Всесоюзного географического общества. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1948. 228 с.
6. Основы геокриологии. Ч. 2. Литогенетическая геокриология / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во МГУ, 1996. 399 с.
7. Еловская Л.Г., Коноровский А.К. Районирование и мелиорация мерзлотных почв Якутии. Новосибирск: Наука, 1978. 174 с.
8. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага (применительно к запросам сельского хозяйства). Л.: Гидрометеиздат, 1973. 328 с.

УДК 553.3/4.04:528.8(571.63)

РАСПАКОВКА И ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДИСТАНЦИОННОЙ ОСНОВЫ ФОРМАТА *HDF* В *PYTHON* (НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ *TERRA ASTER*)

Шевырёв С.Л., Борискина Н.Г., Шевырёва М.Ж., Горобейко Е.В.

ФГБУН Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения
Российской академии наук, Владивосток, e-mail: boriskina2000@mail.ru

Изображения Земли из космоса часто используются в науках о Земле как источник информации о ландшафтах, горных породах, а также состоянии атмо-, гидро- и биосферы. Организация полевых работ для целей геологической съемки, картирования, а также прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых требует проведения предварительной оценки (рекогносцировки) территории, при этом эффективность проводимых работ напрямую связана с качеством и актуальностью дистанционных материалов. Пользовательская подготовка космических данных нулевого и первого уровней обработки зачастую является задачей, затратной по времени и объему потребляемых вычислительных ресурсов, кроме того, пользовательские географические информационные системы (ГИС) могут не обладать достаточными возможностями для ее решения. Как правило, предоставляемые данные нулевого и первого уровней обработки представляют собой показатели излучения на сенсоре спектрорадиометра, испытавшего атмосферное рассеяние, значение которого отличается по отдельным каналам изображения. Это значит, что получение значений отражательной способности поверхности и вычисление значений ее температуры требует выполнения локальной коррекции. Сайты организаций, предоставляющих доступ к спутниковым данным, а также спецификации этих данных, содержат информацию для атмосферной коррекции изображения. Также необходимо отметить, что многозональные данные могут предоставляться в специализированных форматах, не поддерживаемых пользовательскими ГИС. В настоящей статье рассматривается алгоритм извлечения (распаковки) каналов *ASTER* из файлов иерархического формата данных (*HDF*), их подготовка, включающая атмосферную коррекцию, вычисление значений температуры поверхности для температурных каналов ночной съемки и сохранение их в популярном формате *GeoTiff* с использованием пользовательского скрипта *Python*, в основе которого лежит библиотека *GDAL*. Скрипт можно адаптировать для применения к другим космическим данным, кроме того, он может использоваться для обучения студентов, обучающихся по направлению «Науки о Земле» программированию на *Python*, работе с *GDAL* и основам геоинформатики.

Ключевые слова: *Gdal*, дистанционное зондирование Земли, *Python*, геологическое картирование, иерархический формат данных, коррекция дистанционного изображения

PYTHON UNPACKING AND PREPROCESSING OF REMOTE SENSING IMAGES IN HDF FORMAT ON A SAMPLE OF TERRA ASTER DATA

Shevyrev S.L., Boriskina N.G., Shevyreva M.Zh., Gorobeyko E.V.

Far East Geological Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, e-mail: boriskina2000@mail.ru

Remote sensing images are often used in Earth science as the source of information on landscapes, rocks and conditions of atmo-, hydro- and biosphere. Preparation of field works for geological mapping and prospecting of mineral deposits requires preliminary assessment of the area. Efficacy of field works depends on quality and relevance of remote sensing data. User handling of zero and first level processing data is often time and computational power consuming task. Moreover, desktop geographic information systems (GIS) may not possess enough capabilities for solving of that task. In general, available data of zero and first levels of processing express values of radiation on spectroradiometer sensor, which were subjected to band-specific atmospheric scattering. Deriving of top atmospheric reflectance and surface temperature requires channel-wise correction. Websites of companies, which provide access to satellite data and their specifications, also offer information for atmospheric correction. Also, multiband data could be provided in specific formats, which are not supported by user GIS. Paper considers algorithms of data extraction (unpacking) of *ASTER* data from hierarchical data format (*HDF*) including atmospheric correction, computing of surface temperature (for night temperature bands) and saving output into popular *GeoTiff* format using *Python* script bases on *GDAL* library. Script could be adapted for application on other satellite data, moreover, described software could be used for teaching *Python* programming, work with *GDAL* and basics of geoinformatics to Earth science students.

Keywords: *GDAL*, remote sensing of the Earth, python, geological mapping, hierarchical data format, adjustment of remote sensing image

Наращивание объемов запасов и значений подсчитанных прогнозных ресурсов рудных и нерудных полезных ископаемых требует усиления роли технологий дистанционного зондирования Земли и, соответственно, привлечения новых источников

свободно распространяемых космических данных, а также и усиления эффективности применения существующих. Качество применяемых материалов космических съемок определяется степенью их предварительной подготовки. Данные продвинутого

космического радиометра температурного излучения (ASTER) первого уровня обработки распространяются источником в виде архивов в формате HDF (иерархический формат данных). Использование первого уровня обработки (L1) в оригинальных исследованиях позволяет вполне реализовать потенциал этого источника данных, а также получать спутниковые продукты максимального качества.

Целью настоящей работы является рассмотрение решения задачи распаковки изображений Terra ASTER из формата HDF, преобразования цифровых значений спектральной яркости в показатели отражательной способности, регистрируемой в верхней части атмосферы, приближенное вычисление значений температуры земной поверхности для ночных изображений, а также сохранение изображений в формате с географической привязкой (GeoTiff). В качестве средств для выполнения вычислений используются библиотека GDAL и язык программирования Python, методической основой служат официальные материалы от издателей изображений [1].

Материалы и методы исследования

Перенос региональных работ на территории со сложным рельефом и сложным геологическим строением усиливает роль дистанционных исследований, включающих геофизические методы, а также анализ и интерпретацию космических изображений Земли. Последнее требует проведения не только исследования данных и получения информации, непосредственно связанной с содержанием изображения, но и его подготовкой, связанной с выводом из форматов распространения и хранения.

Состав поверхностных комплексов и глубинное строение земной коры может быть изучено посредством анализа изображений продвинутого космического радиометра тепловой эмиссии и отражения (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, ASTER), установленного на космический аппарат Terra, запущенный NASA 18 декабря 1999 г. [2]. Изображения предоставляются в нескольких уровнях обработки, разрешения каналов различаются от 15 м для видимого и ближнего инфракрасного диапазонов (VNIR), 30 м для коротковолнового инфракрасного (SWIR) и 90 м для теплового инфракрасного (TIR) диапазонов, наборы данных включают материалы дневной и ночной

съемок. Архив космических изображений Геологической службы содержит данные, полученные за почти 23 года работы этого космического аппарата, доступ к которым предоставляется без ограничений [3]. Данные первого уровня обработки представляют собой исходные материалы, дающие исследователю наибольший простор действий в дальнейших преобразованиях изображения и получении спутниковых продуктов, и представляют собой данные показателей излучения на сенсоре, скорректированные относительно модели местности в виде 14 спектральных каналов, упакованных в иерархическом формате данных (Hierarchical Data Format, HDF) [2].

Формат HDF был разработан Национальным центром суперкомпьютерных вычислений (NCSA) для предоставления пользователям возможности хранить, передавать и обрабатывать научные данные в различных операционных системах [4]. В соответствии с информацией разработчиков, основные его особенности включают: стандартизованность и платформенную независимость, он может содержать научные данные и растровые изображения. Файл включает информацию о себе, является самоописательным, это значит, что каждому объекту, содержащемуся в файле, соответствует отдельный тег, а дополнительные модели данных могут быть добавлены как разработчиками, так и пользователями формата [4].

Открытие архивов HDF, извлечение данных съемок в виде цифровых матриц, а также получение метаданных, содержащих сведения о параметрах и условиях съемки, удобно производить в Python с помощью библиотеки абстракции географических данных (GDAL) [5]. Эта библиотека, распространяемая на основе свободной лицензии, позволяет работать с растровыми и векторными форматами пространственных данных [6]. Библиотека обладает API (Application Programming Interface) для работы с популярными языками программирования (C, C++, Python), позволяет создавать на ее основе утилиты и геоинформационные системы [7].

Материалы съемок ASTER поставляются в виде 14 спектральных каналов, в их числе полученные в видимом и ближнем инфракрасном (visible and near infrared, VNIR), коротковолновом инфракрасном (shortwave infrared, SWIR), и термальном инфракрасном (thermal infrared, TIR) диапазонах. Характеристики изображений спектральных каналов приведены в таблице.

Характеристики спектральных каналов ASTER [Working with ASTER L1T..., 2022]

Наименование	Описание	Разрешение	Размерность	Тип данных	Диапазон
VNIR_Band1	Ближний канал видимого и инфракрасного излучения 1 (0,52 to 0,60 мкм)	15 м	Вт/м ² /ср/мкм	8-разрядное целое без знака	0 до 255
VNIR_Band2	Ближний канал видимого и инфракрасного излучения 2 (0,63 to 0,69 мкм)	15 м	Вт/м ² /ср/мкм	8-разрядное целое без знака	0 до 255
VNIR_Band3N	Ближний канал видимого и инфракрасного излучения 3N (0,78 to 0,86 мкм)	15 м	Вт/м ² /ср/мкм	8-разрядное целое без знака	0 до 255
SWIR_Band4	Коротковолновой инфракрасный канал 4 (1,600 to 1,700 мкм)	30 м	Вт/м ² /ср/мкм	8-разрядное целое без знака	0 до 255
SWIR_Band5	Коротковолновой инфракрасный канал 5 (2,145 to 2,185 мкм)	30 м	Вт/м ² /ср/мкм	8-разрядное целое без знака	0 до 255
SWIR_Band6	Коротковолновой инфракрасный канал 6 (2,185 to 2,225 мкм)	30 м	Вт/м ² /ср/мкм	8-разрядное целое без знака	0 до 255
SWIR_Band7	Коротковолновой инфракрасный канал 7 (2,185 to 2,225 мкм)	30 м	Вт/м ² /ср/мкм	8-разрядное целое без знака	0 до 255
SWIR_Band8	Коротковолновой инфракрасный канал 8 (2,295 to 2,365 мкм)	30 м	Вт/м ² /ср/мкм	8-разрядное целое без знака	0 до 255
SWIR_Band9	Коротковолновой инфракрасный канал 9 (2,360 to 2,430 мкм)	30 м	Вт/м ² /ср/мкм	8-разрядное целое без знака	0 до 255
TIR_Band10	Термальный инфракрасный канал 9 (8,125 to 8,475 мкм)	90 м	Вт/м ² /ср/мкм	16-разрядное целое без знака	0 до 65535
TIR_Band11	Термальный инфракрасный канал 11 (8,475 to 8,825 мкм)	90 м	Вт/м ² /ср/мкм	16-разрядное целое без знака	0 до 65535
TIR_Band12	Термальный инфракрасный канал 12 (8,925 to 9,275 мкм)	90 м	Вт/м ² /ср/мкм	16-разрядное целое без знака	0 до 65535
TIR_Band13	Термальный инфракрасный канал 13 (10,250 to 10,950 мкм)	90 м	Вт/м ² /ср/мкм	16-разрядное целое без знака	0 до 65535
TIR_Band14	Термальный инфракрасный канал 14 (10,950 to 11,650 мкм)	90 м	Вт/м ² /ср/мкм	16-разрядное целое без знака	0 до 65535

В соответствии с имеющимися рекомендациями, для синтеза спутниковых продуктов и изучения ландшафтно-географических комплексов отражающей поверхности, показатели прошедшего атмосферу излучения на сенсоре радиометра, записанные в виде цифровых значений и хранящиеся в формате HDF, должны быть преобразованы в отражательную способность, регистрируемую в верхней части атмосферы (TOA Reflectance) [1].

Для распаковки и подготовки данных ASTER L1T был подготовлен скрипт Python [8], алгоритм и этапы работы которого отражены на схеме (рис. 1).

Скрипт распаковки HDF файлов, представляющий собой программу с открытым

исходным кодом на языке Python [8], помимо ключевой для него библиотеки gdal использует в работе библиотеки numpy (работа с матрицами и многомерными данными), pandas (открытие таблиц значений коэффициентов преобразования единиц и длин волн формата MS Excel), scikit-image для трансформации изображений, datetime и time для работы с форматами даты и времени съемки, re для анализа строковых переменных и os для удобной работы с файлами на диске. Скрипт не обладает визуальным интерфейсом, указание рабочего каталога, содержащего HDF файлы, осуществляется с помощью непосредственного редактирования файла программы с указанием значения переменной *foldname*.



Рис. 1. Структура алгоритма распаковки, преобразования и сохранения данных ASTER L1T в виде изображений с географической привязкой (GeoTiff)

По умолчанию других действий от пользователя не требуется, программа самостоятельно определяет параметры расчета на основе имен файлов (которые необходимо оставить по умолчанию, переименование не допускается) и метаданных. Запуск скрипта рекомендуется производить с помощью научных сред разработки Spyder или Jupyter, основанных на интерактивной консоли IPython.

Данные ASTER L1T хранятся в формате цифровых значений яркости изображений (digital numbers, DN). Для построения RGB изображений и спутниковых продуктов необходимо получить значения отражательной способности в верхней части атмосферы (Top Of the Atmosphere reflectance, TOA). Для ее получения необходимо предварительно вычислить показатель излучения на сенсоре [9]:

$$L = (DN - 1) \cdot usc(1), \quad (1)$$

где L_γ – излучение в верхней части атмосферы, DN – значение яркости изображения, usc – коэффициенты преобразования единиц [9].

Вычисление отражательной способности в верхней части атмосферы выполняется с помощью следующей формулы [10]:

$$TOA = \frac{L d^2}{ESUN \cos(s)}, \quad (2)$$

где d – расстояние от Земли до Солнца, $ESUN_\gamma$ – среднее солнечное экзосферное

излучение, полученное по данным [11], s – зенитный угол Солнца.

Значения usc для расчетов заимствуются из справочных таблиц [9], угол s извлекается из метаданных HDF файла. Для получения значения d можно воспользоваться формулой

$$d = (1 - 0,01672 \cdot \cos(0,9856 \times (doy - 4))), \quad (3)$$

где doy – порядковый номер дня в году, в программе он находится за счет парсинга имен файлов HDF.

Вычисление отражательной способности в верхней части атмосферы производится для дневных изображений («day», рис. 1). Ночные изображения («night», рис. 1) получают в термальном инфракрасном диапазоне (TIRS, каналы 10–14), их обработка позволяет найти приближенные значения температуры земной поверхности. Для этой цели используется методика расчета, описанная [12]. Для вычисленных значений излучения в верхней части атмосферы L_γ температура поверхности земли может быть найдена как

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\gamma} + 1\right)}, \quad (4)$$

где K_1 и K_2 – это коэффициенты, предопределенные эффективной длиной волны на сенсоре спутника [12].

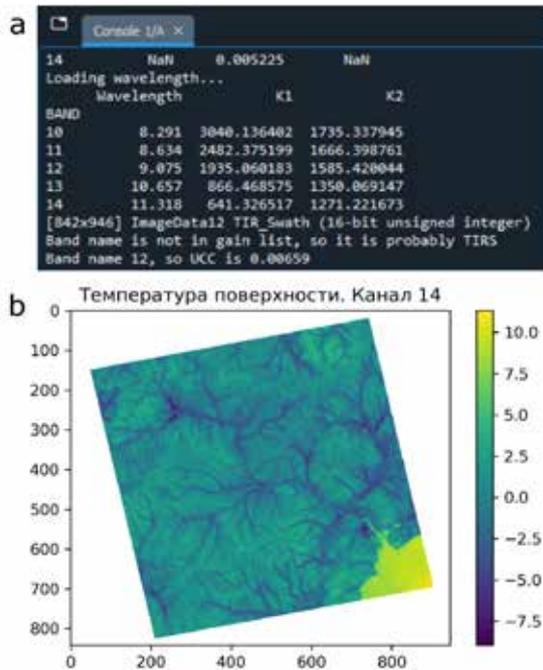


Рис. 2. Текстовый (а) и графический (b) выходы, сопровождающие работу программы распаковки HDF файлов ASTER LIT

Так как каналы TIRS и SWIR обладают меньшим разрешением изображений (30 и 90 м соответственно), выполняется программное повышение разрешения до VNIR (15 м) для облегчения дальней-

шего расчета пользователями спутниковых продуктов. Перед запуском программы необходимо указать расположение файлов, откорректировав значение переменной *foldname* в строке *foldname='ASTER_LIT_Night_Cloudless'*, при этом можно использовать как абсолютное, так и относительное указание расположения. Папка, путь к которой указан в *foldname*, должна содержать как минимум один HDF-файл. После успешного запуска программы в консоли Python можно увидеть вывод сообщений и эскизов изображений (рис. 2, а и b). В качестве демонстрации графического вывода использована пересчитанная сцена 14 канала ASTER LIT, полученная для Приморско-го края.

Создаваемые программой GeoTiff файлы имеют имя, задаваемое по шаблону: «ImageData_LIT.НОМЕР_КАНАЛА_ДИАПАЗОН_Swath_ДАТА_ВРЕМЯ_СУТОК_ПУТЬ_РЯД_ВИД_ИНФОРМАЦИИ.tiff». Здесь НОМЕР_КАНАЛА – это число, обозначающее номер, ДИАПАЗОН подразумевает диапазон значений (VNIR, SWIR, TIRS), ДАТА – дата съемки, ВРЕМЯ_СУТОК – соответственно дневное или ночное время, ПУТЬ и РЯД – указание расположения снимка, а ВИД_ИНФОРМАЦИИ – значение единиц измерения (для TIRS это градусы Цельсия).



Рис. 3. Геологическая карта острова Кунашир с указанием положения участка детальных исследований (составлено авторами по [14])

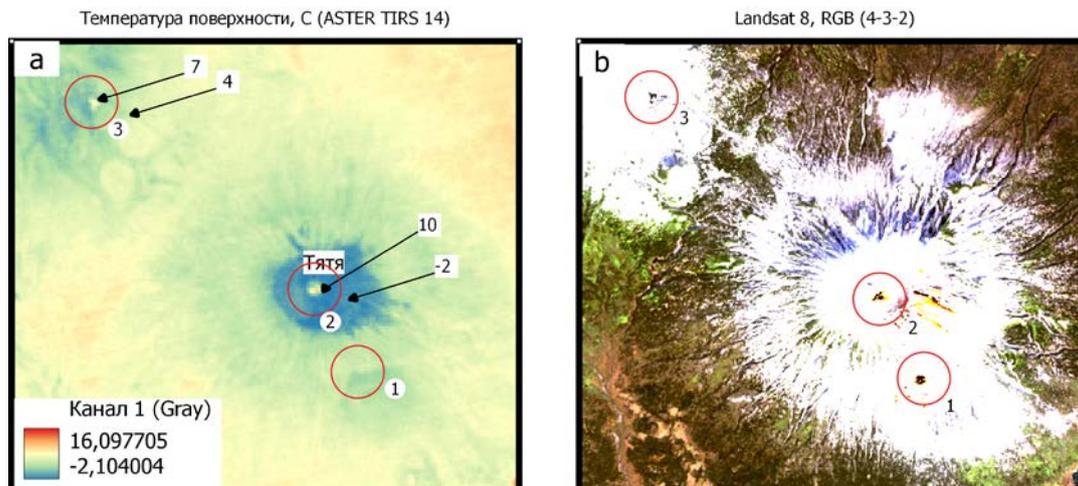


Рис. 4. Сопоставление фрагмента изображения температур поверхности (а), построенного на основе изображения ASTER L1T TIRS 14 (p200r585, дата съемки 8 июля 2015 г.) и изображения Landsat 8 OLI в естественных цветах (RGB 4–3–2, дата съемки 27 октября 2015 г.). Цифры в кружках – локальные температурные аномалии

Результаты исследования и их обсуждение

Тестирование приложения для распаковки данных ASTER L1T было выполнено для космического изображения вулкана Тятя, расположенного на севере острова Кунашир Большой Курильской гряды. Вулкан Тятя относится к числу активных вулканов острова и относится к типу Сомма-Везувий, на основании древнего его плейстоценового конуса была сформирована современная вулканическая постройка. К северо-западу от него находится вулкан Руруй. Тятя сложен базальтами, андезибазальтами и двупироксеновыми андезитами позднейших стадий извержений [13]. Геологическое строение территории и расположение участка исследований показано на схематической карте (рис. 3).

В подготовленной программе на языке Python нами была обработана сцена ASTER (p200r585), дата съемки 8 июля 2015 г. (рис. 4). Выделенные локальные участки повышенных температур рассматривались как аномальные и заверялись с сопоставлением снимка Landsat 8 OLI в псевдоестественных цветах (4–3–2), отражающего состояние местности на 27 октября 2015 г. с низким положением снеговой линии.

Визуальное сопоставление этих изображений позволило дать интерпретацию выделенным аномалиям. Объект, выделенный как участок таяния снега (рис. 4, б), номер 1 в кружке, на температурном изображении не отмечается, тогда как объекты 2 и 3 выделяются на обоих изображениях. Объект 2,

очевидно, соответствует жерлу кальдеры центрального конуса вулкана Тятя, его температура поверхности на снимке 10 и более градусов, тогда как он окружен областью отрицательных температур снеговой шапки. Объекту 3 соответствует температурная аномалия на склоне вулкана Руруй, возможно, сформированная одним из его паразитических конусов.

Заключение

Подготовленная программа распаковки HDF файлов дистанционных изображений ASTER L1T была апробирована на наборах данных, полученных из официального репозитория [3]. В ходе тестирования программы на материалах съемок площади, включающей вулкан Тятя, проведены поиски и заверка локальных участков повышенных температур, которые затем сопоставлялись с участками таяния снежного покрова на осеннем снимке.

Анализ получаемых с помощью программы температурных изображений ASTER может быть использован для выявления активных зон вулканических построек, а также для мониторинга динамики вулкана.

Методические наработки и исполняемый код, полученные при написании программы, являются практико-ориентированными и могут лечь в основу студенческих научных работ, а также использоваться при написании курсовых и дипломных исследований.

Помимо поиска горячих полей и источников программа может применяться для

поиска коренных выходов горных пород, а также ретроспективной оценки площадей лесных пожаров.

Список литературы

1. Working with ASTER L1T Visible and Near Infrared (VNIR) Data. [Электронный ресурс]. URL: <https://pdaac.usgs.gov/resources/e-learning/working-aster-l1t-visible-and-near-infrared-vnir-data-r/> (дата обращения: 29.08.2022).
2. Изображения Terra ASTER 1 уровня обработки. [Электронный ресурс]. URL: https://pdaac.usgs.gov/products/ast_11tv003/ (дата обращения: 29.08.2022).
3. EarthExplorer USGS. [Электронный ресурс]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 29.08.2022).
4. Hierarchical data format (HDF). [Электронный ресурс]. URL: <https://asdc.larc.nasa.gov/documents/tools/hdf.pdf> (дата обращения: 29.08.2022).
5. GDAL documentation. [Электронный ресурс]. URL: <https://gdal.org/> (дата обращения: 29.08.2022).
6. GDAL license. [Электронный ресурс]. URL: <https://gdal.org/license.html> (дата обращения: 29.08.2022).
7. GDAL application programming interface (API). [Электронный ресурс]. URL: <https://gdal.org/api/index.html> (дата обращения: 29.08.2022).
8. Shevryev S.L. ASTER L1T HDF unpacker. [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/SergeiShevryev/py_h2t (дата обращения: 29.08.2022).
9. Abrams M., Hook S., Ramachandram B. Aster user handbook. Version 2. 1999. [Электронный ресурс]. URL: https://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03_data/04_Documents/aster_user_guide_v2.pdf (дата обращения: 29.08.2022).
10. Landsat 7 Science Data Users Handbook. [Электронный ресурс]. URL: https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/Landsat7_Handbook.pdf (дата обращения: 29.08.2022).
11. Thome K.J., Biggar S.F., SLATER P.N. Effects of assumed solar spectral irradiance on intercomparisons of earth-observing sensors. Proceedings Volume 4540, Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites V International Symposium on Remote Sensing (Toulouse, 12 December 2001). Toulouse, International Society for Optics and Photonics. 2001. P. 260–269. DOI: 10.1117/12.450668.
12. Ghulam A. How to calculate reflectance and temperature using ASTER data. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pancroma.com/downloads/ASTER%20Temperature%20and%20Reflectance.pdf> (дата обращения: 29.08.2022).
13. Мартынов Ю.А., Мартынов А.Ю., Чашин А.А., Рыбин А.В. Базальты вулкана Тятя: петрология и генезис (остров Кунашир, Курильская островная дуга) // Тихоокеанская геология. 2005. Т. 24. № 3. С. 22–31.
14. Shevryev S., Carranza E.J.M. Application of maximum entropy for mineral prospectivity mapping in heavily vegetated areas of Greater Kurile Chain with Landsat 8 data. Ore Geology Reviews. 2022. Vol. 142. P. 104758. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2022.104758.

СТАТЬИ

УДК 66.021.4

**ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ
ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ОБЖИГОВОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ МАШИНЫ****Бобков В.И., Орехов В.А.***Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске,
Смоленск, e-mail: vovabobkoff@mail.ru*

Проведено экспериментальное обследование действующей обжиговой конвейерной машины, которое показало существование значительных неравномерностей газовых потоков по ширине колосниковой решетки. Для повышения эффективности работы обжиговых машин необходимо в первую очередь организовать мероприятия по устранению неравномерностей потока газа-теплоносителя. Выданы рекомендации об организации контроля температур уходящих газов обжиговых машин. Установлено, что для повышения энергоэффективности химико-энерготехнологического процесса обжига рудного сырья в динамическом плотном слое с перекрестной подачей газа-теплоносителя на конвейере обжиговой машины важно: повысить температуру рудного материала из нижних слоев многослойной массы, осуществлять засыпку рудного сырья на колосниковую решетку конвейера, устраняя сегрегацию. Необходимо регулировать горелочные устройства в горне обжиговой конвейерной машины для исключения температурных неоднородностей по ширине колосниковой решетки. Обосновано использование энергосберегающих мероприятий с учетом особенностей тепло- и массообменных термически активируемых процессов, протекающих в плотном слое кускового или окомкованного фосфатного сырья, и способов их интенсификации. Выработана стратегия научно-технического поиска значимых и приемлемых технологических решений, учитывающих полученные в настоящей работе температурные характеристики тепло-массообмена в плотном слое рудного материала с перекрестной подачей газа-теплоносителя, для детерминированного описания химико-энерготехнологических термически активируемых процессов и энергоемких аппаратов. Комплексное описание всей картины взаимосвязанных и взаимозависимых термически активируемых явлений в описываемой технологии позволяет обоснованно применять методы оптимизации и управления теплофизическими и химико-технологическими процессами. Научно и практически обоснована необходимость уточнения теплового и газодинамического режима работы агрегатов в различных технологических зонах обжиговой конвейерной машины, а также составления режимной карты функционирования машин в зависимости от типа рудного фосфатного сырья.

Ключевые слова: рудное фосфатное сырье, режим функционирования, обжиговая машина, температура, тепло- и массообмен, колосниковая решетка, газ теплоноситель, нагрев, плотный слой

**PECULIARITIES OF EXPERIMENTAL EXAMINATION
TEMPERATURE MODE OF OPERATION
ROASTING CONVEYOR MACHINE****Bobkov V.I., Orekhov V.A.***Smolensk Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute, Smolensk,
e-mail: vovabobkoff@mail.ru*

An experimental examination of the existing roasting conveyor machine was carried out, which showed the existence of significant irregularities in gas flows along the width of the grate. To increase the efficiency of the roasting machines, it is necessary to first of all organize measures to eliminate irregularities in the flow of the coolant gas. Recommendations were issued on the organization of temperature control of the outgoing gases of roasting machines. It has been established that in order to increase the energy efficiency of the chemical-energy technological process of roasting ore raw materials in a dynamic dense layer with a cross-feed of coolant gas on the conveyor of the roasting machine, it is important: to increase the temperature of the ore material from the lower layers of the multilayer mass, to fill the ore raw materials on the grate of the conveyor, eliminating segregation. It is necessary to adjust the burner devices in the hearth of the roasting conveyor machine to avoid temperature inhomogeneities along the width of the grate. The use of energy-saving measures is justified taking into account the peculiarities of heat and mass exchange thermally activated processes of lumpy or pelletized phosphate raw materials occurring in a dense layer and methods of their intensification. A strategy has been developed for the scientific and technical search for significant and acceptable technological solutions that take into account the temperature characteristics of heat and mass exchange obtained in the present work in a dense layer of ore material with a cross-feed of coolant gas for a deterministic description of chemical-energy technological thermally activated processes and energy-intensive devices. A comprehensive description of the entire picture of interconnected and interdependent thermally activated phenomena in the described technology allows us to reasonably apply methods for optimizing and controlling thermophysical and chemical processes. It is scientifically and practically justified the need to clarify the thermal and gas-dynamic mode of operation of the units in various technological zones of the roasting conveyor machine, as well as to draw up a regime map of the operation of the machines depending on the type of ore phosphate raw materials.

Keywords: ore phosphate raw material, functioning mode, roasting machine, temperature, heat and mass exchange, grate, coolant gas, heating, dense layer

Технология термического способа получения желтого фосфора предусматривает комплексное многостадийное теплоэнергетическое воздействие на фосфатное рудное сырье, поэтому энергоэффективность большинства стадий его термической переработки определяется интенсивностью тепло-массообменных химико-энерготехнологических процессов [1, 2]. Осуществление технологических расчетов агрегатов в технических зонах обжиговой конвейерной машины: подогрева, высокотемпературного обжига и охлаждения, а также анализ процессов теплообмена в плотном слое рудного фосфатного сырья на колосниковой решетке невозможны без наличия достоверных данных по температурным режимам функционирования обжиговой конвейерной машины [3, 4].

Рациональное использование сырьевых рудных ресурсов и применение энергосберегающих мероприятий обуславливают необходимость изучения особенностей тепло- и массообменных термически активируемых процессов, протекающих в плотном слое кускового или окомкованного фосфатного сырья, и способов их интенсификации [5, 6]. Трудности и дороговизна экспериментального изучения всех условий протекания массо-теплообменных и химико-энерготехнологических процессов определили путь к разработке математических и компьютерных моделей и их использованию для идентификации и оптимизации. Такая стратегия научно-технического поиска наиболее приемлемых технологических решений требует знания температурных характеристик тепло-массообмена в плотном слое рудного материала с перекрестной подачей газа-теплоносителя для детерминированного описания химико-энерготехнологических термически активируемых процессов и энергоемких аппаратов. Оптимизация и управление теплофизическими и химико-технологическими процессами обеспечиваются степенью их исследованности, глубины описания и комплексности всей картины термически активируемых явлений в описываемой технологии [7, 8].

Основанием для комплексного и углубленного изучения теплофизических и химико-технологических процессов служит пониженная на сегодняшний день эффективность применения материальных и энергетических ресурсов в таких агрегатах, как обжиговые конвейерные машины фосфорной и металлургической промышленности [9]. Так, например, по полученным данным длительной эксплуатации обжиговых кон-

вейерных машин, коэффициент использования их мощности неприемлемо занижен [10, 11]. Существенно меньшим является коэффициент использования календарного времени $\approx 0,8$. Снижает технико-экономические показатели и тот факт, что при уменьшении мощности относительно режимной сильно увеличивается удельный расход электроэнергии, до 19 МВт·ч/т. Более того, варьирование режима функционирования обжиговых конвейерных машин приводит к уменьшению качества готового продукта и наличию оксида фосфора в шлаке [12].

Обнаружено, что при нагреве в фосфоритовом рудном сырье протекает несколько термически активируемых, экзо- и эндотермических превращений, сопровождаемых существенными изменениями структуры и химического состава. К числу практически значимых следует отнести следующие химико-энерготехнологические процессы:

- удаление гигроскопической влаги, 360–410К;
- удаление химически связанной воды, свыше 500К;
- диссоциация карбонатов, 750–1050К;
- выгорание органических примесей, свыше 800К;
- разложение основного фосфатного вещества.

Изменения физико-химических свойств и структуры исходных рудных материалов при нагреве обусловлены, как правило, процессами в таких группах породообразующих минералов, как SiO_2 , P_2O_5 , и ряду примесей, из которых наибольшее значение имеют слюды и карбонаты.

Группа силикатов до 1020–1070К существенных изменений не претерпевает. Однако в этом диапазоне температуры проявляется увеличение трещин в материале, которое обусловлено различными коэффициентами термического расширения. На процесс растрескивания влияет также дегидратация опала и халцедона, 370–470К. В температурном диапазоне до 1100К обнаруживается максимальная потеря веса в этой группе – до 3%. Более чем с 1020К формируется новая силикатосодержащая фаза – кристобалит. С дальнейшим возрастанием температуры отмечается постепенное снижение степени кристаллизации кварца. При 1330К наблюдается появление волластонитовой фазы, что связано с наличием в исходном рудном сырье значительного количества карбонатных минералов, отличающихся в основном до 1250К образованием CaO , взаимодействующего с SiO_2 .

Процессы дегидратации, термического расширения и кристаллизации, происходящие при нагревании фосфоритового рудного сырья в диапазоне 290–1470К, способствуют снижению прочности группы SiO_2 . Твердость изменяется от 1200–1260 кг/мм² в сыром фосфатном рудном материале, до 860–670 кг/мм² в обожженном, с температурой 1470К.

Процессы, протекающие в кремнистой группе, обеспечивают усиленное трещинообразование и снижение прочности при нагреве фосфоритовых руд в целом. Интенсивное растрескивание кремнистых составляющих отмечено в диапазоне 530–720К.

Цель исследования: разработка методики экспериментального обследования температурного режима функционирования действующей обжиговой конвейерной машины при обжиге кускового или окомкованного фосфоритового рудного сырья в движущемся плотном слое с перекрестной подачей потока газа-теплоносителя.

Материалы и методы исследования

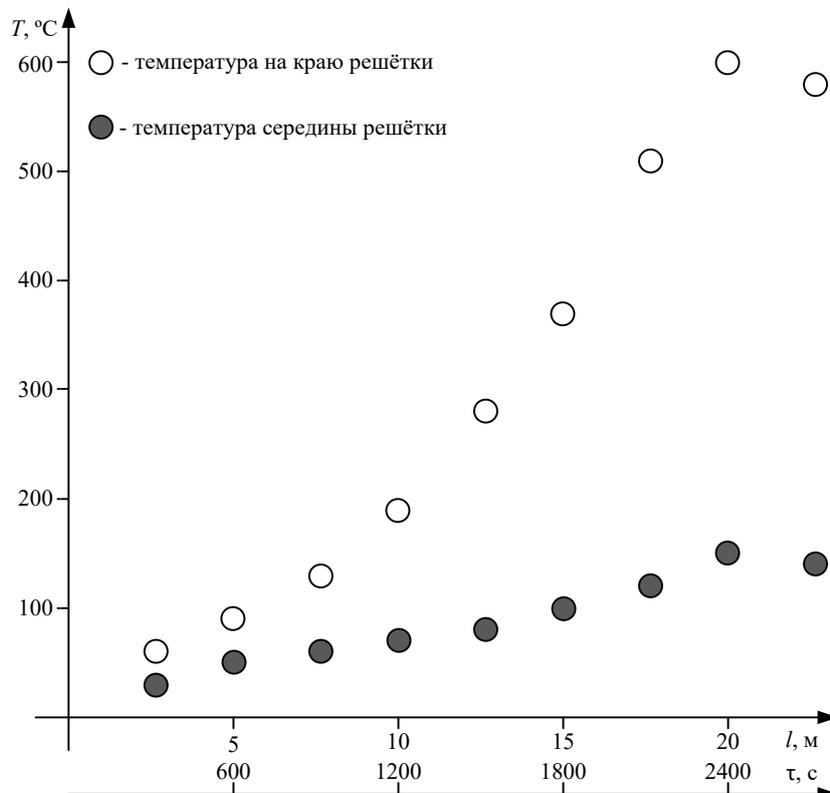
Проводились замеры температур на колосниках обжиговых конвейерных машин в технологических зонах загрузки, сушки

и высокотемпературного декарбонизирующего обжига. Для исследований использовались термопары Хромель – XI8И9Т диаметром 1 мм в абсолютной изоляции с длиной термоэлектродов 25 м. Рабочие спаи термопар зачеканивались в медные пластины.

Закладки термопар осуществлялись до зоны загрузки материала на конвейер обжиговой машины. Измерения температур производились на колосниках обжиговой машины, расположенных в средней части решетки и по краю, на расстоянии 150 мм от борта. Результаты замеров температур представлены на рисунке.

Одновременно с измерением температуры колосников производилась регистрация показаний щитовых приборов (таблица).

Результаты замеров показали, что до загрузки рудного фосфатного сырьевого материала температура колосников, расположенных на краю колосниковой решетки, на 40–50°С выше, чем у колосников средней части. После загрузки материала температура колосников снижается на 30–40°С. В зоне сушки температура колосников возрастает до 60–150°С. При этом наблюдается более интенсивный нагрев колосников, расположенных по краю колосниковой решетки.



*Результаты замеров температуры на колосниках
в зоне высокотемпературного обжига действующей конвейерной машины*

Показания щитовых приборов действующей конвейерной машины

Время замеров, мин	Расход газа на горелки, м ³ /мин			Расход воздуха на горелки, м ³ /мин			Температура по длине зон обжиговой машины, м						
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 1	№ 2	№ 3	107	108	109	110	121	122	123
0	190	310	325	4020	2595	3600	500	750	750	910	130	178	150
10	190	310	330	3950	2695	3600	510	770	750	960	145	180	155
20	190	310	330	3950	2695	3650	520	800	780	940	160	185	165
30	190	310	330	3950	2695	3700	520	810	780	930	150	195	170

В зоне высокотемпературного обжига неравномерность температур резко возрастает, и в конце этой зоны перепад температур по ширине ленты конвейера обжиговой машины достигал 500°C. При этом крайние колосники нагревались до температуры 630°C. Показания термопар, установленных в вакуум-камерах под зоной высокотемпературного обжига, не превышали 310°C.

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Наблюдаемая неравномерность температур может быть объяснена совместным действием двух факторов: краевыми эффектами и неоднородностью фракционного состава засыпки в плотный слой кускового фосфатного сырья по ширине колосниковой решетки, связанной с сегрегацией материала в загрузочном устройстве. В результате сегрегации у бортов располагаются наиболее крупные фракции рудного материала, сравнительно однородные по размеру; основная же часть засыпки полифракционного состава рудного сырья с присутствием мелких, ~10 мм, фракций располагается в середине колосников. Так как полифракционная засыпка рудного фосфатного сырья имеет более высокие коэффициенты газодинамического сопротивления, неоднородность засыпки способствует образованию зон, предпочтительных для прососа греющих газов вдоль бортов машины, и, как следствие этого, перегреву материала колосниковой решетки в этих зонах.

Таким образом, преждевременный выход из строя колосников решетки может быть объяснен периодическим перегревом и резким охлаждением после разгрузки рудных материалов. Недогрев основной массы материала приводит к снижению эффективности химико-энерготехнологического процесса обжига рудных материалов.

Существующая неоднородность нагрева материала и местные перегревы решетки

могут быть значительно снижены при проведении мероприятий, направленных на повышение однородности фракционного состава рудного фосфатного сырья, а также при исключении явления сегрегации в загрузочных устройствах (например, путем продольного секционирования точек). Одним из возможных путей снижения температур колосниковой решетки и неравномерности температур по ее ширине при обжиге полифракционного плотного слоя рудного фосфатного сырья является применение двухточечной засыпки. Для этого необходимо произвести рассечку рудного сырья на две фракции: 15–20 мм и 20–25 мм, и засыпку мелкой фракции производить в нижнюю часть плотного слоя, а крупной – в верхнюю. При этом разгрузка мелкой фракции может осуществляться с использованием существующих устройств выгрузки обработанного сырья. Верхнюю засыпку крупной фракцией целесообразно проводить первым конвейером, что позволит исключить неоднородность фракционного состава плотного слоя рудного фосфатного сырья по ширине ленты.

Использование двухслойной засыпки, как отмечалось нами ранее, позволит также существенно повысить энергоэффективность процесса декарбонизирующего обжига за счет повышения средней температуры по высоте слоя.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что контроль температурного режима колосниковой решетки по показаниям термопар, установленных в вакуум-камерах при существующей неравномерности прососа греющих газов, недостоверен. Существенно искаженные показания указанных датчиков могут быть объяснены подсосом к периферийному потоку газов, имеющих высокую температуру, охлажденных газов средней части решетки.

В качестве контроля равномерности газораспределения по ширине слоя засыпки

и температурного режима колосниковой решетки могут служить показания термодатчиков, установленных в вакуум-камерах в непосредственной близости к колосникам в трех-четырёх точках по ширине ленты в зоне наиболее высоких температур. Для уменьшения погрешности, вызванной перемешиванием уходящих из слоя газов в вакуум-камере, термодатчики следует помещать в газонаправляющие трубки.

Более объективный непрерывный контроль температурного режима колосниковой решетки может быть осуществлен с применением современных бесконтактных методов измерения температур.

Заключение

Результаты обследования теплового режима работы конвейерных обжиговых машин подтверждают полученные нами ранее научные предположения и выводы. По ширине ленты конвейерной обжиговой машины существуют значительные градиенты температур. Разница температур на режимах функционирования между краем и серединой колосниковой решетки в конце зоны обжига достигает 500°C. При этом показания термопар, расположенных под решеткой обжиговой машины, не превышает 350°C. Существование такого неравномерного прососа газа-теплоносителя по ширине ленты вызывает неэффективную работу обжиговой машины, приводит к частым прогарам колосниковых решеток.

Неравномерность прососа газов по ширине ленты обусловлена сегрегацией материала при загрузке, влиянием краевых эффектов при просасывании газами слоя материала, лежащего на ленте конвейера обжиговой машины.

Для повышения эффективности работы конвейерных обжиговых машин в первую очередь необходимо выровнять потоки газа-теплоносителя по ширине ленты. Для этой цели и для повышения степени декарбонизации обжигаемого рудного сырья, как показывают аналитические исследования теплообмена в слое, необходимо применить двухслойную засыпку рудных материалов на решетку, при которой первый, нижний слой фосфатных сырьевых материалов имеют фракционный состав 15–20 мм, а фракции 20–25 мм составляют верхний слой.

Из-за геометрических особенностей вакуум-камер в зоне термопар, расположенных под колосниковой решеткой, происходит интенсивное перемешивание уходящих из слоя газов. Поэтому показания

термопар не соответствуют локальным температурам газов, и поддержание режима работы машин по показаниям этих термопар может вызвать значительный местный перегрев колосниковых решеток, что могло быть причиной частого выхода их из строя. Предложенная в работе методика измерения температур уходящих газов значительно уменьшит перемешивание газов в зоне измерения температур, улучшит точность определения локальных температур уходящих газов и обеспечит эффективность контроля теплового режима функционирования обжиговых конвейерных машин.

После проведения этих мероприятий на основе исследования кинетики декарбонизации и теплофизических свойств фосфоритов, результаты которого приведены в работах авторов [13, 14], необходимо уточнить тепловой и газодинамический режим работы в различных технологических зонах обжиговой машины, составить режимную карту работы машин в зависимости от типа рудного сырья [15].

Научно обосновано, что затраты энергетических ресурсов повышаются при утилизации мелкой фракции фосфоросодержащего рудного сырья во всех трех химико-технологических схемах термической подготовки и переработки: обжиг кусковой фракции, окомкованного сырья и агломерация самой мелкой фракции.

Повышение энергоресурсоэффективности в энергоемких химико-технологических процессах основывается на возможности оптимального, с точки зрения энергоресурсосбережения, управления теплофизическими и химико-технологическими процессами, происходящими в фосфоритовых рудных материалах при термической обработке на базе существенной интенсификации тепло- и массообмена.

Исследование выполнено за счет гранта Российской научной фонды № 22-11-00335, <https://rscf.ru/project/22-11-00335/> «The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. № 22-11-00335, <https://rscf.ru/en/project/22-11-00335/>.»

Список литературы

1. Семенов Г.Е., Кейно П.П. Применение математических моделей на основе генетических алгоритмов в задачах планирования сложных технических объектов // Прикладная информатика. 2019. Т. 14. № 2. С. 56-62.
2. Akberdin A.A., Kim A.S., Sultangaziev R.B. Experiment Planning in the Simulation of Industrial Processes. Steel in Translation. 2018. № 48(9). P. 573-577.
3. Бобков В.И., Дли М.И., Панченко С.В. Обобщенная структурно-функциональная модель инжиниринга и управления экологически безопасной переработкой отвалов

горно-обогатительных комбинатов апатит-нефелиновых руд // Успехи современного естествознания. 2019. № 9. С. 48-52.

4. Тимофеева А.С., Никитченко Т.В., Федина В.В. Определение комкуемости железорудной шихты с целью прогнозирования прочностных свойств окатышей // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 8. С. 53-57.

5. Клочков М.А. К вопросу информационной поддержки систем управления технологическим процессом // Прикладная информатика. 2018. Т. 13. № 1. С. 32-43.

6. Новичихин А.В., Шорохова А.В. Процедуры управления поэтапной переработкой железорудных отходов горнопромышленных районов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т. 60. № 7. С. 565-572.

7. Звягинцев Н.В., Биллинг В.А. Оценка эффективности условий проведения химических реакций // Программные продукты и системы. 2022. Т. 35. № 2. С. 273-278.

8. Пучков А.Ю., Лобанева Е.И., Култыгин О.П. Алгоритм прогнозирования параметров системы переработки отходов апатит-нефелиновых руд // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 1(97). С. 55-68.

9. Булыгина О.В., Емельянов А.А., Росс Г.В., Яшин Е.С. Инвестиции, инновации, импортозамещение: имитационное моделирование с элементами искусственного интеллекта в управлении проектными рисками // Прикладная информатика. 2020. Т. 15. № 1(85). С. 63-102.

10. Курилин С.П., Соколов А.М., Прокимов Н.Н. Компьютерная программа для эксплуатационной диагностики

электромеханических систем на основе топологического подхода // Прикладная информатика. 2021. Т. 16. № 4(94). С. 62-73.

11. Мешалкин В.П., Бобков В.И., Дли М.И. Автоматизированная система поддержки принятия решений по управлению энергоресурсоэффективностью химико-энерготехнологической системы обжига фосфоритовых окатышей // Теоретические основы химической технологии. 2019. Т. 53. № 6. С. 609-616.

12. Антипина Е.В., Мустафина С.А., Антипин А.Ф. Программная реализация алгоритма поиска оптимального температурного режима каталитического процесса // Программные продукты и системы. 2022. Т. 35. № 1. С. 106-112.

13. Бобков В.И., Мищенко М.Н. Исследование теплофизических характеристик окомкованного фосфатного материала // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 7-1. С. 26-29.

14. Орехов В.А., Бобков В.И. Экспериментальная методика исследования кинетики термической декарбонизации при наличии градиентов температур в исследуемых образцах // Тепловые процессы в технике. 2022. Т. 14. № 6. С. 261-267.

15. Читалов Д.И. Разработка модуля для формирования перегородок в расчетных сетках при постановке численных экспериментов с помощью графического интерфейса пользователя платформы OPENFOAM // Прикладная информатика. 2020. Т. 15. № 4. С. 75-86.

УДК 622.271.1 (571.56)

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОТТАЙКИ ПЕСКОВ НА ДОБЫЧНЫХ РАБОТАХ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Заровняев Б.Н., Егорова А.Б., Антоева С.П.

*ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск,
e-mail: mine_academy@mail.ru*

Существенное повышение производительности, приводящее к увеличению объемов добычи полезного ископаемого, достижимо в результате интенсификации извлечения песков при разработке россыпных месторождений Якутии, где имеет место обширное развитие многолетней мерзлоты, которую создают неблагоприятные суровые природно-климатические условия и сложные горно-геологические условия месторождений. При разработке россыпных месторождений в условиях многолетней мерзлоты повышение производительности выемочного оборудования возможно оттаиванием мерзлых горных пород, что позволит создать более благоприятные условия для повышения эффективности их работ, в связи с этим при добыче и промывке мерзлых золотоносных песков проблема повышения эффективности подготовки мерзлых горных пород к выемке является актуальной научно-технической проблемой. Предлагается технология разработки многолетнемерзлых россыпей, включающая вскрытие обрабатываемых запасов, удаление пород вскрыши, послонную выемку песков разноуровневыми секторами, формируемыми межсекторными целиками, обогащение и отвалообразование. При этом разрабатываемый полигон разбивают на отдельные секторы с разным уровнем. Верхний сектор заполняют реагентом – водным раствором соли магния, ускоряющей процесс оттайки. Разработку секторов начинают поочередно с центрального верхнего сектора путем послонного снятия оттаявших песков и выгаливанием их в бункер, предварительно спустив реагент на периферийные нижние секторы для их оттаивания. Разработку центрального верхнего сектора продолжают до понижения его уровня ниже оттаиваемых периферийных секторов. Когда уровень разрабатываемого центрального сектора понизится ниже оттаиваемых периферийных секторов, из последних реагент спускают на отработанный центральный сектор и осуществляют послонную отработку оттаявших периферийных секторов. В результате достигается интенсификация процесса оттаивания и повышение производительности выемочного оборудования.

Ключевые слова: многолетняя мерзлота, пески, оттайка, полигон, разноуровневые секторы, межсекторные целики

INTENSIFICATION OF SAND THAWING AT MINING OPERATIONS UNDER THE PERMAFROST CONDITIONS

Zarovnyaev B.N., Egorova A.B., Antoeva S.P.

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, e-mail: mine_academy@mail.ru

A significant increase in productivity, leading to an increase in the volume of mining, is achievable as a result of the intensification of sand extraction during the development of alluvial deposits in Yakutia, where there is extensive development of permafrost, which is created by unfavorable harsh natural and climatic conditions and complex mining and geological conditions of deposits. When developing alluvial deposits in permafrost conditions, it is possible to increase the productivity of mining equipment by thawing frozen rocks, which will create more favorable conditions for increasing the efficiency of their work, in connection with this, when mining and washing frozen gold-bearing sands, the problem of increasing the efficiency of preparing frozen rocks for extraction is an actual scientific and technical problem. A technology for the development of permafrost placers is proposed, including the opening of mined reserves, the removal of overburden rocks, the layer-by-layer excavation of sands by multi-level sectors formed by inter-sector pillars, enrichment and dumping. At the same time, the developed landfill is divided into separate sectors with different levels. The upper sector is filled with a reagent – an aqueous solution of magnesium salt, which accelerates the defrosting process. The development of the sectors begins in turn from the central upper sector by layer-by-layer removal of thawed sands and pushing them into the bunker, after lowering the reagent to the peripheral lower sectors for their thawing. The development of the central upper sector is continued until its level drops below the thawed peripheral sectors. When the level of the developed central sector drops below the thawed peripheral sectors, the reagent is lowered from the latter to the spent central sector and layer-by-layer testing of the thawed peripheral sectors is carried out. As a result, an intensification of the thawing process and an increase in the productivity of mining equipment are achieved.

Keywords: permafrost, sands, thawing, landfill, multi-level sectors, inter-sector pillars

В настоящее время на Северо-Востоке России сосредоточены крупные разведанные запасы коренных месторождений золота, а также большое количество мелких и средних месторождений россыпного золота, оба вместе взятые представляют значительный интерес к их экономическому и технологическому освоению и интенсификации разрабатываемых месторож-

дений золота и алмазов. При разработке россыпных месторождений увеличение объемов добычи драгоценного металла может быть достигнуто в результате интенсификации вскрышных работ и добыче песков из россыпных месторождений Северо-Востока страны в условиях распространения многолетнемерзлых пород. Изложенное создает неблагоприятные су-

ровые природно-климатические и сложные горно-геологические условия месторождений. По предварительным оценкам, в результате интенсификации выемочных работ и активного вовлечения в разработку перспективных россыпных месторождений в условиях многолетней мерзлоты в России в ближайшее десятилетие объемы добычи могут возрасти в 1,5–2,5 раза. Однако в условиях Северо-Востока, с отрицательной среднегодовой температурой воздуха, с повсеместным распространением сезонной и многолетней мерзлоты, резко снижается эффективность добычных работ при разработке россыпных месторождений, так как мерзлые горные породы имеют высокую прочность.

Как известно, повышение производительности бульдозера на добычных работах возможно в результате оттаивания мерзлых песков, что позволит создать более благоприятные условия для интенсификации добычных работ по мере оттайки. Известно, что при понижении температуры мерзлых горных пород с -7°C до -1°C энергоемкость их разрушения уменьшается в разы. Это привело к тому, что при разработке россыпных месторождений значительно возрастает необходимость оттаивания мерзлых горных пород. Изложенное позволяет сделать вывод о том, что при добыче и промывке мерзлых золотоносных песков проблема повышения эффективности подготовки мерзлых горных пород к выемке является актуальной научно-технической проблемой.

Таким образом, успешная работа выемочного оборудования для добычи песков при разработке многолетнемерзлых россыпных месторождений зависит от множества факторов. Главным из них является состояние многолетнемерзлых песков и сезонно-талого слоя. Опыт работы землеройной техники в криолитозоне показал, что наибольшая эффективность достигается при добыче песков по мере оттайки или в результате предохранения пород от промерзания в зимний период.

Цель исследования – повышение эффективности оттаивания многолетнемерзлых песков при их бульдозерной добыче по мере оттайки в летний период.

Материалы и методы исследования

Выполненные научно-исследовательские работы и рассмотрение ранее проведенных опытно-экспериментальных работ [1–3] показывают, что разработаны инно-

вационные технологии оттайки с применением солнечной радиации, методов гидравлического оттаивания мерзлых песков и их предохранения от промерзания путем затопления, а также созданием искусственных сушенцов при открытой разработке россыпных месторождений и исследованы на достаточно высоком уровне. Основными способами оттайки являются: электрообогрев, поверхностный изжог, оттайка горячим паром, водой, при сжигании термохимических патронов, гидроигловая оттайка, оттайка солевыми растворами, солнечной радиацией, затоплением и т.п. Каждый способ оттаивания предназначен для соответствующего способа разработки песков или торфов. Для бульдозерной разработки песков методом послонной выемки, как правило, применяются способы естественной оттайки солнечной радиацией, а также с помощью тепловых ванн с применением солевых растворов. Результаты исследований и совершенствование технологии оттаивания мерзлых песков представлены в работах [4, 5], где авторы предлагают технологию подготовки мерзлых песков к промывке, «блоками активного климатического воздействия» включающими удаление пород вскрыши до продуктивного пласта и оттайку песков распределенным на его поверхности теплообразующим реагентом – хлоридами в сухом виде.

Как известно, эффективность каждого способа оттайки зависит от состояния многолетней мерзлоты и деятельного слоя. Результаты исследований температурного состояния массива многолетнемерзлых пород, а также режима оттайки и промораживания деятельного слоя в летний период представлены в работах [6–8]. Установлено, что температурный режим деятельного слоя пород вскрыши и песков в зоне многолетней мерзлоты формируется в зависимости от геокриологических особенностей региона, а также зависит от температурного режима деятельного слоя и геокриотипов. Как показывают результаты многолетних исследований температурного режима области многолетнемерзлых пород, переход к постоянной отрицательной температуре пород деятельного слоя начинается в конце сентября-октября, а постоянная отрицательная температура устанавливается в октябре-ноябре на уровне -5°C , а в средней полосе в ноябре до глубины 2–2,5 м температура стабилизируется на уровне $-7 - -10^{\circ}\text{C}$. Во второй половине ноября происходит полное промерзание

деятельного слоя, в результате деятельный слой смерзается с массивом многолетнемерзлых пород, при котором рыхлые отложения и нижележащие многолетнемерзлые породы превращаются в монолитный массив, приобретая высокую крепость и прочность, осложняющие их разработку и выемку без предварительной подготовки. Таким образом, эффективная разработка мерзлых пород путем послойного снятия возможна только по мере оттайки, при этом повышение эффективности разработки песков возможно при применении хлоридов солей, повышающих эвтектическую точку плавления льда-заполнителя.

Наиболее перспективными технологиями подготовки мерзлых пород к выемке являются технологии интенсификации оттаивания мерзлых песков при добыче золотоносных пластов с помощью солнечной радиации естественным оттаиванием [9, 10]. Разработанная технология интенсификации оттайки мерзлых песков позволяет с высокой точностью определить скорость оттаивания мерзлого массива с использованием технологических приемов с помощью тепловых ванн. В представленных работах авторы утверждают эффективность применения соляных солнечных нагревателей, интенсифицирующих скорость оттаивания мерзлых песков и облегчающих работу выемочного оборудования.

Современное состояние и основные направления инновационного развития технологии разработки россыпей на Дальнем Востоке представлены в работе [11]. Что касается совершенствования технологии разработки россыпных месторождений Северо-Востока страны, то здесь необходимо учитывать негативные природные факторы, которые влияют на выбор технологий и горнодобывающего оборудования, которые могут уменьшить их влияние, а именно мерзлое состояние горных пород, высокая глинистость песков. Однако разработанные инновационные технологии при разработке мерзлых россыпей недостаточно эффективны вследствие мерзлого состояния разрабатываемых песков.

Авторы работы [12] разработали более эффективные инновационные способы повышения производительности выемочного оборудования, включающие конструктивные изменения формы отвала бульдозера, механизмы поворота отвалов и дополнительные окрылки для увеличения их полезного объема, а также гидропневмоак-

кумулирующие системы. Одним из эффективных технологических приемов является траншейный способ выемки и транспортирования пород, обеспечение работы бульдозера под уклон и выемку пород с промежуточным складированием в валки. Высокую эффективность показала работа спаренных бульдозеров на площадках со спокойным рельефом (в том числе при зачистке дна котлованов, при гидротехническом строительстве), где есть возможность прохода двух параллельно расположенных машин [13].

В то же время следует отметить, что существующие технологические решения, направленные на интенсификацию послойной разработки пород по мере оттайки, недостаточно эффективны. Как правило, выемка мерзлых пород по мере естественной оттайки производится после оттаивания с помощью солнечной радиации. Исследования интенсивности естественной оттайки при льдистости песков 10–20% позволили установить общую суточную глубину оттаивания песков при ежедневном снятии оттаявшего слоя, толщиной 10,0–10,5 см/сутки, а при снятии оттаявшего слоя один раз в трое суток составляет 6,0–6,2 см/сутки, а также при снятии талого слоя один раз в 5 суток – 5,3–5,5 см/сутки [14]. Установлено, что часовая производительность бульдозера, исходя из мощности двигателя 100 л.с., при увеличении глубины оттаявшего слоя от 4 до 7 см увеличивается на 39% (от 17 до 23 м³/ч), а при увеличении глубины оттайки до 25 см производительность бульдозера возрастает лишь на 8–10% (с 23 до 25 м³/ч).

На рис. 1 представлена суточная скорость естественной оттайки песков, откуда видно, что основные объемы оттайки приходятся на летние месяцы – июнь – август, что показывает неравномерность объемов оттайки и нехватку подготовленной горной массы в начале и конце промывочного сезона. Необходимый объем подготовленных песков представлен на рис. 2.

Как показывают результаты выполненных исследований, максимальные объемы подготовленных песков приходятся в летний период – с мая по сентябрь, однако интенсивность оттайки в этот период недостаточна для производительной работы выемочной техники. В связи с этим становится актуальной интенсификация процесса оттайки песков в летний период с использованием энергии солнечной радиации и атмосферного воздуха.

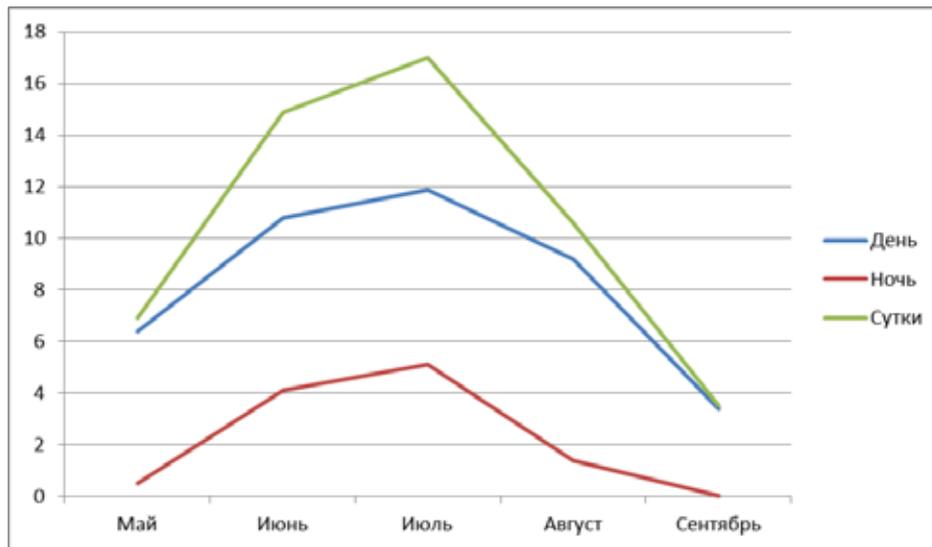


Рис. 1. Суточная скорость естественной оттайки песков

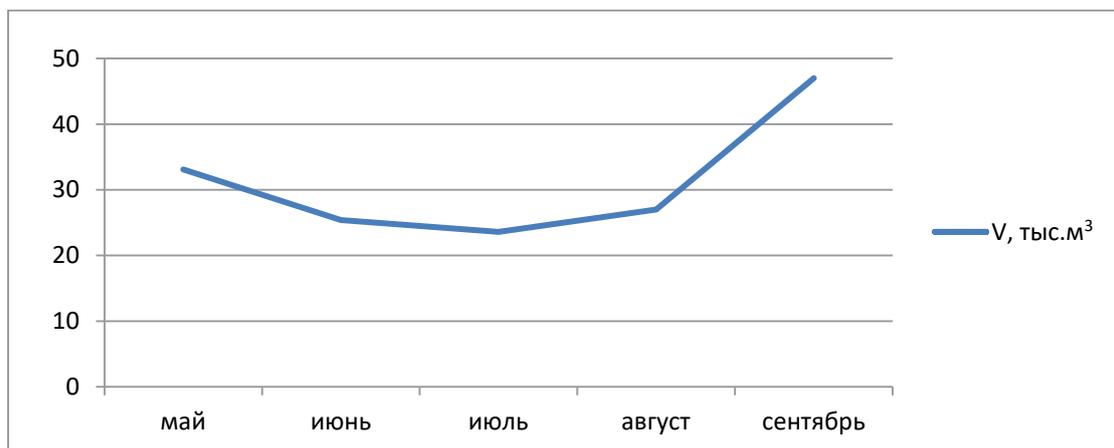


Рис. 2. Необходимый объем оттаявших песков по месяцам

Для повышения скорости оттайки песков разработаны и предложены технологии, включающие вскрытие продуктивного пласта, очистку полигона от почвенно-растительного слоя, удаление пород вскрыши, заполнение оттаиваемого полигона жидкостью, в состав которой входят соли магния с перфорированной пленкой, селективно прозрачной для коротковолнового и длинноволнового излучений. Предлагаемая технология предусматривает вскрытие отрабатываемых запасов, их послонную выемку параллельными заездами с оставлением межтраншейных целиков, при котором между первой траншей и контуром отрабатываемых запасов параллельно проводят дополнительную канаву, в которую подают

воду. В процессе проходки последующих траншей последовательно заполняют водой каждую предыдущую траншею, а после проходки последней траншеи полигон затапливают и отрабатывают межтраншейные целики [15, 16]. Однако данные способы недостаточно эффективны при разработке песков мощных многолетнемерзлых россыпных месторождений.

Результаты исследования и их обсуждение

Наиболее эффективным является предложенная технология, включающая вскрышу торфов, послонную выемку песков отдельными секторами, формируемыми межсекторными целиками, обогащение и

отвалообразование. Вскрытие полигона осуществляют бульдозерами сплошными выездами, а выемку песков осуществляют бункером в плотике, при этом полигон подразделяют на три сектора: центральный, площадь равной суммарной площади двух периферийных секторов.

При этом разрабатываемый по мере оттайки песков полигон разделяют на отдельные разноуровневые секторы с помощью межсекторных целиков. После завершения вскрышных работ бульдозерами формируют межсекторные целики трапециевидного сечения, высотой не менее 50–70 см, такой же шириной, так чтобы в каждом сформированном секторе удерживался интенсифицирующий оттайку песков реагент, в последующем межсекторные целики формируют из добываемых песков в процессе их выемки бульдозером. При этом глубина формируемых периферийных секторов составляет не менее глубины реагента на оттаиваемых периферийных секторах, чтобы весь объем реагента стекал с центрального сектора на них, что примерно составит ниже оттаиваемого сектора на 20–40 см, после этого средний сектор заполняют реагентом, например водным раствором соли магния, интенсифицирующей процесс оттайки песков. Разработку оттаявших песков из подготовленных секторов производят по мере их оттайки поочередно с центрального, т.е. верхнего, оттаявшего сектора, перед которым предварительно спускают реагент на два нижележащих периферийных сектора через подготовленные бульдозером для этого шлюзы в межсекторных целиках, а затем путем послойного снятия оттаявших песков центрального сектора выталкивают их в бункер веерными заездами, таким образом разрабатывают центральный сектор до мерзлоты, при этом его уровень должен быть ниже на 20–40 см, чем уровень периферийных секторов. В результате такого порядка отработки секторов во время извлечения оттаявших песков в секторах, в других секторах одновременно идет процесс оттаивания песков. После завершения отработки оттаявших песков среднего сектора реагент так же через шлюзы перепускают с периферийных секторов обратно на центральный сектор и начинают его оттаивание во время отработки периферийных секторов. Таким образом отработка полигона в целом производится поочередно путем перепуска реагента поочередно с центрального сектора к периферийным и обратно с полной отработкой оттаявших слоев до мерзлоты.

Предлагаемая технология предусматривает поочередное оттаивание обрабатываемых секторов и их отработку поочередно до полного извлечения песков, что обеспечивает повышение эффективности разработки песков. После оттаивания последнего сектора реагент скачивают из полигона в специальную емкость для повторного применения, что исключает загрязнение окружающей среды.

На рис. 3 представлена технологическая схема разработки многолетнемерзлых россыпных месторождений: 1 – торфы, 2 – пески, 3 – межсекторные целики, 4 – бункер, 5 – центральный сектор, 6 – периферийные секторы, 7 – реагент, 8 – шлюзы в межсекторных целиках.

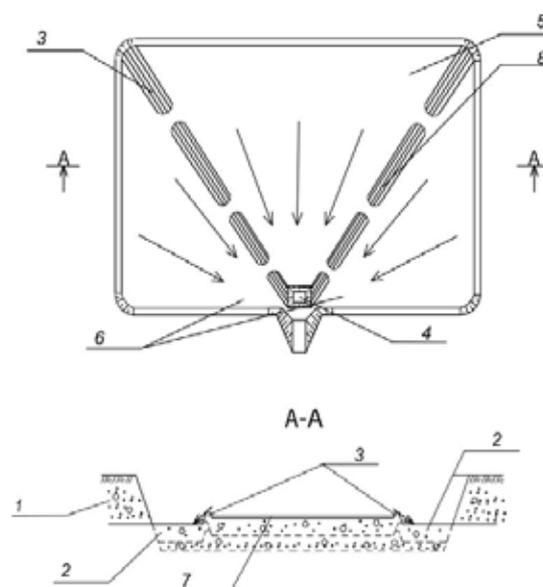


Рис. 3. Технологическая схема разработки многолетнемерзлых россыпных месторождений с оттаиванием секторами

На разрабатываемом полигоне производят вскрышу торфов 1, послойную выемку песков 2 и осуществляют разделение полигона на три сектора: центральный 5 и два периферийных сектора 6 с помощью межсекторных целиков 3, так чтобы площадь центрального сектора была равна площади двух периферийных секторов с расположением бункера 4 по центру разрабатываемого полигона. При этом поперечное сечение межсекторного целика 3 имеет трапециевидное сечение. При этом межсекторные целики 3 формируют одновременно с завершением вскрышных работ из пород вскрыши, высотой не менее 50–70 см для удержания

реагента в каждом секторе для интенсификации оттайки песков. При отработке полигона межсекторные целики формируют из песков. При этом уровень периферийных секторов 6 формируют ниже центрального сектора 5 на 20–40 см. После формирования среднего сектора 5 заполняют его реагентом 7, например водным раствором соли магния, более интенсивно ускоряющей процесс оттайки. Разработку секторов осуществляют после оттайки верхнего центрального сектора 5, до которого предварительно спускают реагент 7 на обе периферийные секторы 6 через шлюзы 8 в межсекторных целиках. Технология отработки секторов заключается в том, что оттаивают пески в центральном секторе 5 снимают послойно и бульдозером транспортируют в бункер 4 веерными до понижения его уровня на 20–40 см относительно периферийных секторов 6.

Таким образом, разрабатываемый полигон делят на три сектора: центральный 5 и два периферийных сектора 6, которые разрабатываются поочередно по мере оттайки. При этом по завершении отработки центрального сектора 5 реагент 7 перепускают с периферийных секторов 6 обратно на центральный сектор и осуществляют его оттайку. После этого разрабатывают периферийные секторы до достижения уровня ниже центрального сектора 5 на 20–40 см. Затем через шлюзы в межсекторных целиках 3 реагент 7 перепускают на нижележащие периферийные секторы 6 для их оттаивания.

Предлагаемый способ реализуется поочередным оттаиванием и разработкой центрального и периферийных секторов, производится поочередно на центральном и периферийных секторах, они постоянно находятся в поочередном оттаивании и разработке до полной отработки песков, что обеспечивает повышение эффективности их разработки. После последнего цикла оттаивания реагент из полигона закачивают в специальную емкость для повторного применения, что исключает загрязнение окружающей среды.

Выводы

1. При разработке россыпных месторождений в условиях многолетней мерзлоты повышение производительности выемочного оборудования возможно оттаиванием мерзлых горных пород, что позволит создать более благоприятные условия для повышения эффективности их работ, в связи с этим при добыче и промывке мерзлых

золотоносных песков проблема повышения эффективности подготовки мерзлых горных пород к выемке является актуальной научно-технической проблемой.

2. Существующие технологические решения, направленные на интенсификацию послойной разработки песков по мере оттайки, недостаточно эффективны, так как накопление оттаявшего слоя значительно снижает интенсивность оттаивания и снижает производительность бульдозера в 2–3 раза, что требует поисков новых технологий подготовки песков к выемке по мере оттайки.

3. Интенсификация послойной выемки многолетнемерзлых песков по мере оттайки возможна поочередным оттаиванием секторов полигона путем увеличения степени дезинтеграции реагентом, путем разделения разрабатываемого полигона на отдельные секторы с разным уровнем, при этом верхний сектор заполняют реагентом, ускоряющим процесс оттайки, а разработку секторов начинают поочередно с центрального верхнего сектора путем послойного снятия оттаявших песков и выталкиванием их в бункер, предварительно спустив реагент на периферийные нижние секторы для их оттаивания. В результате достигается интенсификация процесса оттаивания и повышение производительности выемочного оборудования.

Список литературы

1. Панина Т.Ю., Костромин М.В. Геокриологические проблемы и их решения при разработке россыпных месторождений // Ученые записки Забайкальского государственного университета. Сер. Физика, математика, техника, технология. 2017. Т. 12. № 4. С. 59–72. DOI: 10.21209/2308-8761-2017-12-4-59-72.
2. Субботин Ю.В., Овешников Ю.М., Авдеев П.Б. Подготовка мерзлых пород к выемке при разработке россыпных месторождений в Забайкальском крае // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 3. С. 125–133. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-125-133.
3. Морозова Н.В. Технология подготовки искусственных сушенцовых зон при разработке многолетнемерзлых грунтов в условиях крайнего Севера // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Развитие Севера и Арктики: проблемы и перспективы» (Апатиты, 6–8 ноября 2013 г.). СПбЭУ. Апатиты, 2013. С. 105–107.
4. Ивашин А.А. Анализ методов оттаивания мерзлых горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № S7. С. 537–544.
5. Панишев С.В. К вопросу обоснования эффективности подготовки горных пород к выемке блоками активного климатического воздействия в условиях открытой разработки месторождений криолитозоны // Успехи современного естествознания. 2017. № 12. С. 230–235.
6. Zarovnyaev B., Shubin G., Sobakina M., Budikina M. Development of environmentally safe mining technologies taking into account thermomechanical conditions of the permafrost zone. World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium – WMESS. 2018. September, 03–07. Prague – Czech Republic. DOI: 10.1088/1755-1315/221/1/012118.

7. Калачев А., Печкин А., Красненко А. Динамика температурных колебаний поверхностного почвенного покрова в Арктическом регионе // Известия Алтайского государственного университета. 2018. № 1 (99). С. 24–28. DOI: 10.14258/izvasu(2018)1-03.
8. Андреева В.В., Максимов Г.Т., Спектор В.В., Холодов А.Л., Давыдов С.П. Температурный режим многолетнемерзлых пород на постпирогенных участках севера Колымской низменности // Успехи современного естествознания. 2021. № 8. С. 29–40.
9. Субботин Ю.В., Овешников Ю.М. Новые технологии и способы оттаивания сезонных и многолетнемерзлых пород // Горный журнал. 2011. № 4. С. 85–89.
10. Kodama J. et al. The effects of water content, temperature and loading rate on strength and failure process of frozen rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2013. Vol. 62. P. 1–13.
11. Viktor Litvinsev, Petr Sas. Current state and main directions of innovative development of placer gold mining in Far East Federal District. VII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources”. E3S Web of Conferences 56. 04004 (2018). DOI: 10.1051/e3sconf/20185604004.
12. Lukasz Botoz, Krzysztof Krauze. Ability to mill rocks in open-pit mining. 18-th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM-2018. Volume 18. Exploration and mining. 2 July – 8 July. 2018. Albena, Bulgaria. P. 41–48. DOI: 10.5593/sgem2018/1.3.
13. Вахрушев С.И., Исакова Ю.А. Исследование спаренной работы бульдозеров при разработке грунтов различных категорий // *MasterS Journal*. 2016. № 2. С. 344–361.
14. Рашкин А.В., Субботин Ю.В., Позлутко С.Г. Совершенствование способов оттаивания мерзлых пород // *Горный журнал*. 1996. № 9–10. С. 9–11.
15. Рашкин А.В., Субботин Ю.В. Патент № 2276236, МПК E02F 5/30. Способ оттаивания мерзлых горных пород и грунтов. По заявке № 2004134004/03 от 22.11.2004 г. Оpubл. 10.05.2006 г. Бюл. № 13.
16. Кисляков В.Е., Никитин А.В. Патент № 2353772, МПК E21C 41/30, E21C 45/00. Способ разработки россыпных месторождений. По заявке № 2007138132/03, от 2007.10.15 г. Оpubл. 27.04.2009 г.

УДК 624.131.4

ПРОЧНОСТЬ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ОСЫПИ КАРЬЕРА «ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНЫЙ»

Захаров Е.В.

*ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук»,
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения
Российской академии наук, Якутск, e-mail: zaharoff@igds.ysn.ru,*

Свойства мерзлых грунтов определяются многими факторами и существенно зависят от температуры, влажности, гранулометрического состава, насыпного веса и т.д. Для выяснения характера деформирования и разрушения образцов мерзлых грунтов, отобранных с берегов техногенного озера, образованного на дне отработанного карьера «Интернациональный», были проведены исследования их основных физико-механических свойств и испытания на одноосное сжатие искусственно изготовленных образцов кубической формы с ребром 100 мм. Проведенные испытания показали, что в исследуемом грунте отсутствуют легкорастворимые соли, но в незначительном количестве присутствуют среднерастворимые (загипсованность 1,12%). Ввиду незначительного содержания солей замораживание образцов происходит при минимальной отрицательной температуре. Прочность мерзлых образцов значительно увеличивается с понижением температуры, однако при нижнем и верхнем пределе пластичности практически не отличается. Получены линейные зависимости прочности мерзлых грунтов, отобранных со дна карьера «Интернациональный», от температуры при различной влажности. В мерзлом состоянии при температуре -3°C и влажности 16% средняя прочность искусственно изготовленных образцов составляет 2,34 МПа, а при влажности 26% – 2,93 МПа. С дальнейшим понижением температуры до -5°C средняя прочность образцов породы возрастает до 4 МПа, а при температуре -10°C средняя прочность образцов породы достигает 7 МПа. Определено, что при температуре ниже -7°C исследуемые грунты переходят в разряд скальных грунтов малой прочности.

Ключевые слова: отрицательная температура, мерзлые грунты, прочность, одноосное сжатие, карьер «Интернациональный»

STRENGTH OF FROZEN ROCKS OF SHADE INTERNATIONAL QUARRY

Zakharov E.V.

*Federal Research Centre “The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences”, N.V. Chersky Institute of Mining of the North SB RAS,
Yakutsk, e-mail: zaharoff@igds.ysn.ru*

The physical and mechanical properties of frozen soils are determined by many factors and significantly depend on temperature, humidity, granulometric composition, bulk weight, etc. To elucidate the nature of deformation and destruction of frozen soil samples taken from the shores of the technogenic lake formed at the bottom of the worked-out quarry “Internationalny”, studies of their basic physical and mechanical properties and tests for uniaxial compression of artificially made samples of a cubic shape with an edge of 100 mm were carried out. The tests carried out showed that there are no readily soluble salts in the studied soil, but moderately soluble salts are present in a small amount (gypsum content 1,12%). Due to the low salt content, samples are frozen at a minimum negative temperature. The strength of frozen specimens increases significantly with decreasing temperature, but practically does not differ at the lower and upper limits of plasticity. Linear dependences of the strength of frozen soils taken from the bottom of the “International” quarry on temperature at different humidity were obtained. In a frozen state at a temperature of -3°C and a humidity of 16%, the average strength of artificially made samples is 2.34 MPa, and at a humidity of 26% – 2.93 MPa. With a further decrease in temperature to -5°C , the average strength of rock samples increases to 4 MPa, and at a temperature of -10°C , the average strength of rock samples reaches – 7 MPa. It has been determined that at temperatures below -7°C , the studied soils pass into the category of rocky soils of low strength.

Keywords: negative temperature, frozen soils, strength, uniaxial compression, International quarry

В настоящее время в связи с сокращением минерально-сырьевой базы алмазодобывающим компаниям приходится осуществлять добычу сырья в крайне сложных горно-геологических условиях. К таким условиям можно отнести добычу подкарьерных запасов в АК «АЛРОСА». Объектом исследования в настоящей работе выступали грунты, отобранные со дна карьера «Интернациональный». Разработка кимберлитовой трубки «Интернациональная» открытым способом завершена в 1981 г.

на глубине 285 м и с 1999 г. (1, 2 очередь) ведется подземным способом, производительность рудника 500 тыс. т в год. С момента прекращения открытых горных работ поверхность бортов карьера подвергалась выветриванию. В результате образования осыпей уступы карьера сработаны на 90% [1, с. 42]. В настоящее время, по данным АК «АЛРОСА», дно карьера «Интернациональный» представляет собой водонасыщенный массив грунтов мощностью 45 м с наличием на поверхности техногенного озера.

Таблица 1

Свойства грунта

Наименование параметра	Показатель
Плотность истинная (крупность 2–5 мм)	2905 кг/м ³
Плотность истинная мелкой фракции (крупность < 0,1 мм)	2709 кг/м ³
Влажность исходная	3,5 %
Верхний предел пластичности	25,9 %
Нижний предел пластичности	16,3 %
Число пластичности	9,4 %
Максимальная плотность по верхнему пределу пластичности	1876 кг/м ³
Максимальная плотность по нижнему пределу пластичности	1832 кг/м ³
Степень засоления (загипсованность)	1,12 %

Так как при отработке трубки открытым способом вскрытия метегеро-ичерского водоносного комплекса не произошло [2, с. 19], то вода в карьер поступает в основном с атмосферными осадками и весенними паводками. Наличие в карьере «Интернациональный» пульпообразной грунтовой массы и воды представляет существенную опасность для подземной отработки подкарьерных запасов [3, с. 49]. Для обеспечения безопасности ведения горных работ в подземном руднике «Интернациональный», предусмотрен предохранительный рудный целик, оценке состояния которого посвящен ряд работ [4–6].

Целью выполненной работы являлось определение прочностных показателей мерзлых грунтов, отобранных с берегов техногенного озера, образованного на дне отработанного карьера «Интернациональный». Одновременно оценивалась возможность формирования льдопородного предохранительного массива путем искусственного промораживания обводненной грунтовой осыпи, находящейся на дне карьера, при помощи жидкостных замораживающих колонок [7, с. 88].

Для выяснения характера деформирования и разрушения образцов мерзлых горных пород, отобранных с берегов техногенного озера, были проведены исследования их свойств и испытания на одноосное сжатие искусственно изготовленных образцов кубической формы с ребром 100 мм. Общая масса пробы, предоставленной институтом «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА», составляла около 330 кг.

Предварительно в соответствии с ГОСТ 12536-2014 [8, с. 3] был проведен гранулометрический анализ с разделением исследуемой породы на классы при промывке их водой. По данным анализа в исходной поро-

де содержится 45 % материала крупностью менее 0,1 мм, а доля крупнообломочных частиц (более 10 мм) составляет 35%. Цвет образцов светло-серый и коричневый, по минералогическим признакам порода относится к алевролитам и мергелям с включением крупнообломочных фракций известняка. Проведенные нами ранее исследования показали [9–11], что вмещающие породы алмазоносных трубок, представленные мергелями и алевролитами, имеют крайне низкую морозостойкость, особенно в водонасыщенном состоянии. Это приводит к дезинтеграции породы и, как следствие, ее осыпанию с поверхности бортов карьера [12, с. 41].

На основании ГОСТ 5180-2015 [13, с. 3–5], ГОСТ 25100-2020 [14], а также используя ускоренный метод определения максимальной плотности [15], были определены свойства исследуемого грунта (табл. 1).

Материалы и методы исследования

Прочность мерзлых грунтов, отобранных со дна карьера «Интернациональный», определяли при одноосном сжатии искусственно изготовленных образцов кубической формы с ребром 100 мм. Влажность грунта соответствовала нижнему и верхнему пределу пластичности, температура испытаний: -3 °С, -5 °С и -10 °С.

Исследуемый грунт просеивали через сито с ячейками 10 мм с целью удаления крупной фракции и высушивали при температуре 105±5 °С до достижения постоянной массы. Сухой грунт разделяли на две группы, добавляли в них дистиллированную воду и в течение 5 мин перемешивали миксером для получения однородной массы с заданной влажностью (16 % и 26 %). Далее, приготовленную грунтовую массу послойно помещали в отсеки металлической кассеты

с размерами ячеек 100x100x100 мм, боковые поверхности и дно которой были покрыты фторопластовой лентой для предотвращения примерзания к ним влажного грунта.

Уплотнение грунта в ячейках кассеты осуществляли вручную. Для этого ячейки послойно наполняли грунтом, высотой примерно 2 см, и при помощи вибрационного воздействия (постукиванием) добивались его уплотнения в ячейках кассеты под собственным весом до того момента, пока грунт переставал утрамбовываться. После окончания укладки и уплотнения грунта в металлической кассете верхнюю часть образцов (излишки) срезали металлическим шпателем.

Кассеты с уложенным грунтом оборачивали в несколько слоев полиэтиленовой пленкой для предотвращения потерь влаги, снабжали термодатчиком, расположенным в центре образца, и помещали в морозильную камеру Tira TCC 7160. В морозильной камере образцы выдерживали до достижения ими заданной температуры (-3 °С, -5 °С и -10 °С) и дополнительно выстаивали при ней не менее 6 ч для обеспечения полного замораживания образцов. Время замораживания и выдержки образцов при температуре -10 °С составляло около суток, а при температурах -3 °С и -5 °С – более двух суток.

Замороженные образцы грунта вынимали из морозильной камеры и разбирали в низкотемпературной камере объемом 30 м³ при отрицательных температурах, близких к температурам замораживания. На рис. 1 приведен образец изготовленного мерзлого грунта правильной кубической формы после распалубки кассеты.

При разборе кассеты на полиэтиленовой пленке, применявшейся для предотвращения потерь влаги образцами, а также на изготовленных образцах наблюдался иней и лед. Случаев разрушения мерзлых образцов при разборе кассеты не происходило, что свидетельствует об их полном смерзании даже при минимальной исследуемой влажности (16%) и небольшой отрицательной температуре -3 °С.

Перед испытанием на гидравлическом прессе изготовленные грунты взвешивали для контроля качества их изготовления и определения объемной плотности. Плотность изготовленных образцов при влажности 16% составила 2,2 г/см³, а при влажности 26% – 2,08 г/см³.

Прочность на одноосное сжатие искусственно изготовленных кубических образцов мерзлого грунта определяли при помощи гидравлического пресса фирмы Toni

Technik серии ToniNORM, обладающего максимальной нагрузкой в 600 кН. Для исключения теплового влияния плит испытательной машины на испытуемые образцы применяли сменные прокладки из стали (150x150x8 мм), которые вместе с замораживаемыми образцами выдерживали в морозильной камере при заданных температурах, а при испытаниях устанавливали между верхней и нижней плоскостью образца.



Рис. 1. Взвешивание образца после распалубки металлической кассеты

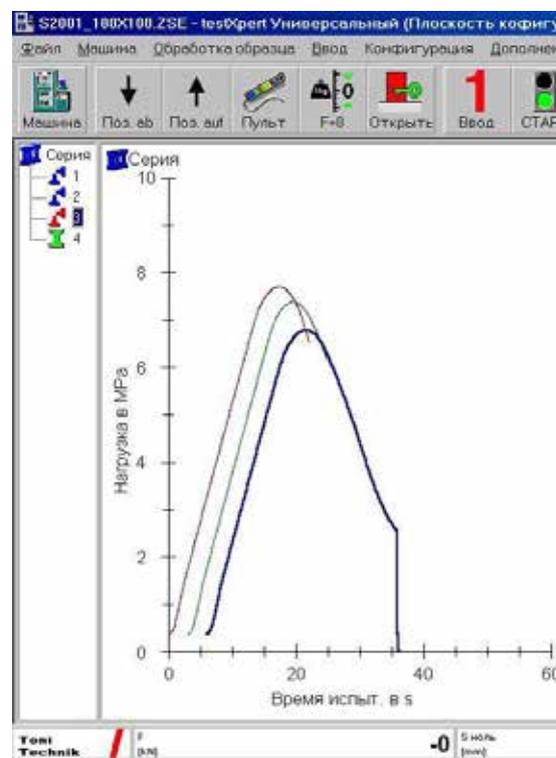


Рис. 2. Графики нагружения образцов (W16%, t = -10 °С)

Таблица 2

Прочность образцов в зависимости от температуры и влажности

Температура, °С	Прочность, МПа			Средняя прочность, МПа
Влажность – 16%				
-3	2,5	2,32	2,2	2,34
-5	4	4,4	4,4	4,27
-10	6,77	7,4	7,7	7,29
Влажность – 26%				
-3	3,1	2,8	2,9	2,93
-5	3,9	4	3,8	3,90
-10	6,5	6,7	6,5	6,57

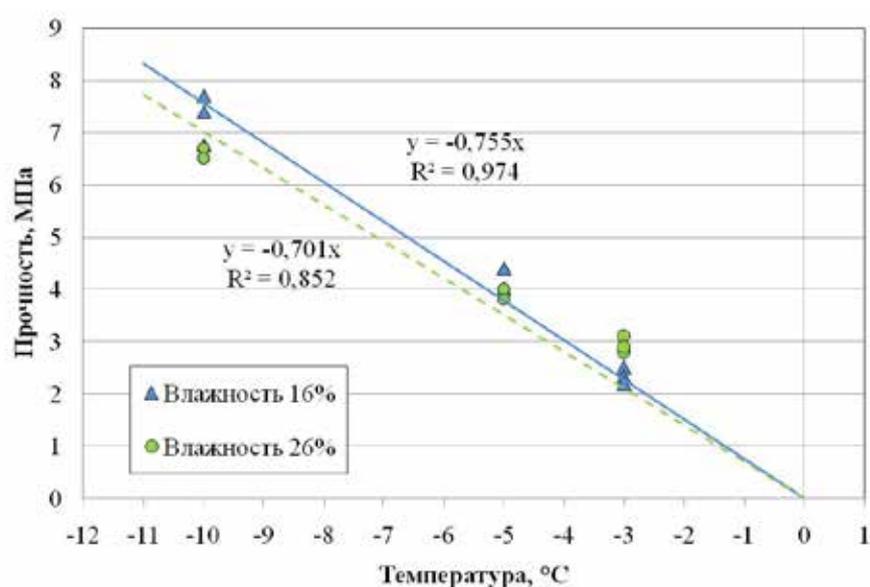


Рис. 3. Зависимость прочности мерзлых образцов от температуры при различной влажности

Результаты выполненных исследований по определению прочности мерзлых грунтов, отобранных со дна карьера «Интернациональный», приведены в табл. 2 и на рис. 2.

На рис. 3 приведен график зависимости прочности при одноосном сжатии мерзлых образцов исследуемого грунта от температуры и различной влажности. Точками обозначены данные, полученные в ходе исследования, и добавлены линейные тренды. Проведенные испытания показали, что прочность мерзлых образцов исследуемого грунта увеличивается с понижением температуры.

Ввиду отсутствия в породе легкорастворимых солей и наличия незначительного количества среднерастворимых солей, а именно гипса (1,12%), замерзание грунта происходит даже при минимальной от-

рицательной температуре и влажности. В мерзлом состоянии при температуре -3 °С и влажности 16% средняя прочность образцов грунта составляет 2,34 МПа, а при влажности 26% – 2,93 МПа. При температуре -5 °С средняя (по двум влажностям) прочность мерзлых грунтов составляет 4 МПа. При дальнейшем понижении температуры до -10 °С прочность мерзлых образцов увеличивается на 70% и достигает 7 МПа.

При испытаниях на прессе, под нагрузкой, первоначальная кубическая форма образцов деформируется, значительно изменяются их геометрические размеры, но полного разрушения образцов на отдельные составляющие не происходит (рис. 4). Стоит отметить, что при испытаниях пород влажностью 26% по нижней кромке образца выступала

влаги, чего не наблюдалось при испытаниях образцов с влажностью 16% (рис. 5).



Рис. 4. Характерная форма разрушения образцов при сжатии на прессе ($W = 26\%$)

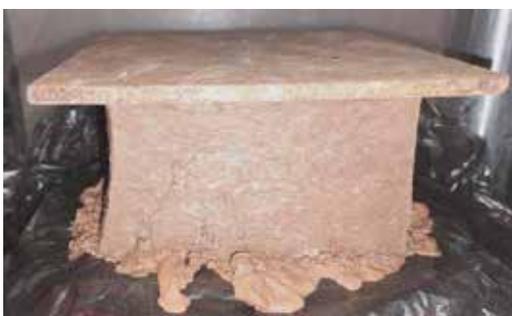


Рис. 5. Выступившая влага при испытаниях образцов ($W = 26\%$)

Заключение

Проведенными исследованиями было установлено, что грунт, отобранный с берегов техногенного озера, образованного на дне отработанного карьера «Интернациональный», относится к незасоленным грунтам, в среднем на 35% состоит из крупнообломочных фракций и 45% частиц размером менее 0,1 мм, что соответствует дресвяно-щебенистому грунту с суглинистым заполнителем.

На искусственно изготовленных образцах определена прочность на одноосное сжатие мерзлых грунтов со дна карьера «Интернациональный» в зависимости от температуры и влажности. Согласно полученным данным при температуре ниже -7°C исследованные грунты переходят в разряд малопрочных скальных грунтов ($R_c > 5$ МПа).

Лабораторные исследования проводились на оборудовании ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН (грант № 13.ЦКП.21.0016).

Список литературы

1. Колганов В.Ф., Акишев А.Н. Коренные месторождения алмазов Западной Якутии. Справочное пособие. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2011. 215 с.
2. Янников А.М. Гидрогеология глубоких горизонтов вмещающих толщ трубки «Интернациональная» (Республика Саха (Якутия)): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Воронеж, 2019. 187 с.
3. Айнбиндер И.И., Пацкевич П.Г., Красюкова Е.В. Основание параметров опасных зон при комбинированной разработке кимберлитовых месторождений Якутии // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2019. № 3. С. 48–60.
4. Барышников В.Д., Барышников Д.В., Гахова Л.Н. Геомеханическая оценка и контроль состояния предохранительного целика при его подработке // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018. Т. 5. С. 279–284. DOI: 10.18303/2618-981X-2018-5-279-284.
5. Барышников В.Д., Бокий И.Б., Гахова Л.Н., Барышников Д.В. Закономерности формирования геомеханического состояния подкарьерного целика при подземной отработке запасов на руднике «Интернациональный» // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2021. № 3. С. 257–268. DOI: 10.46689/2218-5194-2021-3-1-251-262.
6. Коваленко А.А., Захаров Н.Е., Пуль Э.К., Золотин В.Г. Геомеханические аспекты разработки кимберлитового месторождения трубки «Интернациональная» // Горный журнал. 2019. № 2. С. 27–31. DOI: 10.17580/gzh.2019.02.05.
7. Курилко А.С., Соловьев Д.Е. Формирование льдопородного массива на дне отработанного кимберлитового карьера «Интернациональный» АК «АЛРОСА» с использованием жидкостных замораживающих колонок принудительного действия // Успехи современного естествознания. 2022. № 6. С. 88–95. DOI: 10.17513/use.37846.
8. ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ, 2019. 20 с.
9. Захаров Е.В. Влияние знакопеременных температурных воздействий на энергоёмкость процесса дробления горных пород: специальность 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Якутск, 2011. 18 с.
10. Захаров Е.В., Курилко А.С. Энергоёмкость разрушения скальных пород алмазных месторождений Якутии после циклов замораживания-оттаивания // Обогащение руд. Руда и металлы. 2018. № 5. С. 11–16. DOI: 10.17580/or.2018.05.02.
11. Захаров Е.В., Курилко А.С. Изменение удельной поверхности горных пород под влиянием циклов замораживания-оттаивания // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 12. С. 31–38. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-31-38.
12. Слепцов В.И., Курилко А.С. Расчет динамики осыпания бортов карьера для карбонатных пород разной морозостойкости // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. № 1. С. 34–41.
13. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Стандартинформ, 2016. 20 с.
14. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2020. 38 с.
15. Инструкция по определению требуемой плотности и контролю за уплотнением земляного полотна автомобильных дорог. ВСН 55-69. Минтрансстрой СССР. Утверждена Министерством транспортного строительства СССР 12 марта 1969 г. ОРГТРАНССТРОЙ. М., 1969. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.norm-load.ru/SNiP/Data1/46/46671/index.htm> (дата обращения: 20.09.2022).

УДК 556.34(571.56)

ПРОГНОЗ ИНФИЛЬТРАЦИИ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ЖИДКИХ ОТХОДОВ ИЗ ПРУДА-ОТСТОЙНИКА В КРИОЛИТОЗОНЕ

Попов В.И.

*ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук», Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского
Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: popov.gtf@mail.ru*

Интенсификация промышленного освоения месторождений полезных ископаемых – одна из основных причин загрязнения окружающей среды. Продвижение промышленного производства в северные регионы страны поставило новые задачи, связанные с проблемой захоронения дренажных рассолов в многолетнемерзлые породы криолитозоны. В попытках решения этой проблемы возникла необходимость в изучении процесса взаимодействия рассолов и мерзлых пород. В работе представлены результаты математического моделирования инфильтрации высокоминерализованного раствора, аналогом которого являются дренажные рассолы, в мерзлый массив горной породы. Разработанная математическая модель инфильтрации высокоминерализованного раствора позволяет учитывать его поступление как за счет вымывания солей с территории рудного склада (I), так и из естественного пруда-отстойника (II), расположенного на удалении от бровки уступа карьера. При расчетах учитываются условия термодинамического равновесия льда с высокоминерализованным раствором, которые обеспечивают его плавление и соответствующее разбавление раствора. А также изменения фазового объема рассматриваемой системы высокоминерализованный раствор – поровый лед (появление воздушной депрессии), вызванной плавлением льда. Используются модели фильтрации в средах с переменной пористостью. Модель позволяет рассчитывать зоны удаления порового льда в горном массиве в соответствии с траекториями течения рассола в породе.

Ключевые слова: высокоминерализованный раствор, инфильтрация, диффузионный и конвективный перенос, фазовое равновесие лед – раствор

FORECAST OF INFILTRATION OF CONCENTRATED LIQUID WASTE FROM A SETTLEMENT POND IN THE CRYOLITHOZONE

Popov V.I.

*Federal Research Centre “The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences”, N.V. Chersky Institute of Mining of the North SB RAS, Yakutsk, e-mail: popov.gtf@mail.ru*

The intensification of industrial development of mineral deposits is one of the main causes of environmental pollution. The promotion of industrial production to the northern regions of the country has set new tasks related to the problem of burying drainage brines in the permafrost of the permafrost zone. In attempts to solve this problem, it became necessary to study the process of interaction between brines and frozen rocks. The paper presents the results of mathematical modeling of the infiltration of a highly mineralized solution, which is analogous to drainage brines into a frozen rock mass. The developed mathematical model of highly mineralized solution infiltration makes it possible to take into account its influx both due to salt leaching from the territory of the ore store (I) and from the natural settling pond (II) located at a distance from the edge of the quarry ledge. The calculations take into account the conditions of thermodynamic equilibrium of ice with a highly mineralized solution, which ensure its melting and the corresponding dilution of the solution. As well as changes in the phase volume of the considered system of a highly mineralized solution – pore ice (the appearance of air depression) caused by the melting of ice. Models of filtration in media with variable porosity are used. The model makes it possible to calculate the zones of pore ice removal in the rock mass in accordance with the brine flow trajectories in the rock.

Keywords: highly mineralized solution, infiltration, diffusion and convective transport, ice-solution phase equilibrium

Геоэкологические способы захоронения и складирования дренажных рассолов, формирующихся при алмазодобыче, развивались в следующих направлениях [1–3]: 1) регулируемый сброс дренажных рассолов с минерализацией до 90 г/л в речную сеть со слабой ассимилирующей способностью; 2) поверхностное складирование высокоподвижных и агрессивных ко льду дренажных рассолов в условиях многолетнемерзлых пород; 3) подземное захоронение дренажных рассолов в естественных емкостях многолетнемерзлых пород; 4) закачка рассолов в водоносные комплексы криолитозоны, при этом условия

затрудненного возврата рассолов достигаются обустройством вокруг карьера тампонажной зоны.

В данной работе в развитие вышеупомянутого пункта 4 представлены предварительные результаты по исследованию методом математического моделирования проникновения высокоминерализованного раствора в мерзлый массив горной породы. Разработанная модель позволяет учесть поступление раствора как за счет вымывания солей на территории рудного склада (рис. 1, I) так и из естественного водосборника (рис. 1, II) расположенного на некотором удалении от бровки уступа карьера [4].

Особенностью взаимодействия порового льда мерзлых горных пород и высокоминерализованного раствора солей является возможность процесса оттаивания льда при отрицательной температуре. В случае контакта рассола с пресным льдом нарушается термодинамическое равновесие гетерогенной ранее изолированной системы лед – раствор, в системе согласно термодинамическому принципу Ле-Шателье возникают процессы, направленные к восстановлению равновесия: уменьшение концентрации рассола за счет расплавления порового льда, отбор тепла, необходимого для расплавления, из окружения изолированной системы. В данном исследовании представлена математическая модель прогноза фазового состояния системы мерзлый льдонасыщенный массив – высокоминерализованный раствор с учетом его конвективного и диффузионного переноса в неоднородном, поровом пространстве мерзлого массива. Дополнительно учтены сопутствующие механизмы разбавления высокоминерализованного раствора при контактном плавлении порового льда, а также изменение фазового объема лед – высокоминерализованный раствор рассма-

триваемой системы (появление воздушной депрессии), вызванной плавлением льда, а следовательно, уменьшением его фазового объема.

Описываемая методология может оказаться полезной при разработке гидрометаллургических технологий выщелачивания в условиях преобладания отрицательных температур как среды, так и массивов горных пород при использовании реактивов, с высокой реакционной активностью в высокоминерализованных растворах, что обеспечит проницаемость мерзлой горной породы [5–7].

Для простоты сделаем предположение об однородном строении и минеральном составе горного массива, что обеспечит простое выражение для уравнения фазового равновесия поровой влаги.

Материалы и методы исследования

Процесс переноса тепла, влаги и солей опишем системой из трех соответствующих уравнений баланса [8–10], которые вместе с уравнением фазового равновесия определяют содержание подвижных компонентов в двумерном мерзлом горном массиве (рис. 1).

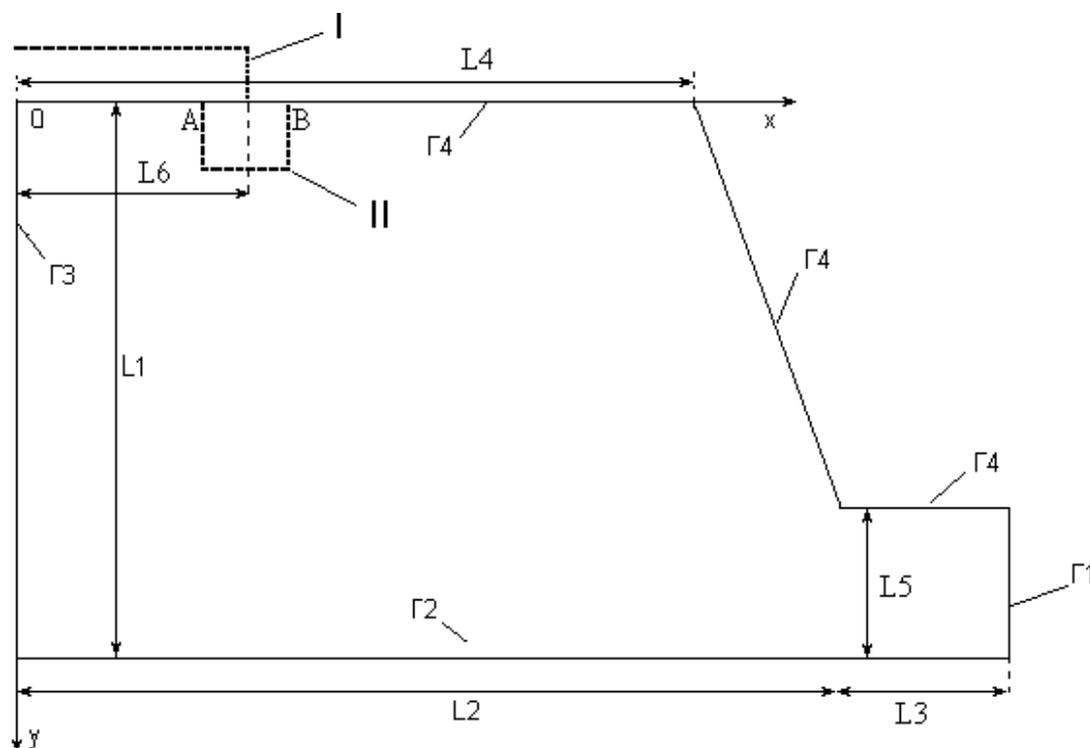


Рис. 1. Схема областей инфильтрационного проникновения в сечении борта карьера ($L1 = 40 \text{ m}$; $L2 = 126, 6 \text{ m}$; $L3 = 33, 4 \text{ m}$; $L4 = 106, 45 \text{ m}$; $L5 = 5 \text{ m}$; $L6 = 64 \text{ m}$; $B = 9, 6 \text{ m}$)

Так как возмущающим фактором является изменение температуры в первоначально однородной рассматриваемой системе, то первым уравнением будет уравнение теплопроводности

$$\frac{\partial(c\rho T)}{\partial t} = -\nabla J_T + L\rho I_F, \quad (1)$$

где c, ρ – теплоемкость и плотность горных пород; L – теплота фазового превращения; T – температура; t – время; J_T – поток тепла с конвективным компонентом; I_F – интенсивность источника фазовых превращений лед – вода [10]. Начальным условием является постоянная отрицательная температура массива $T_{\text{мас}}$. Граничные условия третьего рода приняты на поверхностях теплообмена с внешней средой и условия симметрии – на границах обрезания массива.

Второе уравнение математической модели описывает перемещение жидкой фазы в двумерном первоначально мерзлом массиве (рис. 1):

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -\nabla J_w - I_F. \quad (2)$$

Здесь w – влагосодержание; J_w – поток влаги с фильтрационным компонентом. Начальным условием является содержание незамерзшей влаги и порового льда, соответствующих отрицательной температуре массива. Граничные условия определяют изоляцию системы, на выделенных участках поверхности массива ставится условие инфильтрации раствора на определенном временном интервале $(0, t_{\text{инф}})$.

Третье уравнение описывает перенос концентрации раствора как за счет диффузионного, так и конвективного процесса инфильтрации:

$$\frac{\partial(wC)}{\partial t} = -\nabla J_C - k_{\text{зах}} C I_F, \quad (3)$$

где C – концентрация растворенного компонента; J_C – суммарный поток растворенного компонента; $k_{\text{зах}}$ – параметр, определяющий вероятность захвата солей на границе лед – поровый раствор. Начальным условием является однородное содержание соли C_0 . Граничные условия определяют изоляцию системы, на выделенных участках поверхности массива ставится условие инфильтрации раствора с концентрацией $C_{\text{рас}}$ на определенном временном интервале $(0, t_{\text{инф}})$. Система (1–3) дополняется уравнением фазового состояния раствора $T_F = T_F(w, C)$.

Так как инфильтрация в массив горной породы происходит в условиях неполного насыщения, для величины гидравлической проводимости используем выражение ван Генухтена – Муалема, приведенное в работе [7].

$$K(w) = K_s S_e^l \left[1 - (1 - S_e^n)^m \right], \quad (4)$$

где S_e – относительная насыщенность порового пространства жидкой фазой влагой; K_s – коэффициент фильтрации при полном насыщении принят $K_s = 2,5 \cdot 10^{-8}$ м/с; l, n, m – связанные параметры.

Наличие льда в порах приводит к снижению проницаемости горной породы, этот факт учитывается введением фильтрационного сопротивления перемещению потока [7]:

$$K(w)_{\text{frozen}} = 10^{\frac{\Omega w_i}{w_i - w_r}} K(w), \quad (5)$$

где w_i – максимальная влагоемкость породы; w_r – адсорбционная влагоемкость; w_i – льдистость; Ω – параметр.

Приведенная система уравнений переноса тепла, влаги и солей (1–3) решена численным методом [10] с использованием метода дробных шагов, на которых решаются задачи фильтрации, диффузии и фазового перехода поровый лед – вода, а также их покомпонентного расщепления на одномерные задачи.

Результаты исследования и их обсуждение

Расчеты проводились для двух вариантов поступления раствора в массив. Первый вариант (I) относится к складированию засоленного рудного материала на поверхности массива. Инфильтрация рассола, вымываемого осадками из засоленных руд, локализована на отрезке $(0, L_6)$ – рис. 1), занятом рудным складом.

Для второго варианта (II) инфильтрация рассчитывалась из естественного пруда-отстойника с высокоминерализованным раствором, расположенного в области АБ (рис. 1).

Значения расчетных параметров приняты следующими: температуры массива $T_{\text{мас}} = -2$ °С; начальная концентрация порового раствора в массиве $C_0 = 1$ г/л; концентрации высокоминерализованного раствора приняты как $C_{\text{рас}} = 50 * C_0$ для первого варианта и $C_{\text{рас}} = 100 * C_0$ для второго; начальная влажность массива равна 0,13.

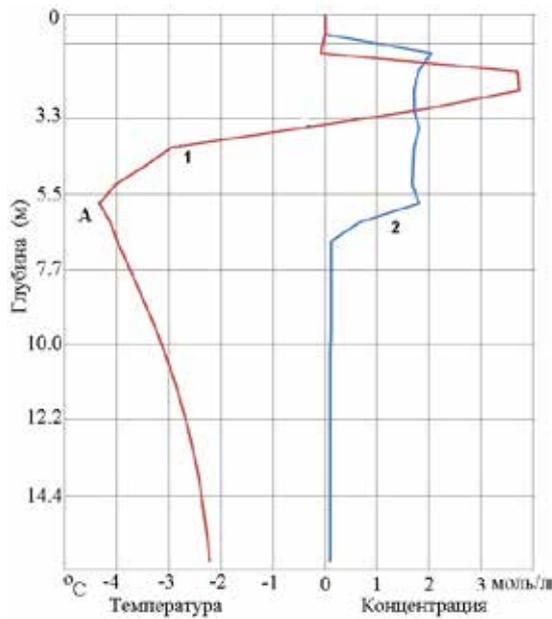


Рис. 2. График распределения температуры (1) и концентрации (2) под дном пруда-отстойника ($t = 1,5$ года)

Температура подачи высокоминерализованного раствора принята равной температуре поверхности массива для первого варианта и температуре дна пруда-отстойника, полученной в результате решения отдельной задачи, для второго варианта. Температура среды меняется в соответствии с климатическим значением годового цикла

для места расположения промышленного объекта. На рис. 2 представлены графики температуры и концентрации высокоминерализованного раствора под дном пруда-отстойника. Литерой (А) выделена область понижения температуры массива при инфильтрации раствора высокой минерализации в льдосодержащем массиве горных пород.

Результаты расчетов позволили выявить, что распределение концентрации высокоминерализованного раствора в целом для обоих вариантов соответствует его фронтальному перемещению, для второго варианта существенно влияние бровки уступа карьера. Для льдосодержания можно наблюдать как свободную от порового льда зону, так и рост его содержания на границе области термодинамического равновесия, вызванного охлаждением породы. Изменение начального распределения льдосодержания обусловлено взаимодействием порового льда с фильтрационным потоком высокоминерализованного раствора (рис. 3). Снижение содержания порового льда в породном массиве для обоих вариантов может привести к деструктивным процессам в зонах влияния фильтрационных потоков высокоминерализованного раствора. Учет этих факторов может способствовать повышению надежности процессов захоронения и минимизации их негативного влияния на окружающую среду.

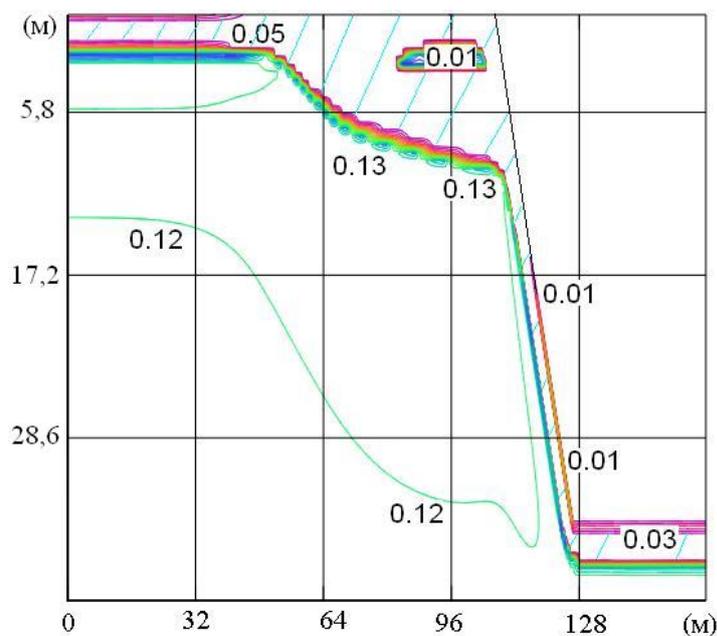


Рис. 3. Картина распределения льдосодержания в зоне влияния пруда-отстойника ($t = 10,5$ года). Заштрихована область, свободная от порового льда

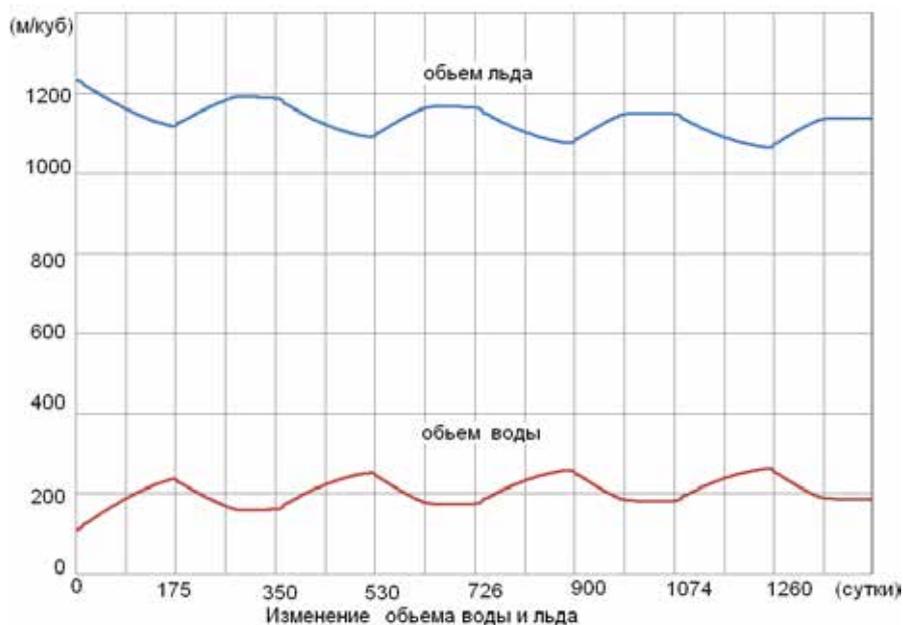


Рис. 4. Временной график раздельного суммирования содержаний влаги и порового льда в расчетном объеме горного массива

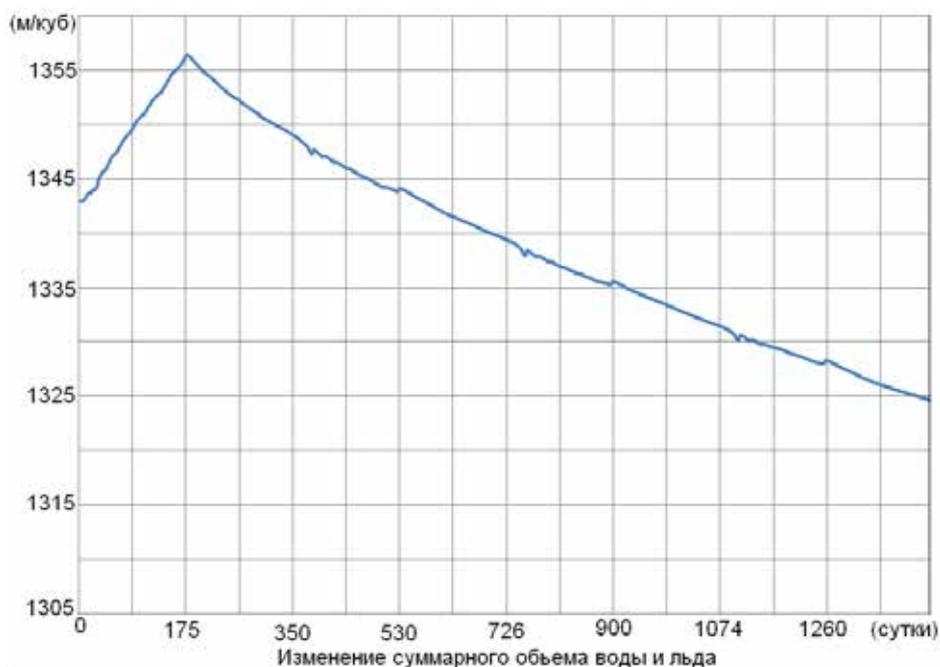


Рис. 5. Временной график общего изменения содержания влаги и порового льда в расчетном объеме горного массива

Условия инфильтрации под дном хранилища высокоминерализованного раствора (пруд-отстойник), его более высокая концентрация приводят к интенсивному характеру протекания процесса взаимо-

действия с поровым льдом, в этом случае зона деструкции мерзлого состояния массива приобретает значительные размеры по сравнению с такими параметрами для рудного склада. При проникновении высо-

коминерализованного раствора в мерзлый массив происходит оттаивание порового льда, что приводит к снижению насыщенности порового пространства из-за разности объемов при фазовом превращении лед – вода. На рис. 4 приведены графики изменения объема твердой и жидкой фаз воды во времени при начальной инфильтрации определенного количества рассола. В соответствии с геометрией расчетной области производился подсчет и суммирование локального содержания влаги по всем узлам расчетной сетки. Периодические изменения содержаний суммарных объемов влаги и льда в мерзлом массиве соответствуют годовым циклам изменения температуры.

Суммарное содержание объемов воды и льда в рассматриваемой системе представлено на рис. 5. Начальная часть графика суммарного содержания влаги и порового льда, представленного на рис. 5, соответствует закачке (инфильтрации) рассола в мерзлый массив. Дальнейшее снижение суммарного содержания обусловлено процессами плавления порового льда при взаимодействии с фильтрующим высокоминерализованным раствором. Изменение суммарного объема поровых содержаний влаги и льда приводит к образованию депрессии давления воздуха в поровом пространстве массива. Этот факт, отмеченный в работе [1], свидетельствует о значительных и весомых составляющих объема емкостных свойств мерзлотных коллекторов криолитозоны.

Заключение

Результаты расчетов и моделирования показали, что процесс переформирования первоначально однородного поля льдосохранения в горном массиве достаточно сложен. Это обусловлено явлениями оттайки порового льда при контакте с высокоминерализованным раствором и его образованием в зонах охлаждения массива, образующихся на периферии фильтру-

ющего раствора. Расчетами показано формирование насыщенной ледяной прослойки вблизи контакта пород с областью фильтрующего высокоминерализованного раствора.

Полученные результаты расчетов не противоречат известным фактам и качественно соответствуют характерным признакам процесса складирования высокоминерализованных растворов в коллекторах криолитозоны.

Список литературы

1. Дроздов А.В., Попов В.Ф. Удаление дренажных рассолов в недра криолитозоны при разработке алмазных месторождений Якутии // Разведка и охрана недр. 2013. № 12. С. 44–48.
2. Янников А.М., Ильков А.Т. Формирование рассолопоглощающих коллекторов в толще многолетнемерзлых пород на примере участка «Ботуобинский» (Республика Саха (Якутия)) // Геология и недропользование. 2021. № 4. С. 64–73.
3. Янникова А.М., Янникова С.А., Овчинникова М.Ю., Корепанова А.Ю. Использование многолетнемерзлых пород для закачки дренажных вод коренных месторождений алмазов на примере участка «Ноябрьский» (рудник «Айхал») // Вестник Пермского университета. Сер. Геология. 2021. Т. 20. № 3. С. 284–299.
4. Белов В.А., Перельгин А.И. О расчетных формах поперечных сечений малых водоемов // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2013. № 3. С. 50–52.
5. Iwahana G., Cooper Z.C., Carpenter S.D., Deming J.W., Eichen H. Intra-ice and intra-sediment cryopeg brine occurrence in permafrost near Utqayavik (Barrow). *Permafrost and Periglacial Processes*. 2021. Vol. 32. Issue 3. P. 427–446.
6. Wana X., Yang Z. Pore water freezing characteristic in saline soils based on pore size. *Cold Regions Science and Technology*. 2020. Vol. 173. P. 1–12.
7. Курилко А.С., Попов В.И. Моделирование тепло-массообменных процессов выщелачивания в рудном штабеле при низких температурах окружающей среды // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 1. С. 111–119.
8. Knutsson R., Viklander P., Knutsson S., Laue J. Geothermal study to explain man-made permafrost in tailings with raised surface. *Environmental Earth Sciences*. 2018. No. 77. 288. P. 1–12.
9. Angelopoulos M., Westermann S., Overduin P., Faguet A., Olenchenko V., Grosse G., Grigorev M.N. Heat and Salt Flow in Subsea Permafrost Modeled with CryoGRID2. *J Geophys. Res. Earth. Surf.* 2019. Vol. 124 (4). P. 920–937.
10. Попов В.И., Курилко А.С. Приближенный метод решения задач теплопереноса при замерзании влаги в горных породах криолитозоны // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 12. С. 57–64.

УДК 666.32(571.56)

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ ЯКУТИИ****Ушницкая Н.Н., Местников А.Е.***ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск,
e-mail: mestnikovae@mail.ru*

В статье приводятся результаты физико-химических исследований структуры и свойств глинистого сырья Якутии. В связи с развитием предпринимательства актуальной задачей является поиск и разработка керамических масс для творчества и коммерции из местных сырьевых ресурсов. Основным исходным материалом для исследования было выбрано глинистое сырье из известных карьеров для производства керамзита, керамического и тугоплавкого кирпича на территории Центральной Якутии. Установлено, что красножгущиеся глины с относительно малым содержанием глинистых минералов в природном виде малопластичны и не пригодны для изготовления сложных керамических изделий. Однако они подходят для изготовления кирпича низкого качества. Пригодными для изготовления керамических изделий бытового и художественно-декоративного назначения являются беложгущиеся глины, отличающиеся высокой пластичностью и повышенным содержанием глинистых минералов. Среди глинистых минералов наибольшее распространение имеет каолинит. Установлено, что на кривой дифференциальной сканирующей калориметрии для светложгущихся глин острая вершина эндотермического эффекта при температурах больше 570 °С характеризует интенсивный процесс образования муллита за счет кристаллизации каолинита. А более плавная кривая эндотермического эффекта с вершинами в 500 °С и 519,4 °С показывает наличие каолинита с плохой кристаллизацией.

Ключевые слова: глинистое сырье, методы физико-химического анализа, глинистые минералы, элементный состав, микроструктура, термическая диаграмма глин

**PHYSICO-CHEMICAL ANALYSIS OF CLAY RAW MATERIALS
OF YAKUTIA****Ushnitskaya N.N., Mestnikov A.E.***North-Eastern Federal University named M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: mestnikovae@mail.ru*

The article presents the results of physico-chemical studies of the structure and properties of the clay raw materials of Yakutia. In connection with the development of entrepreneurship, an urgent task is the search and development of ceramic masses for creativity and commerce from local raw materials. The main source material for the study was selected clay raw materials from well-known quarries for the production of expanded clay, ceramic and refractory bricks in Central Yakutia. It has been established that red-burning clays with a relatively low content of clay minerals in their natural form are low-plastic and are not suitable for the manufacture of complex ceramic products. However, they are suitable for making low-quality bricks. Suitable for the manufacture of ceramic products for household and artistic and decorative purposes are white-burning clays, characterized by high plasticity and an increased content of clay minerals. Among clay minerals, kaolinite is the most widespread. It was found that on the curve of differential scanning calorimetry for light-melting clays, the sharp tip of the endothermic effect at temperatures greater than 570 °C characterizes the intensive process of mullite formation due to the crystallization of kaolinite. And a smoother curve of the endothermic effect with vertices of 500°C and 519.4 °C shows the presence of kaolinite with poor crystallization.

Keywords: clay raw materials, methods of physico-chemical analysis, clay minerals, elemental composition, microstructure, thermal diagram of clays

Основным сырьем для лепной и гончарной керамики являются пластичные глины природного происхождения. Несмотря на общепринятое мнение о том, что глины имеются везде, поиск месторождения глин и их добыча представляют непростую задачу как для творческих людей, так и для промышленных предприятий. По информации сайтов керамистов России, для творчества в основном применяют импортную керамическую массу из Испании, Италии, Германии и др. Поэтому актуальной задачей является поиск и разработка керамических масс для творчества и коммерции из местных сырьевых ресурсов.

Основной объем глинистого сырья на территории Якутии представляют красножгущиеся легкоплавкие глины, редкими являются светложгущиеся тугоплавкие глины. В советский период был проведен большой объем геологоразведочных работ по поиску и исследованию пригодности глинистого сырья для производства керамического кирпича и керамзита [1]. Из 19 месторождений керамзитового сырья, подготовленных к промышленному освоению, эксплуатировались только 4 месторождения: Мархинское, Уулахское, Сытыганское и Юлегирское. По минералогическому составу использованное глинистое

сырье относится к монтмориллониту с гидрослюдой со следующими характеристиками: температура обжига 1150–1250 °С, коэффициент вспучивания 2,3, марка керамзита по средней насыпной плотности 500, предел прочности при сжатии 3,2 МПа [2]. Значительный объем подготовленного к промышленному освоению глинистого сырья составляют легкоплавкие глины и суглинки для изготовления кирпича. Из них эксплуатировались месторождения только на территории Центральной Якутии для обеспечения сырьем кирпичного цеха Мархинского завода строительных материалов и Покровского кирпичного завода. Однако поисковые научно-исследовательские работы по изучению пригодности глинистого сырья для бытовой и художественно-декоративной керамики не проводились.

Народные мастера, создающие предметы быта и художественные изделия, по своей инициативе сами находят подходящее глинистое сырье. Научно-практический интерес представляют результаты археологических исследований древней керамики на территории Центральной Якутии [3]. Найденные фрагменты (черепки) древней керамики предположительно относятся к железному веку. Люди в то время обладали достаточными знаниями и навыками, чтобы подобрать оптимальные составы для изготовления тонкостенных керамических изделий с рисунками и орнаментами высокой художественной выразительности.

Цель исследования – изучение пригодности глинистого сырья Якутии для изготовления керамических изделий бытового, художественно-декоративного и строительного назначения.

Материалы и методы исследования

На территории Центральной Якутии осадочные породы представлены четвертичными отложениями, которые перекрывают почти сплошным чехлом различные

по возрасту коренные породы. Наибольшим распространением пользуются аллювиальные осадки, слагающие террасы крупных водных артерий и их многочисленных притоков, самым крупным из которых является Ленский бассейн. Они представлены преимущественно песками, галечниками, супесями, суглинками и глинами [1, с. 8].

Для исследования были отобраны образцы глинистого сырья из известных месторождений, разведанных для производства керамзита, керамического и тугоплавкого кирпича на территории Центральной Якутии (рис. 1). Образцы исходного сырья подразделены на светложгущиеся (Амгинская, Намцырская, Кильдямская, Мархинская) и красножгущиеся (Усть-Алданская, Санниковская) глины.

В работе использовались стандартные и современные физико-химические методы исследования, приборы и оборудование лабораторий строительных материалов и центра коллективного пользования Арктического инновационного центра СВФУ (РЭМ – растровый электронный микроскоп «JEOL JSM-7800F», рентгеновский порошковый дифрактометр ARL X'TRA).

В исследованиях использованы два метода физико-химического анализа глинистых минералов: рентгеноспектральный микроанализ (РСМА) и термический анализ с использованием дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

Рентгеноспектральный микроанализ с электронным зондом объединяет два метода исследования вещества: рентгеновской спектроскопии и электронной микроскопии. Высокая локальность, возможность качественного и количественного определения состава прицельно выбираемых микрообъемов в сочетании с неразрушающим действием пучка электронов открыли широкие перспективы применения РСМА в самых разнообразных областях науки и техники, в том числе в области строительного материаловедения [4].



Рис. 1. Образцы глинистого сырья: а – светложгущиеся, б – красножгущиеся

Сущность термического анализа заключается в изучении превращений, происходящих в условиях нагревания в системах или индивидуальных соединениях при различных физических и химических процессах, по сопровождающим их тепловым эффектам [5].

Результаты исследования и их обсуждение

Рентгеноспектральный микроанализ глинистого сырья проводили с помощью растрового электронного микроскопа «JEOL JSM-7800F». Результаты количественного анализа образцов исследуемых глин показаны в таблице.

Электронные изображения исходного глинистого сырья, полученные с использованием РЭМ, показаны на рис. 2. Исходное сырье Мархинской глины представлено в кусковом виде, остальные в пластичном состоянии.

Термический анализ с использованием дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) проводили с использованием рентгеновского порошкового дифрактометра ARL X'TRA.

Результаты термического анализа приведены на рис. 3 и 4.

Как следует из общей теории физико-химического процесса обжига керамики,

в начальный период досушки при температуре 80–130 °С происходит испарение физико-химически связанной воды, исходная масса равномерно начинает прогреваться. В интервале температур 200–600 °С происходят выгорание органических примесей и выгорающих добавок, удаление физико-химически связанной и при 500–600 °С химически связанной воды, входящей в состав глинистых и других минералов, что приводит к потере пластичности глины, уменьшению массы, разрушению кристаллической решетки минерала, снижению механической прочности и появлению усадки изделий.

На кривой ДСК красножгущихся глин (рис. 3) при начальном прогреве эндоэффект с минимумом 88 °С и 97,7 °С соответствует удалению межслоевой (адсорбционной) воды из гидрослюдистых минералов, дегидратация которых происходит в температурном интервале 520–580 °С. При этих же температурах происходит разрушение каолинита, эндоэффекты с минимумом 575,6 °С и 575,8 °С соответственно для Усть-Алданской (рис. 3, а) и Санниковской (рис. 3, б) глин. Размытый экзотермический эффект с максимумом 333 °С и 330,5 °С соответствует выгоранию природных органических примесей.

Элементный состав глин, % мас.

CaCO ₃	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Воластонит/Полевой шпат	Fe
Амгинская глина					
–	72,60	0,68	9,90	0,20/–	0,43
14,80	60,52	0,45	8,91	0,23/–	1,63
17,16	55,03	–	8,28	1,09/–	1,89
36,53	52,93	0,33	3,65	1,11/–	–
Мархинская глина					
–	56,09	–	–	–/7,43	–
–	65,59	–	9,09	–	–
–5,25	60,76	–	9,28	–/7,92	–
5,23	49,79	3,39	6,58	–	21,85
Намцырская глина					
–	59,44	0,93	16,10	–	–
–	66,19	0,88	12,13	–	–
–	53,01	–	3,78	–/1,22	–
–	63,83	0,69	13,32	–	–
–	64,60	0,66	13,56	–/0,65	–
Испанская глина (для сравнения)					
–	50,87	–	10,89	–/4,40	–
–	65,03	–	12,23	–/1,18	–
–	61,78	0,16	16,14	–/2,27	–
–	43,83	0,51	17,80	–/4,86	1,73

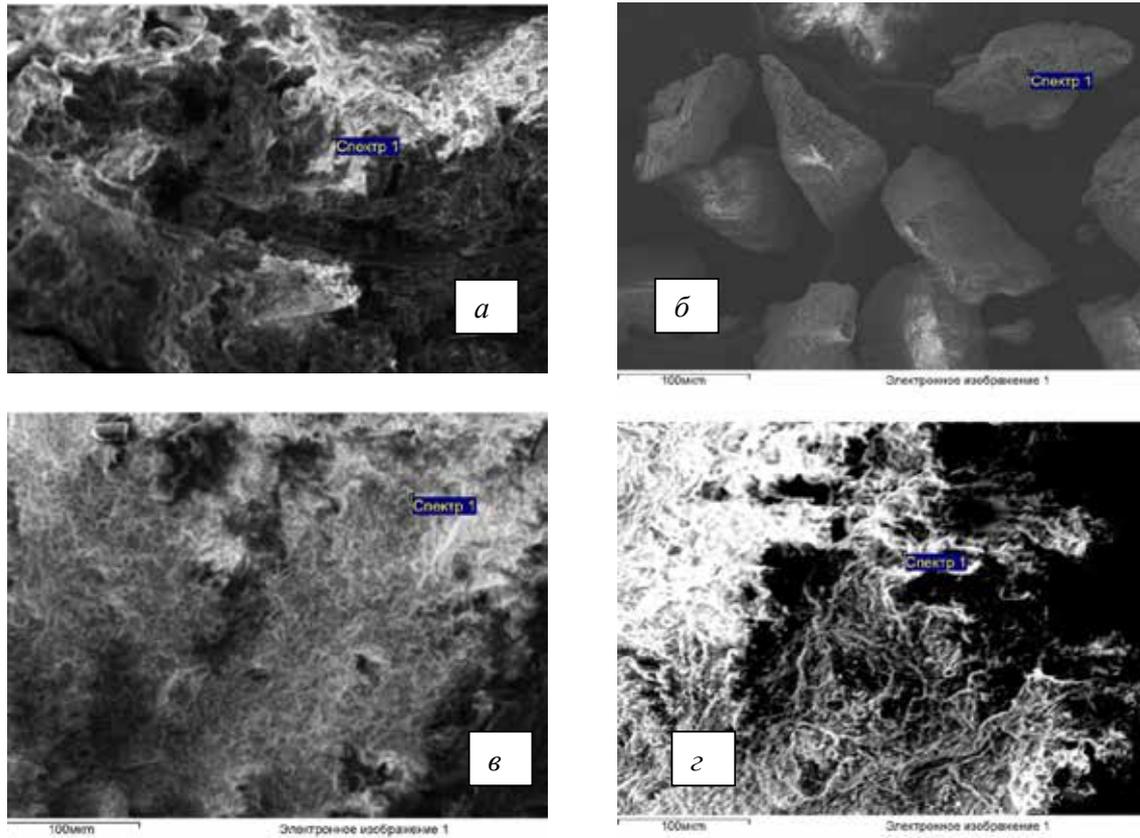


Рис. 2. Микроструктура глинистого сырья (глины):
 а – Амгинская, б – Мархинская, в – Намцырская, г – Испанская

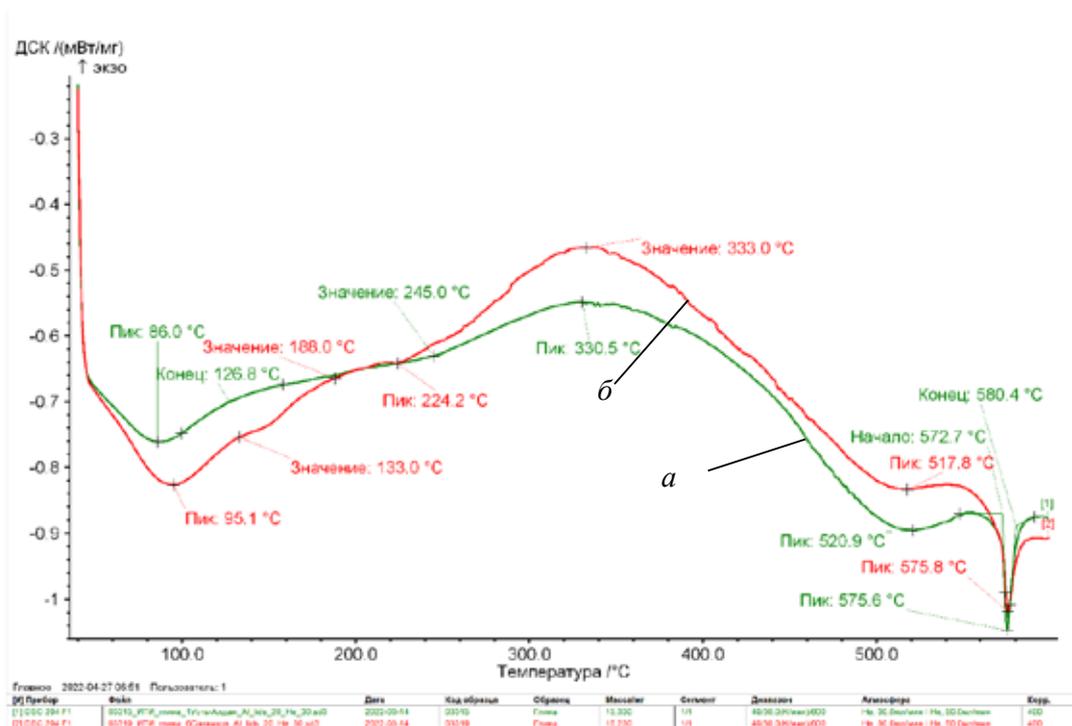


Рис. 3. Термическая диаграмма красножгущихся глин:
 а (зеленая) – Усть-Алданская, б (красная) – Санниковская

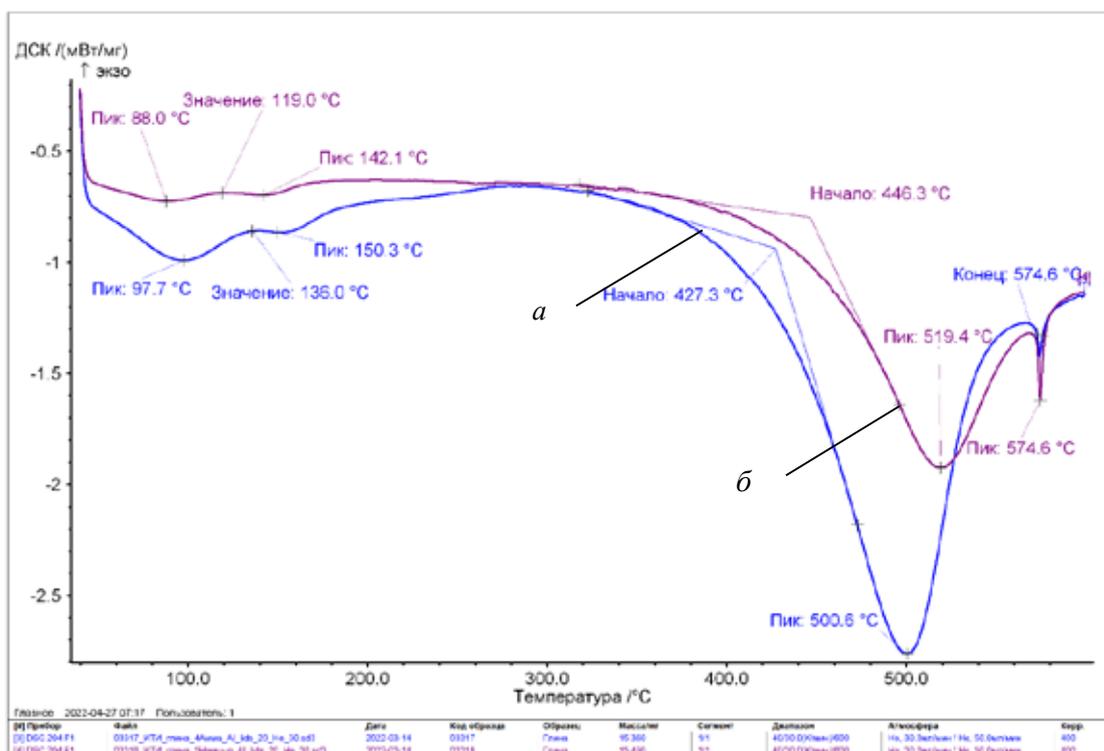


Рис. 4. Термическая диаграмма светложущихся глин:
а (синяя) – Амгинская, б (красная) – Намцырская

Другая картина наблюдается для светложущихся глин, на рис. 4 приведены кривые ДСК для Амгинской (рис. 4, а) и Намцырской (рис. 4, б) глин, наиболее пластичных и пригодных для лепки и изготовления гончарных изделий. На начальном участке прогрева в обоих случаях наблюдаются слабые последовательные эндоэффекты в интервале температур от 88 °С до 150,3 °С, плавный участок кривой ДСК до 446,3 °С указывает на отсутствие органических примесей. Следующая эндотермическая реакция с четко выраженными максимумами проявляется в интервале 450–560 °С и 570–600 °С. При этом резкий эндоэффект для обоих видов глин имеет разные максимальные значения 500 °С и 519 °С для Амгинской и Намцырской глин соответственно. Последующий эндоэффект имеет одинаковые максимумы в 574,6 °С для обоих видов глин. По всей вероятности, эндоэффекты показывают потери кристаллизационной воды и гидроксидов, а также аморфизацию минерала при сохранении некоторой степени упорядоченности в виде структуры метакаолинита [6].

Среди глинистых минералов наибольшее распространение имеет каолинит. На кривой ДСК для светложущихся глин (рис. 4, а и б) острая вершина эндотермического эффекта

при температурах больше 570 °С характеризует интенсивный процесс образования муллита за счет кристаллизации каолинита. А более плавная кривая эндотермического эффекта с вершинами в 500 °С и 519,4 °С показывает наличие каолинита с плохой кристаллизацией. Более точную картину наличия глинистых минералов может дать рентгеноструктурный анализ [7].

Заключение

На сегодня совершенно очевидно, что ранее для изготовления кирпича и керамических изделий бытового назначения применяли доступное малопластичное глинистое сырье [8]. При этом применялись простейшие технологии изготовления, для кирпича – деревянные формы, для посуды – способ выколачивания (грубая керамика). С развитием предпринимательства появилась потребность в хорошей местной пластичной глине с высоким содержанием глинистых минералов, что позволяет использовать разнообразные способы изготовления сложных изделий (например, литье, гончарный круг и др.) и их обжига по заранее заданным тепловым режимам.

Результаты физико-химических исследований глинистого сырья различных ме-

сторождений Якутии позволят подобрать новые составы керамических масс с применением местных сырьевых ресурсов для творчества и бизнеса, а также определить оптимальные параметры тепловой обработки художественно-декоративных изделий на их основе.

Список литературы

1. Пояснительная записка к обзорной карте месторождений строительных материалов Якутской АССР масштаба 1:2500000. Т. 1 и 2. М: Объединение «Союзгеолфонд», 1988. 421 с.
2. Местников А.Е. Глинистое сырье для производства керамзита // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 3. С. 30–34. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=39069> (дата обращения: 27.09.2022).
3. Николаев Е.Н. Керамика археологического комплекса Айбы Тайбыт // Молодой ученый. 2014. № 20.2 (79.2). С. 31–33.
4. Быков Ю.А., Карпунин С.Д. Растровая электронная микроскопия. Рентгеноспектральный микроанализ. Аппара-

тура, принцип работы, применение: учебное пособие по курсу «Современные методы исследования структуры материала». М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 44 с.

5. Макарова И.А., Лохова Н.А. Физико-химические методы исследования строительных материалов: учеб. пособие. Братск: Изд-во БрГУ, 2011. 139 с.

6. Нгуен Нгок Нам, Лай Тхи Биск Тхуи, Фам Динь Ан. Оценка эффективности методов рентгеноструктурного анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии при анализе глинистых минералов // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле РАН. Гидрогеология и инженерная геология месторождений полезных ископаемых. 2019. Т. 42. № 2. С. 221–228. DOI: 10.21285/2541-9455-2019-42-2-221-229.

7. Vostrikov S.S., Borodina V.V. The problems of physicochemical and chemical research of ceramics from archaeological sites of the lower don. The Lower Volga Archaeological Bulletin. 2018. Vol. 17. No. 2. DOI: 10.15688/nav.jvolsu.2018.2.6.

8. Карпова В.Г., Сутакова Э.М. Изучение технологических параметров керамической глазури на основе глин Санниковского и Верхневильюйского месторождений Республики Саха (Якутия) // Естественнонаучные исследования: итоги и перспективы развития. Ч. III. 25-летие химического отделения: сб. науч. трудов респуб. научно-практ. конф. Якутск: Изд-во СВФУ, 2018. С. 212–216.

УДК 551.326.83:621.396.96:[001+571.56]

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА ЗАТОРООПАСНЫХ УЧАСТКАХ Р. ЛЕНА МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

¹Фёдоров М.П., ²Федорова Л.Л.

¹*Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения
Российской академии наук, Якутск, e-mail: mpfedoroff@gmail.com;*

²*Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения
Российской академии наук, Якутск, e-mail: lar-fed-90@rambler.ru*

На реке Лена ежегодно наблюдаются опасные ледовые заторы, которые возникают на участке Кангаласский мыс – устье реки Алдан. Образование заторов на этом участке вызывает затопление населенных пунктов Намского района и угрожает г. Якутску. Для прогнозирования условий прохождения весеннего половодья необходима информация о строении и толщине ледяного покрова в предвесенний период. Информацию о характеристиках ледяного покрова на акваториях позволяет получать метод георадиолокации с борта летательного аппарата. В статье представлены установленные георадиолокационные признаки различного строения ледяного покрова, которые позволяют достоверно распознавать участки монолитного и торосового льда. Монолитный лед на радарограмме отображается симметричными, прослеживаемыми осями синфазности отраженных волн. Торосовый лёд характеризуется асимметричными осями синфазности различной пилообразной и параболической формы отраженных волн. Результаты апробации установленных признаков позволили получить пространственную информацию о толщине и строении ледяного покрова реки Лена в районе села Партизан в апреле 2022 г. По интерпретированным данным георадиолокации с помощью метода интерполяций «Кригинг» в программе «Surfer» построена карта пространственного распределения толщины льда на исследуемом участке реки. Толщина монолитного льда варьирует в диапазоне 50-150 см. Толщина торосового льда находится в широких пределах 100-250 см. При этом торосовый лед распространен на 21% больше по сравнению с монолитным льдом. В результате исследований установлены георадиолокационные признаки и показано, что по особенностям динамических характеристик волновых полей радарограмм можно определить различное строение ледяного покрова рек.

Ключевые слова: ледяной покров, толщина льда, строение льда, река Лена, георадиолокация, воздушное судно

STUDY OF THE STRUCTURE OF THE ICE COVER IN THE ICE-HAZARDOUS AREAS OF THE LENA RIVER BY GPR METHOD

¹Fedorov M.P., ²Fedorova L.L.

¹*Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk,
e-mail: mpfedoroff@gmail.com;*

²*Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk,
e-mail: lar-fed-90@rambler.ru*

Dangerous ice jams are observed annually on the Lena River, which occur on the Kangalassky Cape section – the mouth of the Aldan River. The formation of congestion in this area causes flooding of settlements in the Namsky district and threatens the city of Yakutsk. To predict the conditions of the spring flood, information on the structure and thickness of the ice cover during the pre-spring period is required. Information about the characteristics of the ice cover in the waters can be obtained by the GPR method from the aircraft. The article presents the established GPR signs of the different structure of the ice cover, which allow us to reliably recognize areas of monolithic and hummock ice. Monolithic ice on the radargram is displayed as symmetrical, traceable axes of in-phase of reflected waves. Hummock ice is characterized by asymmetric axes of in-phase of various sawtooth and parabolic forms of reflected waves. The results of testing the established features made it possible to obtain spatial information on the thickness and structure of the ice cover of the Lena River near the village of Partizan in April 2022. According to the interpreted of GPR data using the “Kriging” interpolation method in the “Surfer” program, a map of the spatial distribution of ice thickness in the studied section of the river was built. The thickness of the monolithic ice varies in the range of 50-150 cm. The thickness of the hummock ice is in the wide range of 100-250 cm. At the same time, hummock ice is 21% more common than solid ice. As a result of the research, GPR signs were established and it was shown that by the features of the dynamic characteristics of the wave fields of radargrams, it is possible to determine the different structure of the ice cover of rivers.

Keywords: ice cover, ice thickness, ice structure, Lena River, ground penetrating radar, aircraft

Ледовые заторы в процессе вскрытия рек представляют собой опасное природное явление, характерное для текущих с юга на север рек России. Заторы льда приводят к значительному подъему уровня воды,

приводящему к наводнениям, тем самым подвергая высокому риску опасности населенные пункты, расположенные вблизи водных объектов. Например, крупнейшие наводнения на территории Республики Саха

(Якутия) произошли в 1998, 2001, 2007 гг. и нанесли экономический ущерб народному хозяйству. Для прогнозирования условий прохождения весеннего половодья необходима информация о строении и толщине ледяного покрова рек в предвесенний период. Систематические наблюдения за ледовыми характеристиками на реках выполняют на сети стационарных гидрологических постов Росгидромета. При этом существует ряд трудностей, такие как сложность проведения полевых наблюдений, ограниченность пунктов наблюдений и пространственного охвата исследований.

Информацию о состоянии ледяного покрова на обширных акваториях позволяет получать метод георадиолокации. Многие авторы применяли этот метод при решении таких задач, как мониторинг толщины ледовых переправ в северных регионах Канады и Аляски [1; 2], определение толщины льда на водоемах Республики Коми при инженерно-изыскательских работах [3], оценка пространственного изменения толщины речного льда в Финляндии [4]. Особое место занимают работы [2; 5], в которых представлены результаты исследований по разработке георадиолокационной методики оперативного определения толщины ледяного покрова рек. В материалах [2; 3; 5] выявлены особенности ледяного покрова, контактирующего с водой и мёрзлым грунтом. Также отмечено, что вода на поверхности льда затрудняет оценку толщины льда. Материалы георадиолокационных исследований показывают, что слабо изучен вопрос определения строения ледяного покрова рек. Актуальной задачей в этой связи представляются исследования по определению признаков различных типов строения ледяного покрова рек на затороопасных участках по данным георадиолокации.

Материалы и методы исследования

Целью исследования является определение георадиолокационных признаков различного строения ледяного покрова рек. В рамках исследования решены следующие задачи: ретроспективный анализ данных георадиолокационных исследований ледяного покрова рек; проведение натурных экспериментов по георадиолокационному исследованию различного строения ледяного покрова рек; проведение полевых георадиолокационных исследований ледяного покрова на затороопасном участке реки Лена.

Своеобразие морфологических и суровых погодных условий на реке Лена определяют сроки и продолжительность периода замерзания реки, при которых формируется неоднородность ледяного покрова рек [6; 7]. В настоящее время на реке Лена установлены основные затороопасные участки, которые образуются почти на всем ее протяжении. Преимущественную роль в процессе заторообразования играют погодные условия в период вскрытия и сохранившийся толстый ледяной покров, расположенный ниже по течению участка реки [8-10]. Наиболее затороопасные участки на р. Лена расположены начиная от Кангаласского мыса до устья реки Алдан. Образование заторов на этом участке вызывает затопление населенных пунктов Намского района. При мощном образовании затора на этих участках возможно даже затопление пригородов г. Якутска. Частота встречаемости заторов от общего числа лет наблюдений составляет 84% [11; 12].

Анализ данных проведенных ранее аэроледомерных исследований на реке Лена показывает, что по параметрам георадиолокационных сигналов определяется толщина льда, а по особенностям волновой картины можно оценить различное строение льда. Однако определение форм строения ледяного покрова на сложном по морфологическим характеристикам типе русла реки представляет собой трудоемкую задачу. Для изучения особенностей волновых картин радарограмм ледяного покрова реки Лена в районе г. Якутска были проведены бесконтактные измерения георадаром ОКО-2 с антенным блоком АБ400 в режиме профилирования на тестовом участке в марте-апреле 2022 г. Для заверки данных георадиолокации на участке эксперимента пробурены лунки во льду и произведены замеры толщины льда с помощью ледемерной рейки. Дополнительно, для фотофиксации строения льда, на каждом участке измерений в ледяном покрове пройдены шурфы с линейными размерами 100*50*50 см, из которых изъяты образцы льда с линейными размерами 30*30*30 см.

Для проведения георадиолокационных исследований на затороопасном участке реки Лена спланирован маршрут измерений в геоинформационной системе QGIS по данным спутниковых снимков Sentinel-2 (Scihub.copernicus.eu). На них хорошо прослеживается незамерзшее основное русло рек в период замерзания. По весенним спутниковым снимкам затруднительно определить границы русла реки из-за наличия снежного покрова.

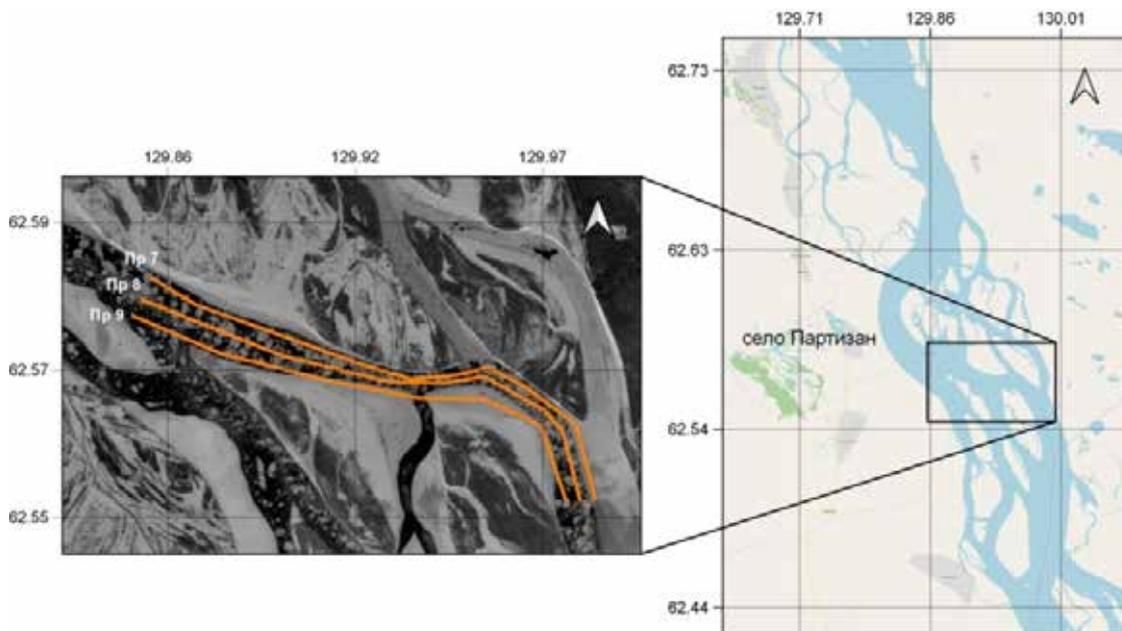


Рис. 1. Пример спутникового изображения русла р. Лена в районе села Партизан с планируемым маршрутом георадиолокационных измерений

На рисунке 1 представлен маршрут георадиолокационных измерений на р. Лена около села Партизан. В апреле 2022 г. проведены полевые исследования ледяного покрова георадаром «ОКО-2» с антенным блоком АБ400. Привязка на местности выполнялось с помощью GPS-приемника. Антенный блок был закреплен к днищу самолета EuroStar SLW при помощи стальных стяжек за стойки шасси. По требованиям безопасности средняя скорость полета самолета составила 100 км/ч, высота полета – 20-30 м над уровнем ледяного покрова реки. Следование самолета по запланированному маршруту осуществлялось с помощью GPS-навигатора. Оператор с мобильным полевым персональным компьютером с установленной программой GeoScan32, находился внутри самолета, осуществлял управление работой георадара, ввод параметров измерений, контроль процесса измерений, запись полевых материалов.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты георадиолокационных исследований на тестовом участке в районе г. Якутска позволили установить признаки строения льда на волновой картине. На рисунке 2 приведены следующие формы строения льда: береговой лед, монолитный лёд и торосовый лёд. Монолитный лед

состоит из однородных кристаллов, сформировавшихся в спокойных условиях. В основном такой лед прозрачный с наличием воздушных пузырьков. Монолитный лед, контактирующий с мёрзлым грунтом, классифицируется как береговой лёд. На радарограмме берегового льда (рис. 2а) наблюдаются устойчивые прослеживаемые оси синфазности отраженных волн от верхней границы, а нижняя граница льда, контактирующая с мёрзлым грунтом, выражена слабоконтрастными, субгоризонтальными осями синфазности отраженных волн. Контакт нижней границы льда с мёрзлым грунтом характеризуется низкой амплитудой отраженных волн. Монолитный лёд в контакте с водой на радарограмме (рис. 2б) отображается симметричными, протяженными осями синфазности отраженных волн от границ льда. Нижняя граница льда характеризуется повышенной амплитудой, сменной фазы отраженных волн.

Торосовый лёд состоит из нагромождения обломков ледяных полей в результате сжатия ледяного покрова. Он в основном мутный и имеет нарушенное строение. На радарограмме торосового льда (рис. 2в) прослеживаются различные формы осей синфазностей отраженных и дифрагированных волн. Нижняя граница льда в контакте с водой характеризуется повышенной амплитудой отраженных и дифрагированных волн.

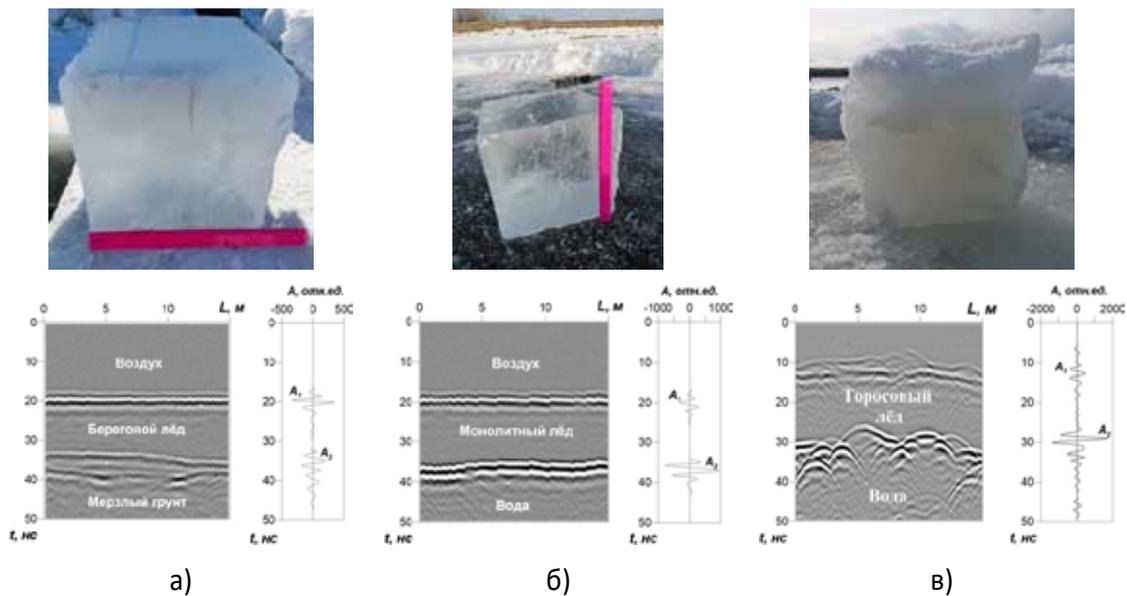


Рис. 2. Основные типы строения ледяного покрова р. Лена и их радарограммы, полученные в районе г. Якутска: а) береговой лёд, б) монолитный лёд, в) торосовый лёд

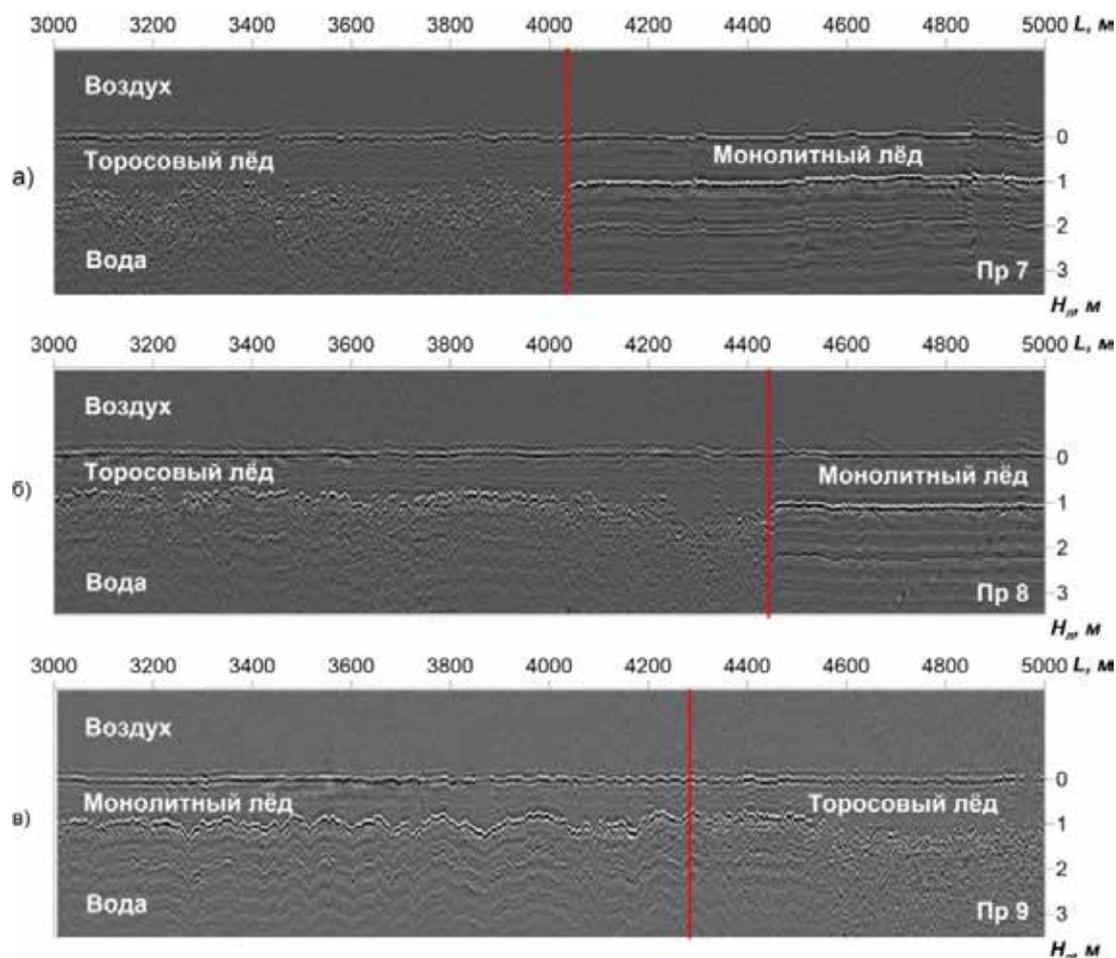


Рис. 3. Результаты интерпретации фрагментов радарограмм ледяного покрова р. Лена в районе села Партизан: а) Пр 7, б) Пр 8, в) Пр 9

На участке реки около села Партизан были пройдены три параллельных георадиолокационных профиля длиной около 8 км каждый, расстояние между профилями около 200 м. Обработка данных георадиолокации выполнена в программе GeoScan32 с применением следующих процедур: редактирование трасс, устранение помех и прямого сигнала, привязка георадиолокационного профиля к местности по GPS-данным, восстановление разрешения полезных сигналов. Интерпретация волновой картины радарограмм осуществлялась с помощью установленных георадиолокационных признаков строения льда. Выделенные проинтерпретированные границы льда преобразованы из временного разреза в глубинный разрез с учетом диэлектрической проницаемости льда, что позволило оценить толщину льда. На рисунке 3 представлены наиболее интересные фрагменты проинтерпретированных радарограмм протяженностью 2 км. На радарограммах прослеживаются две контрастные оси синфазности отраженных волн. Первая ось синфазности отраженных волн соответствует верхней границе льда. Вторая высокоамплитудная ось синфазности отраженных волн относится к нижней границе льда. Наличие высокой амплитуды показывает, что ледяной покров контактирует с водой. По симметричным осям синфазности отраженных волн распознан монолит-

ный лед. Наблюдаются кратные отражения от нижней границы монолитного льда. Нарушенные оси синфазности отраженных и дифрагированных волн на радарограмме характеризуют строение торосового льда. При этом отсутствуют кратные отражения от нижней границы льда.

Результаты обработки и интерпретации данных георадиолокации представлены в виде карты (рис. 4), которая построена с помощью метода интерполяции «Кригинг» в программе Surfer. На карте представлено изменение толщины льда в пределах от 50 до 250 см. Среднее значение толщины льда составило 119 см, стандартное отклонение – 33 см. В основном преобладает лед толщиной 100-150 см. Результаты интерпретаций строения ледяного покрова позволили установить распределение монолитного и торосового льда вдоль маршрутов георадиолокационных исследований. Стоит отметить, что торосовый лед распространен на 21% больше в сопоставлении с монолитным льдом. Такие льды под воздействием солнечной радиации тают по-разному. Интенсивность внутреннего таяния наибольшая у монолитного льда, в то время как у торосового льда таяние происходит с поверхности. Можно сказать, что участки монолитного льда более подготовлены к дальнейшему разрушению, чем участки торосового льда.

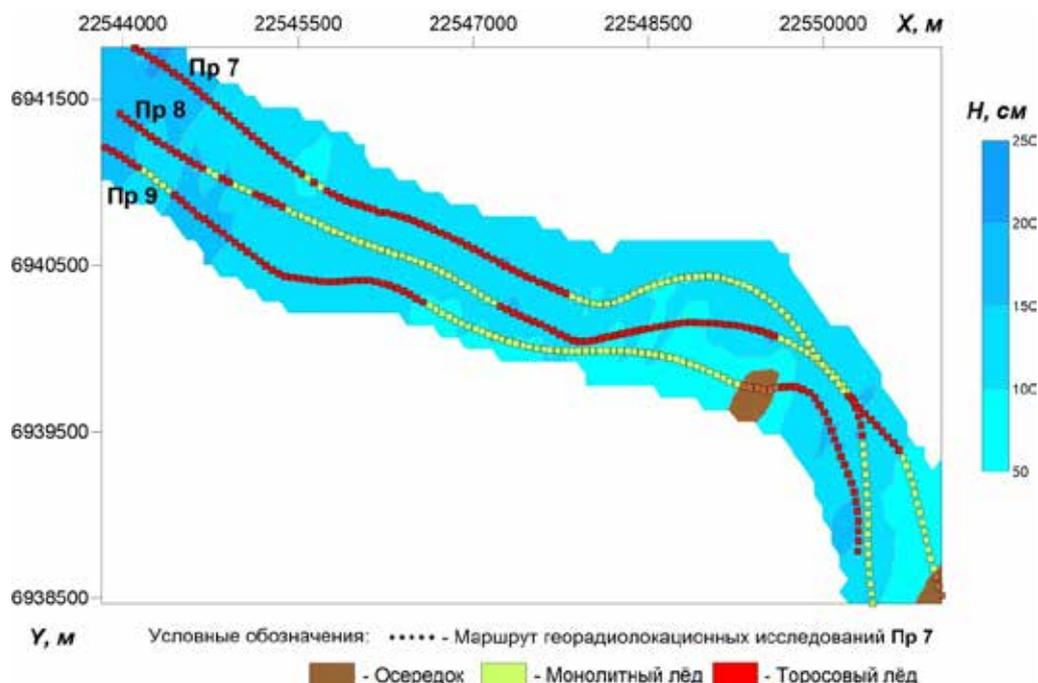


Рис. 4. Карта распределения толщины и строения льда около села Партизан по данным георадиолокации

Заключение

В ходе проведенных исследований установлены георадиолокационные признаки различного строения льда, позволившие распознать монолитный и торосовый лёд на затороопасном участке реки Лена в районе села Партизан. Монолитный лёд на радарограмме отображается симметричными осями синфазности отраженных волн от границ льда и отсутствием резких нарушений на осях синфазности. Торосовый лёд характеризуется асимметричными осями синфазности различной пилообразной и параболической формы отраженных волн от границ льда. По изменению амплитудных значений отраженных волн от нижней границы льда можно определить наличие контакта льда с водой или мерзлым грунтом.

Результаты апробации установленных признаков позволили получить пространственную информацию о толщине и строении ледяного покрова реки Лена в районе села Партизан. Такая информация может быть полезна для определения затороопасных участков при планировании мероприятий по ослаблению целостности ледяного покрова рек.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00751, <https://rscf.ru/project/22-27-00751/>.

Полевые исследования проводились на оборудовании ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН (грант № 13.ЦКП.21.0016).

Список литературы

1. Proskin S.A., Parry N.S., Finlay P. Applying GPR in assessing the ice bridges, ice roads and ice platforms. 16th Workshop on River Ice, CGU HS Committee on River Ice Processes and the Environment (CRIPE). 2011. P. 341-354.
2. Annan A.P., Diamanti N., Redman J.D., Jackson S.R. Ground-penetrating radar for assessing winter roads. *Geophysics*. 2016. Vol. 81. Iss. 1. P. 1-9.
3. Ермаков А.П., Старовойтов А.В. Применение метода георадиолокации при инженерно-геологических исследованиях для оценки геокриологической обстановки // *Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология*. 2010. № 6. С. 91-96.
4. Maria Kamari, Petteri Alho, Alfred Colpaert, Eliisa Lottari Spatial variation of river-ice thickness in a meandering river. *Cold Regions Science and Technology*. 2017. Vol. 137. P. 17-29.
5. Robert B. Lower Churchill River Ice Thickness Survey from Helicopter-mounted Ground Penetrating Radar. Ottawa, 2018. 51 p.
6. Глушков А.В. Реки востока России: путеводитель-справочник. Якутск, 2016. 502 с.
7. Аржакова С.К. Зимний сток рек криолитозоны России: монография. СПб.: РГГМУ, 2001. 209 с.
8. Козлов Д.В., Бузин В.А., Фролова Н.Л., Агафонова С.А., Бабурин В.Л., Банщикова Л.С., Горошкова Н.И., Завадский А.С., Крыленко И.Н., Савельев К.Л., Козлов К.Д., Бузина Л.Ф. Опасные ледовые явления на реках и водохранилищах России: монография. М.: РГАУМСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. 348 с.
9. Struchkova G.P., Kapitonova T.A., Tarskaya L.E., Efimov V.M. Flood prediction on the Lena river. *Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety*. 2011. Vol. 5. Part 3. P. 16-24.
10. Бузин В.А. Зажоры и заторы льда на реках России. СПб.: ГГИ, 2016. 242 с.
11. Федеральное агентство водных ресурсов ФГУ «Востсибрегионводхоз» Аналитический отчет о результатах наблюдений за состоянием водных объектов в зоне деятельности ФГУ «Востсибрегионводхоз» за 2011 г. Иркутск, 2012. 128 с.
12. Андросов И.М., Завадский А.С. Оценка негативного воздействия вод реки Лены на населенные пункты Республики Саха (Якутия) // *Труды VIII Международной научно-практической конференции: Динамика и термика рек и водохранилищ*. М.: РУДН, 2014. Т. 1. С. 5-16.