

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,791

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,380

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 – 0,791.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,380.

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](mailto:edition@rae.ru)

Подписано в печать – 31.05.2022

Дата выхода номера – 30.06.2022

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. 15

Тираж – 1000 экз.

Заказ. УСЕ/5-2022

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

КОНЦЕНТРАЦИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДСКИХ НАСАЖДЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ Г. УФА) <i>Байтурина Р.Р.</i> .....	7
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСНЫХ ПОЛОС И УДОБРЕНИЙ НА МИКРОКЛИМАТ И УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЮЖНОМ ЧЕРНОЗЕМЕ <i>Есков Д.В.</i> .....	12
ИЗУЧЕНИЕ КОЛЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ЧИНЫ ПОСЕВНОЙ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ <i>Зайцев С.А., Волков Д.П., Матюшин П.А.,            Бабушкин Д.Д., Бычкова В.В., Жужукин В.И.</i> .....	19
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРЕДБАЗИСНОГО СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА КАРТОФЕЛЯ <i>Филиппова С.В., Елисеева Л.В.</i> .....	26
ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА УВЛАЖНЕННЫХ ЗЕРЕН ПШЕНИЦЫ <i>Чжан А.В., Дрокин Н.А., Ничкова Н.М., Мороз Ж.М.</i> .....	34

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

#### СТАТЬИ

ДИНАМИКА ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ И ПСКОВСКОЙ ОБЛАСТЕЙ) <i>Виноградова О.Л.</i> .....	39
О ПОДХОДАХ К РАЗРАБОТКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ <i>Дудина Т.Н., Тарасова О.С.</i> .....	44
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕДНИКОВ МАЛЫЙ АЗАУ И ГАРАБАШИ <i>Кондратьева Н.В., Татаренко Н.В.</i> .....	52
РЕКРЕАЦИОННЫЕ ГЕОМОРФОСИСТЕМЫ ПОБЕРЕЖЬЯ ЮЖНОГО БАЙКАЛА <i>Опекунова М.Ю., Евстропьева О.В.</i> .....	58
СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПАХОТНЫХ ПОЧВАХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ <i>Попова Ю.А., Иваненко Н.В.</i> .....	65
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЭКОПАРКА «ОЗЁРА НА СНЕЖНОЙ» (ХРЕБЕТ ХАМАР-ДАБАН, ЮЖНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ) <i>Софронов А.П., Софронова Е.В.</i> .....	70

---

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ**

*Степанова Н.Е.* ..... 78

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТРОВА ТЕПЛА ГОРОДА УФЫ  
ПО ДАННЫМ ПУНКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ**

*Хайрулина С.Н., Смертин Г.Ю., Васильева Е.А.,  
Насырова Э.С., Елизарьев А.Н., Хамитов А.Р.* ..... 84

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ НА ПРИМЕРЕ БИРСКОГО  
ФИЛИАЛА БАШКИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

*Шинов Р.М., Шахринова Н.В.* ..... 90

**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**
**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ  
ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ  
НА СКВАЖИНАХ КЫРТАЕЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

*Ладенко А.А., Щелканов Д.В., Сафиуллина Е.У., Кусова Л.Г.* ..... 95

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЕРПЕНТИНИТОВЫХ МАССИВОВ  
ЮЖНОГО УРАЛА И ПЕРЕДОВОГО ХРЕБТА БОЛЬШОГО КАВКАЗА**

*Попов Ю.В., Пустовит О.Е.* ..... 104

**Физико-математические науки (1.6.18 (25.00.29, 25.00.30), 1.6.20 (25.00.33), 1.6.22)**

**СТАТЬЯ**
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАРИАЦИЙ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ  
СЪЕМОЧНОЙ СИСТЕМЫ (АЭРОФОТОСЪЕМКИ, ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА)  
НА ТОЧНОСТЬ СОЗДАНИЯ ЦММ С ПОМОЩЬЮ  
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Алтынов А.Е., Мохаммад Акель Амин* ..... 110

## 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

THE CONCENTRATION OF FINE PARTICLES IN THE ATMOSPHERIC AIR OF URBAN PLANTS (BY THE EXAMPLE OF UFA) <i>Bayturina R.R.</i> .....	7
REGULARITIES OF THE IMPACT OF FOREST STRIP CONSTRUCTIONS AND FERTILIZERS ON THE MICROCLIMATE AND YIELD OF SPRING WHEAT IN THE SOUTHERN CHERNOZEM <i>Eskov D.V.</i> .....	12
STUDY OF COLLECTION MATERIAL OF GRASS PEA IN THE LOWER VOLGA STEPPE ZONE <i>Zaytsev S.A., Volkov D.P., Matyushin P.A., Babushkin D.D., Bychkova V.V., Zhuzhukin V.I.</i> .....	19
OPTIMIZATION OF PRODUCTION OF PRE-BASE POTATO SEED MATERIAL <i>Filippova S.V., Eliseeva L.V.</i> .....	26
FEATURES OF THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE ELECTRICAL IMPEDANCE OF WETTED WHEAT GRAINS <i>Chzhan A.V., Drokin N.A., Nichkova N.M., Moroz Zh.M.</i> .....	34

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

#### ARTICLES

DYNAMICS OF THE TERRITORIAL STRUCTURE OF NATURAL USE (ON THE EXAMPLE OF KALININGRAD AND PSKOV REGIONS) <i>Vinogradova O.L.</i> .....	39
ON APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF INDICATORS FOR THE IMPLEMENTATION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT AT ENVIRONMENTAL MANAGEMENT ENTERPRISES <i>Dudina T.N., Tarasova O.S.</i> .....	44
GEOECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE CURRENT STATE OF THE MALY AZAU AND GARABASHI GLACIERS <i>Kondrateva N.V., Tatarenko N.V.</i> .....	52
RECREATIONAL GEOMORPHOSYSTEMS OF THE COAST OF SOUTH BAIKAL AGROECOLOGICAL GROWING BUSINESS <i>Opekunova M.Yu., Evstropeva O.V.</i> .....	58
CONTENT OF HEAVY METALS IN AGRICULTURAL SOILS OF PRIMORSKIY KRAI <i>Popova Yu.A., Ivanenko N.V.</i> .....	65
CURRENT STATE OF NATURAL COMPLEXES OF ECOPARK "LAKES ON SNEZHNYAYA RIVER" (KHAMAR-DABAN RIDGE, SOUTHERN CISBAIKALIA) <i>Sofronov A.P., Sofronova E.V.</i> .....	70

---

ENVIRONMENTAL SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION  
AT AN OIL REFINERY

*Stepanova N.E.* ..... 78

RESEARCH OF THE UFA CITY HEAT ISLAND ACCORDING  
TO OBSERVATION POINTS

*Khayrulina S.N., Smertin G.Yu., Vasileva E.A.,  
Nasyrova E.S., Elizarev A.N., Khamitov A.R.* ..... 84

THE STUDY OF WASTE GENERATION ON THE EXAMPLE  
OF THE BIRSK BRANCH OF THE BASHKIR STATE UNIVERSITY

*Shinov R.M., Shakhriyeva N.V.* ..... 90

**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**

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF CONDUCTING GEOLOGICAL  
AND TECHNICAL MEASURES ON THE WELLS  
OF THE KYRTAELSKOYE FIELD

*Ladenko A.A., Schelkanov D.V., Safiullina E.U., Kusova L.G.* ..... 95

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SERPENTINITE MASSIFS  
OF THE SOUTHERN URALS AND THE PEREDOVOY RANGE  
OF THE GREATER CAUCASUS

*Popov Yu.V., Pustovit O.E.* ..... 104

**Physical and mathematical sciences (1.6.18 (25.00.29, 25.00.30), 1.6.20 (25.00.33), 1.6.22)**

**ARTICLE**

STUDY THE NAVIGATION PARAMETERS VARIATIONS INFLUENCE  
OF IMAGE SYSTEM (AERIAL PHOTOGRAPHY, LASER SCANNER)  
ON DSM CREATION ACCURACY USING SIMULATION MODELING

*Altynov A.E., Akel Mohammad Amin* ..... 110

СТАТЬИ

УДК 630\*22:504.054(470.57)

**КОНЦЕНТРАЦИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ  
В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДСКИХ НАСАЖДЕНИЙ  
(НА ПРИМЕРЕ Г. УФА)**

**Байтурина Р.Р.**

*ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», Уфа;  
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа,  
e-mail: aspirant\_bsau@mail.ru*

В условиях крупного города поступление мелкодисперсных частиц в атмосферу преимущественно обуславливается наличием промышленных предприятий и выбросами автотранспорта. Одними из основных и наиболее устойчивых не только в Уфе, но и во всех городах мира считаются выбросы транспортных средств. Целью работы является изучение концентрации мелкодисперсных частиц PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> в атмосферном воздухе недалеко от автомобильных дорог и в насаждениях на территории г. Уфы. Для определения пылевых частиц на участках использовался DT-9881M Прибор экологического контроля. В ходе проведения исследований установлены зависимости между количеством автотранспорта и концентрациями взвешенных частиц PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> около дорог. Соответствующей связи от количества автотранспорта и концентрации мелкодисперсных частиц в насаждениях не выявлено. Результаты проведенных исследований говорят о существенном снижении концентраций мелкодисперсных частиц PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> в насаждениях, что свидетельствует о положительном влиянии на состав атмосферного воздуха и, следовательно, на самочувствие человека. Замеры по содержанию формальдегида и угарного газа на всех точках измерения дали отрицательные показатели. Зеленые насаждения, выполняя санитарно-гигиеническую роль, поглощают пыль и токсичные газы, оказывают дендротерапевтическое влияние на горожан. Они выполняют экологическую, биологическую, эстетическую и оздоровительную функции. С учетом этого нужно предельно приближать древесные насаждения к местам обывденной жизни человека. Выполненные исследования могут быть использованы для расчета рисков здоровья населения от воздействия выбросов автотранспортных средств и объективной оценки содержания PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> на территориях свободных от древостоев.

**Ключевые слова:** городские насаждения, мелкодисперсные частицы PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub>, автотранспорт, здоровье населения, г. Уфа

**THE CONCENTRATION OF FINE PARTICLES IN THE ATMOSPHERIC AIR  
OF URBAN PLANTS (BY THE EXAMPLE OF UFA)**

**Bayturina R.R.**

*Bashkir State Agrarian University, Ufa;  
Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, e-mail: aspirant\_bsau@mail.ru*

In a large city, the entry of fine particles into the atmosphere is mainly due to the presence of industrial enterprises and vehicle emissions. Emissions from vehicles are considered to be one of the main and most sustainable not only in Ufa, but in all cities of the world. The aim of this work is to study the concentration of fine particles PM<sub>2.5</sub> / PM<sub>10</sub> in the atmospheric air near highways and in plantations on the territory of Ufa. DT-9881M Environmental Monitoring Instrument was used to detect dust particles at the sites. In the course of the research, relationships were established between the number of vehicles and the concentrations of PM<sub>2.5</sub> / PM<sub>10</sub> suspended particles near roads. No corresponding relationship was found between the number of vehicles and the concentration of fine particles in the plantations. The results of the studies carried out indicate a significant decrease in the concentration of fine particles PM<sub>2.5</sub> / PM<sub>10</sub> in plantations. This indicates a positive effect on the composition of atmospheric air and, consequently, on human well-being. Measurements for the content of formaldehyde and carbon monoxide at all measurement points gave negative values. Green spaces, fulfilling a sanitary and hygienic role, absorb dust and toxic gases, and exhibit a dendrotherapeutic effect on townspeople. They fulfill ecological, biological, aesthetic and health-improving functions. With this in mind, it is necessary to bring tree plantations as close as possible to the places of everyday human life. The studies performed can be used to calculate the health risks of the population from the impact of vehicle emissions and to objectively assess the content of PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> in areas free from tree stands.

**Keywords:** fine particles PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>, vehicles, urban plantings, public health, Ufa

В последние десятилетия все больше в городах становится актуальным вопрос уменьшения загрязнения воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>, содержащимися в атмосферном воздухе, с диаметром менее 2,5 мкм (PM<sub>2.5</sub>) и твердыми частицами с диаметром менее 10 мкм (PM<sub>10</sub>). Эти частицы приносят угрозу здоровью человека, так как проникают в легкие, вызывая ряд заболе-

ваний [1, 2]. Анализ научных работ свидетельствует о негативном влиянии скопления мелкодисперсных частиц фракции PM<sub>2.5</sub>, повышающих смертность людей и количество сердечно-сосудистых заболеваний [3]. N. Künzli, R. Kaiser, Medina и др. (2016 г.) провели оценку влияния загрязнения атмосферного воздуха (общего) транспортными средствами на здоровье населения в Австрии, Франции и Швейцарии, включая

случаи заболеваемости и смертности. Авторы пришли к выводу, что загрязнение воздуха стало причиной 6% смертельного исхода (более 40 тыс. случаев в год). Около 50% всей смертности, причиной которой стало загрязнение воздуха, связано с движущимся автотранспортом, на которое приходилось более 25 тыс. новых случаев хронического бронхита (взрослые); 290 тыс. эпизодов бронхита (у детей); 0,5 млн приступов астмы; 16 млн человеко-дней ограниченной деятельности. Загрязнение воздуха, связанное с дорожным движением, остается одной из основных задач общественного здравоохранения в Европе [4]. В Китае на основе спутниковых наблюдений постоянно проводят анализ концентрации PM10 от распределения населения по территориально-пространственному отношению [5].

Нормативы содержания мелкодисперсных частиц в воздухе определены в официальных документах Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и Евросоюза [2, 3, 6]. В России стандарты мелкодисперсных фракций PM2.5/PM10 нормируют с 2010 г. Среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК) составляет 0,035 мг/м<sup>3</sup> (PM2.5) и 0,06 мг/м<sup>3</sup> (PM10); максимальная разовая – 0,16 мг/м<sup>3</sup> и 0,3 мг/м<sup>3</sup>; среднегодовая – 0,025 мг/м<sup>3</sup> и 0,04 мг/м<sup>3</sup> соответственно [1].

Отметим, что до 2016 г. определения концентраций мелкодисперсной пыли носили научно-исследовательский характер [7–9] за исключением организованного автоматизированного мониторинга в Москве, Санкт-Петербурге, Сочи, Казани [10].

В условиях крупного промышленного центра поступление мелкодисперсных частиц в атмосферу большей частью обусловлено антропогенными источниками: выбросами автотранспорта и промышленных предприятий [3]. Частицы PM2.5 формируются в результате сжигания угля и выброса выхлопных газов, в процессе сгорания топлива и работы дизельных двигателей автотранспортных средств, а также износа дорожного полотна и шин автомобилей. Мелкодисперсные частицы сажи за счет своих малых размеров, определяющих естественное выведение из атмосферы, и сорбционных свойств могут усиливать свою токсичность поглощением вредных веществ из выбросов и переносить на огромные расстояния, угрожая здоровью человека и окружающей среде [1].

Цель исследования – оценка концентрации мелкодисперсной пыли PM10 и PM2,5 в атмосферном воздухе урбанизированных территорий с учетом его влияния на состоя-

ние человека. Интерес к изучению влияния насаждений на урбанизированных территориях не теряет актуальности. Для решения вопросов улучшения комфортности и качества жизни горожан результаты исследований могут использоваться как базовые инструменты.

#### Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования выбраны участки вдоль автомагистралей с интенсивным движением (ГОСТ 17.2.3.01-86) и парки г. Уфы с учетом натурального обследования. Ассортимент представлен местной флорой и интродуцентами. Кустарниковая растительность состоит из 22 видовых представителей, 12 из которых произрастают на южных территориях Уфы и 15 – на северных. По возрастному показателю доминируют 30–60-летние деревья. Озелененная территория города составляет 38%. Для изучения содержания мелкодисперсных частиц на промышленных территориях в качестве объекта выбран участок на территории завода Kronospan.

С помощью прибора экологического контроля DT-9881M на различных расстояниях от автотранспортных магистралей измерялось содержание взвешенных твердых частиц с точностью 50% при 0,3 мкм и 100% для частиц > 0,45 мкм при базовой точности детектора содержания HCHO и CO ±5% на уровне 1,3 м от поверхности почвы. Учитывались значения температуры и относительной влажности воздуха. При видеофиксации интенсивности движения автотранспорта учитывались двустороннее движение и все проходящие транспортные средства, от легковых до грузовых автомобилей, автобусов и мотоциклов, при усреднении показателей в течение часа. Методом смыва определяли количество адсорбированной пыли листьями древесных растений. Проведена статистическая обработка полученных результатов.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Концентрация автотранспортных выбросов в мегаполисах достигает 60–90%, в составе которых преобладают PM2.5/PM10 и сажа [11]. В Лондоне проводились исследования по прогнозированию придорожных концентраций PM10/PM2,5, протестировав наиболее эффективные модели, в том числе для их уменьшения. PM2.5 выбросы от автотранспортных средств перемещаются на короткие расстояния и под-



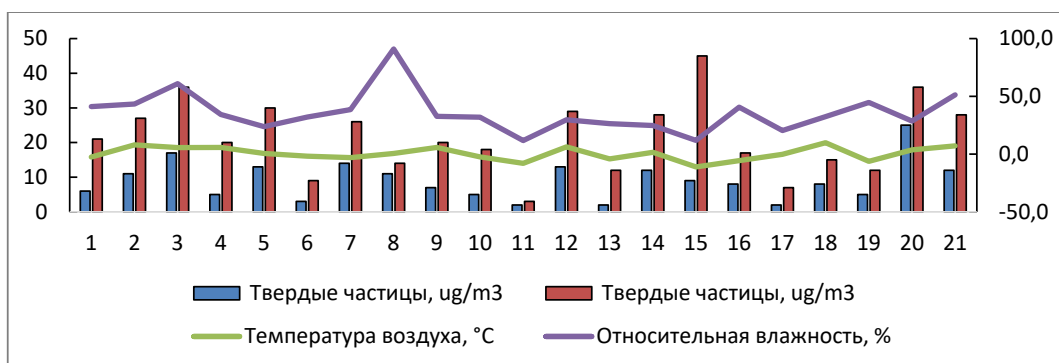
вергаются гравитационному осаждению [12], где скорость ветра снижается в результате блокирующего эффекта растений [13]. Об этом свидетельствуют полученные результаты исследований: существенное уменьшение содержания PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> в насаждениях, независимое от интенсивности движения автотранспорта.

Несмотря на то, что охват наземными станциями мониторинга воздуха в мире продолжает расти, все еще есть большие части мира, которые не имеют доступа к измерениям качества воздуха в реальном времени. Одним из инструментов для устранения некоторых из этих пробелов может стать AirVisual, который предоставляет некоторые *оценочные* данные AQI для мест с отсутствием наземных измерений. Оценки AQI рассчитываются на основе спутниковых данных PM<sub>2.5</sub>. Ежедневный анализ со спутниковых данных по г. Уфе выявляет различные результаты, в зависимости от климатических условий и наличия в атмосферном воздухе загрязняющих веществ (рисунок). К примеру, 30 апреля 2021 г. зафиксирована концентрация 4,1 µg/m<sup>3</sup> загрязнителя PM<sub>2,5</sub> с оценкой индекса 17 AQI США *Хорошо* при погодных условиях: Температура 8 °С, Влажность 49%, Ветер 18 km/h, Давление 1022 mb. Прогноз на ближайшую неделю также положителен – индекс AQI *Хорошо*. Качество воздуха находится удовлетворительным, и загрязнение воздуха незначительное – находится в пределах нормы (согласно нормативам). Оценочные показатели AQI веб-сайта AirVisual в дни проведения измерений на изучаемых участках отвечали данным прибора экологического контроля DT-9881M по общему состоянию загрязнения воздуха в городе. Замеры выявили, что в условиях непрерывных измерений разовые концентрации взвешенных частиц

могут достигать уровня 1,5 ПДК. Во время исследований вдоль дорог с интенсивным передвижением транспорта установлена взаимосвязь содержания PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>. Достоверность аппроксимации и адекватность зависимости подтверждена подсчитанными величинами коэффициента корреляции. Сила связи прямая, заметная и соответствует 0,601 (R), F (число степеней свободы) равен 12, T (критерий Стьюдента) – 2,607. Данное число степеней свободы соответствует критическому значению T-критерия Стьюдента – 2,179, выражена статистически значимая зависимость признаков (p < 0,05). Коэффициент детерминации R<sup>2</sup> равен 0,362 при  $y = -5,89805 + 0,01534 * x$ .

Выявлено значительное уменьшение содержания PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> в древостоях, которое не зависит от интенсивности движения автотранспорта на расстоянии 500 м полотна дороги. Об этом свидетельствуют полученные значения: R = 0,352. Наблюдается умеренная теснота связи (по шкале Чеддока) при прямой связи, F = 1,301, T (критическое значение) = 2,179. При статистически незначимой зависимости признаков p > 0,05 ( $t_{набл} < t_{крит}$ ;  $y = 2,01553 + 0,00194 * x$ . R<sup>2</sup> = 0,124.

Завод Kronospan – одно из крупнейших в мире промышленных предприятий по производству древесных плит находится вплотную к Уфе, рядом с микрорайоном Шакша. На территории измерения по содержанию мелкодисперсных частиц с октября по декабрь 2021 г. не выявили отклонений от норм стандарта, вне зависимости от колебаний – в пределах от 2 до 25 мкг/м<sup>3</sup> (PM<sub>2.5</sub>) и от 3 до 45 мкг/м<sup>3</sup> (PM<sub>10</sub>). Тесная связь между метеоданными и твердыми частицами не обнаружена ни на территории города, ни на территории завода. Коэффициент корреляции содержания PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> от температуры воздуха составил 0,5, а от относительной влажности воздуха – 0,26.



Концентрация мелкодисперсных частиц в зависимости от метеорологических условий

Придерживаясь нормативов качества воздушной среды WHO и стандартов качества воздуха по концентрации мелкодисперсных частиц PM<sub>2.5</sub> состояние воздуха оценивается в пределах 0–35 мкг/м<sup>3</sup> как *хорошее* в насаждениях и относительно *среднее* (35–75 мкг/м<sup>3</sup>) или *среднезагрязненное* (75–150 мкг/м<sup>3</sup>), *высокозагрязненное* (150–200 мкг/м<sup>3</sup>) на участках скопления людей вдоль интенсивного видения автотранспорта.

Большой поток автомобилей, например во время утренних и вечерних пиковых нагрузок, вызывает увеличение накопления антропогенных выбросов твердых частиц от источников движения. Исследования также подтвердили, что обычно 1–2 часа в утренние часы PM<sub>2.5</sub> после часа пик; это представляет собой образование и накопление вторичных загрязнителей в результате фотохимической реакции. Затем дисперсия PM<sub>2.5</sub> была ускорена, а преобразование вторичных загрязнителей было ограничено из-за увеличения солнечной радиации, температуры и толщины пограничного слоя, а также снижения относительной влажности. Таким образом, концентрация PM<sub>2.5</sub> постепенно снижалась в полдень, достигая минимума в течение дня.

Движение сильно нагретого воздуха ускорило распространение PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> в условиях высоких температур. Исследования показали, что в результате низкой температуры поверхности зимой повышение температуры может привести к образованию инверсионного слоя; это уменьшает вертикальный поток воздуха и может увеличить концентрацию PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> у земли. Широко распространена отрицательная корреляция между скоростью ветра и концентрацией PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>. Влияние направления ветра на концентрацию PM<sub>2.5</sub> в городе во многом зависит от распределения местных географических условий. На городских дорогах направление ветра параллельно дороге способствовало рассеиванию загрязняющих веществ, в результате чего концентрация загрязняющих веществ на улице была низкой. Направление ветра перпендикулярно улице вызывает накопление загрязняющих веществ на улице из-за препятствий со стороны зданий. Наличие осадков отрицательно коррелирует с концентрацией PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> из-за значительной способности их уменьшать, так как дождь смывает взвешенные в воздухе частицы на землю.

Выявлено снижение запыленности воздуха в летний период на озелененных участках в пределах 30–40% по сравнению с открытыми и в два-три раза в парковых зонах. В зимние месяцы пылефильтрующий эффект снижается в 1,5–10,0 раз по сравнению с вегетационным периодом. Повышенная абсорбционная способность листовой поверхности выявлена у *Acer negundo* L. Для проведения исследований в качестве образцов собраны листья по 100 шт. вдоль автомагистрали (условно зона сильного загрязнения) и в насаждениях (зона слабого загрязнения). Масса мелкодисперсной пыли на площади листа клена в соответствующих зонах в среднем 1,5 и 0,3 г/м<sup>2</sup>. Весовые показатели абсорбированной пыли *Ulmus laevis* Pall., находящихся вблизи автомагистралей, различались в пределах 8,2 г/м<sup>2</sup> и в насаждениях на расстоянии более 50 м от дороги – 5 г/м<sup>2</sup>. В зоне сильного загрязнения *Betula pendula* Roth. и *Populus balsamifera* L. удерживают листовой поверхностью от 0,4 до 12,0 г/м<sup>2</sup>, в зоне слабого загрязнения – от 0,9 до 6,0 г/м<sup>2</sup> пылевых фракций. Лист *Tilia cordata* Mill. абсорбирует пылевые частицы в зоне загрязнения в среднем 8,0 г/м<sup>2</sup>, на расстоянии 50–100 м от интенсивного движения транспорта – 5,0 г/м<sup>2</sup>. Исследования И.Л. Бухариной и А.А. Двоглазовой [14] объясняют неспособность удерживать пыль насаждениями вдоль автомагистралей увеличением движения воздуха. В сравнении по показателям пылефильтрующего эффекта листья *Betula pendula* значительно удерживают пылевые фракции, чем листья *Acer negundo*, на 13 г/м<sup>2</sup> [15].

Наиболее важным вопросом в целях повышения устойчивости лесных экосистем зеленых зон урбанизированных территорий остается определение нормативов по регулированию степени загрязнения воздуха и почвы. Необходимо принимать во внимание накопление химических веществ в основных элементах лесного биогеоценоза при минимальных количествах выбросов в атмосферу. С помощью прибора DT-9881M возможно определить наличие токсичных веществ канцерогенного и тератогенного характера, возникающих в том числе в результате работы топливных двигателей, износа дорожного полотна и шин автомобилей. Содержание их в атмосфере не должно быть выше 0,1 частей на 1 млн. В сравнении с нормативами в закрытых помещениях согласно постановлению департамента Министерства здравоохранения,

труда и занятости США (OSHA) концентрация CO не должна превосходить 50 PPM (0,005%). В пределах нормы установлен уровень 0–1 PPM. Замеры по содержанию HCHO и CO на всех точках измерения в проведенных исследованиях по г. Уфе дали отрицательные показатели (содержание 0 PPM).

### Заключение

В случае отклонения от установленных нормативов существуют некоторые риски для здоровья человека, которые провоцируются в результате наличия загрязнителей в атмосферном воздухе от автотранспорта и промышленных предприятий. В ходе проведенного анализа концентраций мелкодисперсных фракций, HCHO и CO на участках вдоль дорог г. Уфа с движением транспорта свыше 2 тыс. шт/час содержание веществ на участках не превышали предельно допустимых концентраций. Выявлена зависимость содержания взвешенных твердых частиц PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> от интенсивности движения автотранспорта. Примечательно, что тесной связи между количеством автотранспорта и концентрацией мелкодисперсных пылевых частиц в насаждениях не выявлено. Следовательно, древесные посадки служат мощным фильтрующим барьером для загрязнителей вдоль автомагистралей, в том числе вследствие значительного уменьшения содержания PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> в составе атмосферного воздуха.

Рекомендуется уделять пристальное внимание городским древесным видам, как основному фактору улучшения окружающей среды и здоровья жителей. Зеленые насаждения, выполняя санитарно-гигиеническую роль, поглощают пыль и токсичные газы, оказывают дендротерапевтическое влияние на жителей. Они выполняют экологическую, биологическую, эстетическую и оздоровительную функции. С учетом этого нужно предельно приближать древесные насаждения к местам обывденной жизни человека. Проведенные исследования рекомендуются для применения при определении рисков здоровью людей от существенных загрязняющих выбросов автотранспортными средствами в воздушную среду и осуществления независимой оценки согласно принятым нормативам концентраций загрязнителей на урбанизированных территориях.

### Список литературы

1. Официальный сайт государственного природоохранного бюджетного учреждения «Мосэкомониторинг» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mosecom.ru> (дата обращения: 27.05.2022).
2. Environmental Protection Agency. National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter; Final rule. Federal Register. 2006. Vol. 71. 94 p.
3. Prosviryakova I.A., Shevchuk L.M. Hygienic assessment of Pm10 and Pm2.5 contents in the atmosphere and population health risk in zones influenced by emissions from stationary sources located at industrial enterprises. Health Risk Analysis. 2018. Vol. 2. P. 14–22.
4. Künzli N., Kaiser R., Medina S., Studnicka M., Chanel O., Filliger P., Herry M., Sommer H. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: A European assessment. Lancet. 2000. Vol. 356 (9232). P. 795–801.
5. Cheng M., Chui C. Yang. The effect of coarse particles on daily mortality: a case – crossover study in a subtropical city, Taipei, Taiwan. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2016. № 13. P. 347. DOI: 10.3390/ijerph13030347.
6. Дрозд В.А., Кичу П.Ф., Ананьев В.Ю., Жигаев Д.С., Лисицкая И.Г., Олесик С.М., Холодов А.С., Иванов В.В., Чайка В.В., Голохваст К.С. Годовые колебания частиц PM<sub>10</sub> в воздухе Владивостока // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 5 (2). С. 646–651.
7. Доклад об экологической ситуации на территории республики Башкортостан в 2018 году: доклад Министерства природопользования и экологии Республики Башкортостан. Уфа, 2018. 165 с.
8. Гилева О.В., Волкова М.В. Инструментальные исследования мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора. Пермь. 2015. С. 213–216.
9. Боровлев А.Э., Кунгурцев С.А., Мигаль Л.В., Соловьев В.И. Загрязнение атмосферного воздуха города Белгорода частицами пыли малых размеров // Ученые записки: электронный научный журнал Курского государственного университета. 2013. № 1 (25). С. 269–272.
10. Предприятия Башкирии в 2020 году оштрафованы на 1 млн рублей за загрязнение воздуха // Коммерсантъ. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4722003> (дата обращения: 15.05.2022).
11. Боровлев А.Э., Кунгурцев С.А., Мигаль Л.В., Соловьев В.И. Загрязнение атмосферного воздуха города Белгорода частицами пыли малых размеров // Ученые записки: электронный научный журнал Курского государственного университета. 2013. № 1 (25). С. 269–272.
12. Chiam Z., Song X.P., Lai H.R., Tan H.T.W. Particulate matter mitigation via plants: Understanding complex relationships with leaf traits. Sci. Total Environ. 2019. Vol. 688. P. 398–408. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.263.
13. Tomson M., Kumar P., Barwise Y., Perez P., Forehead H., French K., Morawska L., Watts J.F. 2021. Green infrastructure for air quality improvement in street canyons. Environ. Int. 2021. Vol. 146. P. 106288.
14. Бухарина И.Л., Двоглазова А.А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях: монография. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2010. 184 с.
15. Габдрахимов К.М., Байтурина Р.Р. Влияние лесистости территории на здоровье населения // Экобиотех. 2020. Т. 3. № 3. С. 435–443.

УДК 630\*232.2:[551.584+631.8]

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСНЫХ ПОЛОС И УДОБРЕНИЙ НА МИКРОКЛИМАТ И УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЮЖНОМ ЧЕРНОЗЕМЕ

Есков Д.В.

*ФГБОУ ВО Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова,  
Саратов, e-mail: eskovdv@rambler.ru*

Цель исследований – установить закономерности повышения урожайности яровой мягкой пшеницы сорта «Фаворит», высеянной с применением минеральных удобрений, на полях с системой защитных лесных полос (ПЗЛП) различных конструкций. 13 ПЗЛП площадью 45 га были созданы в период с 1968 по 1970 гг. на землях ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». ПЗЛП располагаются перпендикулярно вредоносным юго-восточным ветрам. Межполосное расстояние составляет 400–420 м. Полосы созданы из дуба черешчатого (*Quercus robur*) и березы повислой (*Betula pendula*). Лесистость пашни составляет 4,5%. Система ПЗЛП является завершённой. Показатель защищённости прилегающих угодий – более 80%. Повышение урожайности культур севооборота в системе ПЗЛП происходит под влиянием конструкции, которая формирует микроклимат прилегающих полей. Воздействие микроклиматических показателей на динамику урожайности пшеницы зависит от увлажнения вегетационного периода. В средний (гидротермический коэффициент – ГТК=0,65) и средневлажный (ГТК=0,88) годы на урожайность пшеницы, высеянной под защитой лесных полос, наибольшее влияние оказывают: влажность воздуха, дефицит водного баланса и температура воздуха. В очень влажный (ГТК=1,81) и влажный (ГТК=1,15) годы микроклиматические показатели воздействуют на урожайность культуры по значимости в следующем убывающем порядке: температура и влажность воздуха, дефицит водного баланса. В средний сухой (ГТК=0,45) и сухой (ГТК=0,30) годы на урожайность пшеницы влияют дефицит водного баланса и влажность воздуха. Воздействие конструкции ПЗЛП и удобрений на урожайность пшеницы также зависит от года увлажнения выращивания культуры: в средние – с небольшим преимуществом удобрений (до 7,3%), во влажные годы влияние удобрений возрастает до 67,7%, в засушливые – превалирующее значение в формировании урожая культуры приобретает конструкция ПЗЛП – до 18,8%. В среднем за пять лет исследований (2015–2019 гг.) определено, что удобрения оказали преимущественное воздействие на урожайность пшеницы по сравнению с конструкцией ПЗЛП – до 9,0%.

**Ключевые слова:** лесные полосы, удобрения, микроклимат, урожайность пшеницы

## REGULARITIES OF THE IMPACT OF FOREST STRIP CONSTRUCTIONS AND FERTILIZERS ON THE MICROCLIMATE AND YIELD OF SPRING WHEAT IN THE SOUTHERN CHERNOZEM

Eskov D.V.

*Saratov State Agrarian University named N I Vavilov, Saratov, e-mail: eskovdv@rambler.ru*

The purpose of the research is to establish patterns of increasing the yield of spring soft wheat «Favorit» sown with the use of mineral fertilizers in fields with a system of protective forest strips (PZLP) of various designs. 13 PZLPS with an area of 45 hectares were created in the period from 1968 to 1970 on the lands of RosNIISK Rossorgo. PZLPS are located perpendicular to the harmful south-easterly winds. The inter-lane distance is 400–420 m. The stripes are made of pedunculate oak (*Quercus robur*) and hanging birch (*Betula pendula*). The forest cover of arable land is 4.5%. The PZLP system is complete. The indicator of protection of adjacent lands is more than 80%. The increase in crop yield in the crop rotation system occurs under the influence of a design that forms the microclimate of adjacent fields. The effect of microclimatic indicators on the dynamics of wheat yield depends on the moisture content of the growing season. In the average (hydrothermal coefficient – ГТК = 0.65) and medium-wet (ГТК=0.88) years, the yield of wheat sown under the protection of forest strips is most influenced by: air humidity, water deficit and air temperature. In very humid (ГТК=1.81) and humid (ГТК=1.15) years, the effects of microclimatic indicators on crop yield were arranged in descending order of importance: air temperature and humidity, water balance deficit. In the average dry (ГТК = 0.45) and dry (ГТК= 0.30) years, wheat yield is affected by water balance deficit and air humidity. The impact of the PZLP design and fertilizers on wheat yield also depends on the year of moisture cultivation of the crop: in the middle – with a slight advantage of fertilizers (up to 7.3%), in wet, the effect of fertilizers increases to 67.7%, in dry – the prevailing value in the formation of the crop crop is acquired by the PZLP design – up to 18.8%. On average, over the five years of research (2015–2019), fertilizers had a predominant effect on wheat yield compared to the design of PZLP up to 9.0%.

**Keywords:** forest strips, fertilizers, microclimate, wheat yield

Исследование влияния лесных полос на показатели микроклимата и урожайность культур севооборота не потеряло актуальности в первой четверти XXI века [1–4]. Воздействие лесных полос на увеличение урожайности

сельскохозяйственных культур особенно характерно для степных и лесостепных регионов РФ, где проведено достаточно большое количество наблюдений для создания рекомендаций аграрному производству [2–4].

За рубежом (в США, Индии, Китае) защитные свойства насаждений изучаются агролесоводством (агролесомелиорацией) с целью смягчения последствий изменения климата и решения проблемы продовольственной безопасности [5-7]. С увеличением увлажнения вегетационного периода повышается и влияние минеральных удобрений на урожайность культур севооборота: урожайность увеличивается на 11–30% [8]. Внесение минеральных удобрений под озимую пшеницу увеличивает урожайность культуры в среднем на 12% и количество зимующих растений на 3–4% [9].

На сегодня отсутствуют исследования влияния лесных полос на освещенность посевов культур, которая, несомненно, связана с формированием урожая растений.

Цель исследования: установить закономерности влияния конструкций лесных полос и удобрений на микроклимат поля и урожайность яровой пшеницы.

#### Материалы и методы исследования

Объект исследований расположен на сельскохозяйственных полях ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» (около 1000 га пашни). Площадь полезащитных лесных полос (ПЗЛП) составляет 45 га. Расстояние между полосами составляет 400–420 м. Лесистость территории составляет 4,5% (рис. 1). Закладку и проведение полевых опытов выполняли по общепринятым методам [10, 11, 12, 13]. Эксперимент проведен по трехфакторной схеме: три дозы удобрений (фактор А), три

типа конструкций ПЗЛП (фактор В) и девять вариантов расстояний от ПЗЛП (фактор С). Дозы минеральных удобрений:  $A_1$  – без удобрений;  $A_2$  –  $N_{60}P_{60}K_{20}$  с нормой внесения 140 кг/га;  $A_3$  –  $N_{60}P_{90}K_{40}+N_{30}+N_{10}$  с нормой внесения 220 кг/га. Во влажный 2017 г. с запасами влаги в 0,6 м слое почвы на протяжении вегетации 70–85% НВ (ко времени уборки урожая 70% НВ) проводился опыт  $A_4$  –  $N_{60}P_{90}K_{40}+N_{30}+N_{10}$  с нормой внесения 230 кг/га. Для этого делянку 50 м<sup>2</sup> (5x10 м) разбили на две равные части, т.е. по 25 м<sup>2</sup> (5x5 м<sup>2</sup>) каждая. На одну из половин внесли азот в виде подкормки дозой 10 кг/га. Сроки внесения: фосфор и калий – под зиму, азот дробно весной и в вегетацию подкормками.

Научные исследования проводились на плотной ( $B_1$ ) и ажурной ( $B_2$ ) конструкциях ПЗЛП с различными вариантами просветов: в стволах <10% и кронах 30%; в стволах >60% и кронах <10%.

Обследование ПЗЛП выполнялось по методике ВНИАЛМИ [10]. Урожайность яровой пшеницы определяли с четырехкратной повторностью на различном расстоянии от ПЗЛП: от 1Н до 45Н с градацией через 5Н. В качестве контроля использовались данные, полученные для плотных ПЗЛП на расстоянии 25Н от лесной полосы, для ажурных – на 35Н, для продуваемых – на 45Н. Пробные учетные площадки размером 50 м<sup>2</sup> закладывались по ОСТ 56-69-83. Метод размещения вариантов – систематический, последовательный.

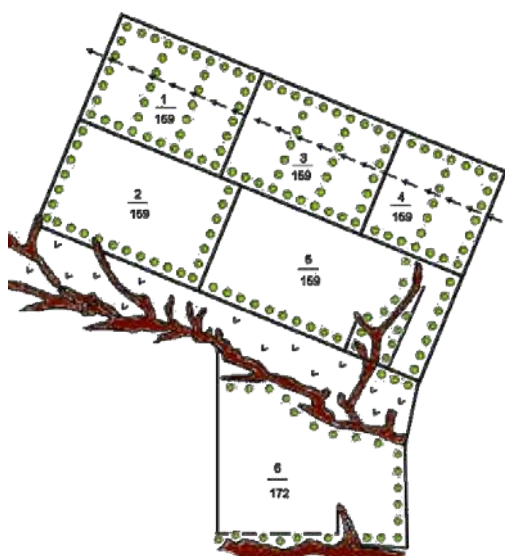


Рис. 1. Схема опытов и космоснимок полей ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»

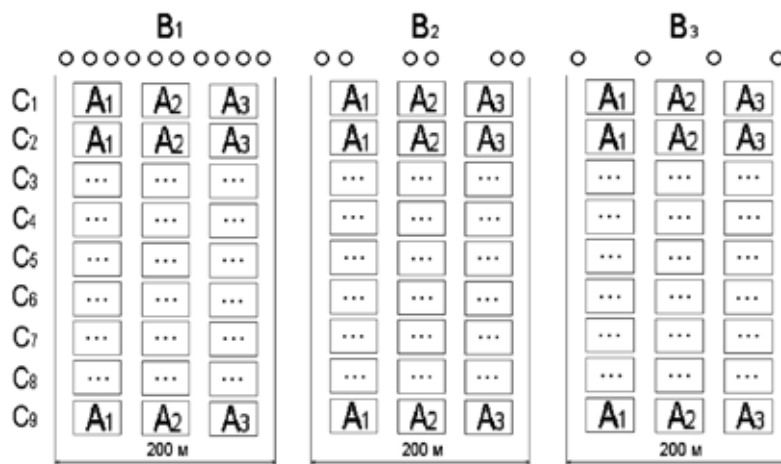


Рис. 2. Схема трехфакторного опыта с учетными площадками  
 $A_1 - A_3$  – дозы удобрений;  $B_1 - B_3$  – конструкции ПЗЛП;  $C_1 - C_9$  – расстояния от ПЗЛП (8–400 м)

Применение и расчет дозы удобрений (НРК), учет урожая проводились в соответствии с методиками Б.А. Доспехова [13], Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова [12], ВНИАЛМИ [10].

В исследованиях для определения влияния ПЗЛП на микроклиматические показатели поля яровой пшеницы, согласно методике ВНИАЛМИ [11], использовались: на скорость ветра – анемометр АТЕ-1034; на температуру и влажность воздуха, освещенность – люксметр-термогигрометр ТКА-ПКМ. Осадки определялись плевнитографом. Температура и влажность воздуха фиксировались в фазу цветения яровой пшеницы в 13.00 часов дня при скорости ветра 7 м/с с юго-восточной направленностью (господствующим направлением при засухе). Освещенность посевов культуры под влиянием ПЗЛП определялась при ясной погоде в течение дневного времени.

Для математической обработки материалов использовали профессиональные программы SciLaB, Statistica, Microsoft Excel.

#### Результаты исследований и их обсуждение

Учет всего многообразия природных факторов (таких как осадки, приемы агролесомелиорации и агрохимии и др.), ко-

торые могут оказывать влияние на урожайность сельскохозяйственных культур, является очень сложной научной задачей. Это связано с тем, что вся совокупность природно-антропогенных факторов есть не что иное, как многомерная гиперповерхность. Ее изучение очень затруднительно, поскольку структура бывает очень сложна. В исследованиях урожайности культур применялись математические модели и методы, которые позволяют учесть воздействие наиболее значимых факторов и представить их влияние в графическом виде. Обработка опытных данных проводилась математическими методами с применением дисперсионного и регрессивно-корреляционного анализов. Среди огромного многообразия факторов наиболее существенное влияние на урожайность пшеницы оказывают: освещенность посевов, конструкция и расстояние в системе ПЗЛП, удобрения, гидротермический коэффициент и некоторые другие микроклиматические показатели. Решить проблему влияния природно-антропогенных факторов на урожайность яровой пшеницы в теоретическом плане возможно путем использования следующих множественных регрессий, построенных на основе аналитическо-эмпирических методов:

$$Y = b_0 + b_1H + b_2E_o + b_3O_r + b_4HE_o + b_5HO_r + b_6E_oO_r + b_7HE_oO_r; \quad (1)$$

$$Y = b_0 + b_1O_r + b_2A + b_3U + b_4O_rA + b_5O_rU + b_6AU + b_7O_rAU, \quad (2)$$

где  $Y$  – урожайность яровой пшеницы, т/га;

$b_0 - b_7$  – коэффициенты множественной регрессии;

$H$  – расстояние от ПЗЛП в единицах защитной высоты ( $H=8$  м);

$E_o$  – относительная освещенность поля (отношение освещенности под влиянием лесных полос к освещенности открытого поля), %;

$O_r$  – гидротермический коэффициент (отношение количества осадков, умноженное на 10, к сумме температур >10°C за вегетацию яровой пшеницы);

A – тип конструкции ПЗЛП, %: плотная – 10%; ажурная – 30%; продуваемая – 60%;

U – доза внесения минеральных удобрений (NPK), кг/га.

**Таблица 1**

Относительная освещенность при безоблачном небе, температура и влажность воздуха в зависимости от времени замера показателей, расстояния от лесной полосы и урожайности яровой пшеницы в разные по увлажнению годы

Время замера показателей, ч	Показатели	Расстояние от лесной полосы ажурной конструкции							
		0Н*	1Н	3Н	5Н	10Н	20Н	30Н	
5.00	$E_o$ , %	3/3	5/5	7/7	8/8	11/11	90/90	100/100	
	t, °C	16,4/24,8	16,2/23,9	16,0/23,7	15,8/23,2	15,6/23,5	15,7/23,7	15,7/23,8	
	r, %	75,6/39,1	75,9/45,0	76,1/46,5	76,2/48,0	76,4/47,8	76,3/47,8	76,1/47,5	
7.00	$E_o$ , %	5/5	7/7	9/9	11/11	12/12	95/95	100/100	
	t, °C	17,1/26,3	17,0/26,0	16,8/25,9	16,6/25,8	16,7/26,0	16,8/26,1	17,0/26,1	
	r, %	73,1/36,2	73,4/41,9	74,0/43,9	74,5/46,0	75,0/45,1	74,8/45,0	74,6/45,0	
9.00	$E_o$ , %	92/92	100/100						
	t, °C	18,2/28,8	18,0/28,1	17,7/27,8	17,7/26,9	17,5/27,0	17,6/27,2	17,8/27,0	
	r, %	71,8/34,3	72,0/39,6	72,4/44,7	73,0/45,9	73,4/45,0	73,1/44,8	72,9/44,6	
11.00	$E_o$ , %	100/100							
	t, °C	18,7/29,0	18,5/28,6	18,5/28,0	18,2/27,5	18,0/27,2	18,3/27,3	18,0/27,0	
	r, %	69,3/32,8	69,6/40,0	70,1/41,1	70,9/42,6	71,4/42,0	71,0/41,9	69,8/41,6	
13.00	$E_o$ , %	100/100							
	t, °C	19,3/29,7	19,1/29,4	19,1/28,9	18,9/28,2	18,7/28,7	18,9/28,8	18,5/28,6	
	r, %	65,6/31,0	65,9/38,9	66,7/39,9	67,5/41,5	68,0/40,4	67,8/40,3	67,6/40,1	
15.00	$E_o$ , %	100/100							
	t, °C	18,8/28,9	18,6/28,4	18,5/28,0	18,3/27,4	18,3/27,9	18,4/28,0	18,2/27,9	
	r, %	69,1/33,0	69,9/38,1	70,5/39,8	71,0/43,1	71,8/42,5	71,6/42,3	71,4/42,1	
17.00	$E_o$ , %	100/100							
	t, °C	17,4/27,0	17,2/26,7	17,1/26,9	16,9/26,6	16,8/26,9	16,6/26,7	16,4/26,8	
	r, %	73,2/35,5	73,9/39,9	74,5/44,0	74,9/45,4	75,5/44,1	75,1/44,0	74,8/43,8	
20.00	$E_o$ , %	100/100							
	t, °C	15,9/23,9	15,6/23,2	15,6/23,0	15,3/22,4	15,1/22,7	15,0/22,5	14,8/22,3	
	r, %	75,0/40,4	75,5/47,0	76,1/47,7	76,8/50,1	77,1/49,5	76,8/49,3	76,6/49,1	
—	Урожайность яровой пшеницы, т/га								
		3,49/0,92	3,62/1,09	3,91/1,77	4,48/1,94	4,37/1,82	4,00/1,71	3,90/1,49	

Примечания: числитель и знаменатель соответственно данные влажного 2017 (25.07) и сухого 2019 (22.07) годов; Н\* – защитная высота ПЗЛП (Н=8 м).  $E_o$  – относительная освещенность, %; t – температура воздуха, °C; r – влажность воздуха, %.

Системы ПЗЛП на полях создают микроклимат, который влияет на урожайность сельскохозяйственных культур. Из микроклиматических показателей подвергаются изменению скорость ветра, температура и влажность воздуха, испарение, освещенность растений. Причем освещенность сельскохозяйственных культур с теневой

стороны ПЗЛП к 9–10 часам утра сравнима с показателями открытого поля – коэффициент детерминации связи данных параметров 0,96 (табл. 1).

Установлено, что температура и влажность воздуха имеют тенденцию к изменению наряду с освещенностью не только в течение суток, но и в зависимости от рас-



стояния от ПЗЛП и состояния погоды в разные по увлажнению годы. Температура воздуха при освещенности посевов пшеницы 100% на расстоянии 1 Н от ПЗЛП во влажном 2017 г. на 11 ч утра больше, чем при освещенности 7%, на 1,5°C. В сухом 2019 г. температура воздуха при тех же условиях составила 2,6°C. Динамика влажности воздуха имеет тенденцию обратной зависимости по отношению к температуре: соответствующие показатели уменьшаются во влажном 2017 г. на 3,8%, в сухом 2019 г. – на 1,9% (табл. 1).

Освещенность поля яровой пшеницы влияет на урожайность культуры в зависимости от расстояния от ПЗЛП. Чем ближе к ПЗЛП, начиная от 2–5Н до 0Н, тем меньше урожайность пшеницы, что связано с освещенностью поля. Снижение урожайности пшеницы в сухой 2019 г. (ГТК=0,30) на рас-

стоянии 0Н от ПЗЛП по отношению к максимальному расстоянию (5Н) отмечено более чем в 2 раза, на расстоянии 1Н – в 1,8 раза, а в очень влажный 2017 г. (ГТК=1,81) – соответственно на 28% и 24% (табл. 1).

В результате регрессионно-корреляционного анализа установлено, что урожайность яровой пшеницы на 92% связана с освещенностью поля и расстоянием от лесных полос (рис. 3). Урожайность пшеницы (табл. 2) обусловлена также условиями увлажнения вегетации (гидротермическим коэффициентом) и внесением минеральных удобрений.

Регрессионно-корреляционный анализ выявил тесную взаимосвязь между урожайностью пшеницы, конструкцией лесных полос, гидротермическим коэффициентом и дозой удобрений с коэффициентами детерминации 0,75–0,95 (рис. 4, 5, 6).

**Таблица 2**

Урожайность яровой пшеницы (т/га) на южном черноземе в зависимости от конструкции ПЗЛП, гидротермического коэффициента и дозы удобрений

Доза удобрений, кг/га	Значения гидротермического коэффициента в зависимости от конструкций ПЗЛП								
	Продуваемая			Ажурная			Плотная		
	0,30	0,64	1,81	0,30	0,64	1,81	0,30	0,64	1,81
0	2,00	2,43	4,55	1,94	2,42	4,48	1,70	2,30	4,32
140	2,28	2,79	6,92	2,19	2,72	6,82	1,90	2,52	6,67
220	2,32	2,90	7,62	2,23	2,79	7,53	1,97	2,58	7,49
230	–	–	7,85	–	–	7,76	–	–	7,64

Примечание: урожайность дана на расстоянии 5Н от лесных полос (ЛП). Н – защитная высота ЛП (Н=8 м).

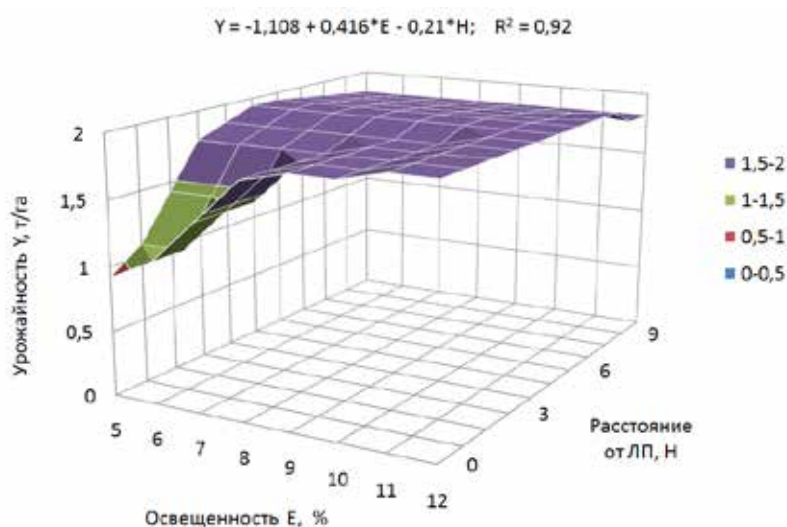


Рис. 3. Урожайность яровой пшеницы в зависимости от расстояния от ПЗЛП и освещенности поля



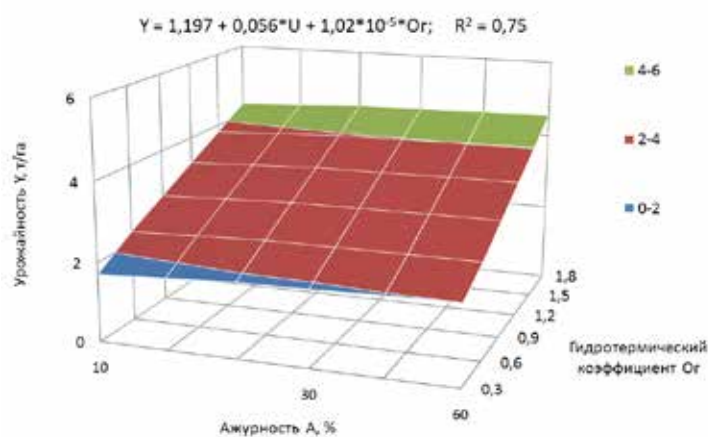


Рис. 4. Урожайность яровой пшеницы на расстоянии 5Н в зависимости от конструкции ПЗЛП и величины гидротермического коэффициента возделываемой культуры при дозе удобрений  $U=0 \text{ кг/га}$

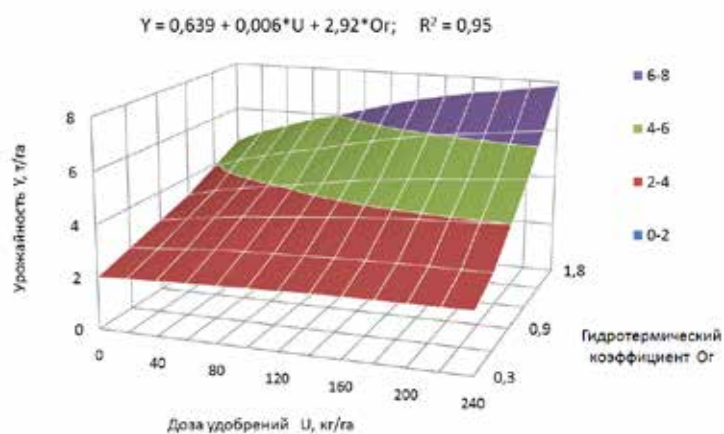


Рис. 5. Урожайность яровой пшеницы на расстоянии 5Н в системе ПЗЛП продуваемой конструкции в зависимости от дозы удобрений и величины гидротермического коэффициента возделываемой культуры

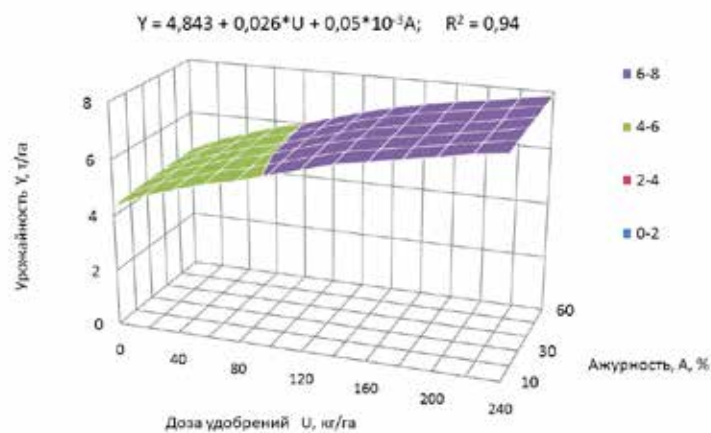


Рис. 6. Урожайность яровой пшеницы на расстоянии 5Н в зависимости от конструкции ПЗЛП, дозы удобрений и величины гидротермического коэффициента  $O_z=1,81$

### Заключение

Урожайность яровой пшеницы подвержена влиянию многих природно-антропогенных факторов. Важнейшие из них выделены в результате регрессионно-корреляционного анализа взаимосвязей: ажурная конструкция и удобрения ( $R^2=0,94$ ), гидротермический коэффициент и удобрения ( $R^2=0,95$ ), освещенность поля культуры и расстояние от лесной полосы ( $R^2=0,92$ ), гидротермический коэффициент и ажурность ( $R^2=0,75$ ).

Рекомендуется формировать ПЗЛП продаваемой конструкции с главной породой дубом черешчатым и вносить дозу минеральных удобрений ( $N_{90}, P_{90}, K_{40}$ ) в пределах 220 кг/га, в том числе азота в виде подкормки около 30 кг/га. Во влажные годы дозу азота можно увеличить до 100 кг/га.

### Список литературы

1. Кулик К.Н., Дубенок Н.Н., Рулев А.С., Пугачева А.М. ВНИАЛМИ – лидер агролесомелиоративной науки России: современная концепция защитного лесоразведения // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. 2015. № 3(13). С. 108-114.
2. Барабанов А.Т., Манашков А.С., Узолин А.М., Кулик А.К. Оценка эффективности коренной мелиорации малопродуктивных земель в зоне каштановых почв Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 4. С. 45-51.
3. Proezdov P., Eskov D., Mashtakov D. and Rozanov A. Influence pattern of forest strips complex mulched par plowing in crop rotations on erosion in the Volga region steppe. Proceedings of the Ecological-Socio-Economic Systems: Models of Competition and Cooperation (ESES 2019). Atlantis Press. Paris. France. 2020. P. 319-322.
4. Полуэктов Е.В., Балакай Г.Т. Влияние защитных лесных полос на урожайность сельскохозяйственных культур. Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности: материалы международной научно-экологической конференции. Краснодар, 2018. С. 504-507.
5. Agrawal A., Wollenberg E., Persha L. Governing agriculture-forest landscapes to achieve climate change mitigation. *Global Environmental Change*. 2014. Nov. Vol. 29. P. 270-280.
6. Parihaar R.S., Bargal K. Status of an indigenous agroforestry system: A case Study in Kumaun Himalaya, India. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2015. No 85 (3). P. 442-447.
7. Liu T.X., Zhang S.W. Agroforestry Systems in Northern Temperate Zone and Productive Perspectives. *Advanced Materials Research*. 2011. Vol. 304. P. 253-258.
8. Пронько В.В., Чуб М.П., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлёв Д.Ю. Отзывчивость сельскохозяйственных культур на минеральные удобрения в различных гидротермических условиях степного Поволжья // Аграрный научный журнал. 2017. № 9. С. 27-32.
9. Petukhov D.A., Ivanov A.B., Bondarenko E.V., Trubnikov A.V. and Semizorov S.A. The efficiency of the differentiated application of mineral fertilizers in the production technology of winter wheat cultivation. IOP conference series: Earth and environmental science. International scientific and practical conference «Ensuring sustainable development in the context of agriculture, green energy, ecology and earth science». Smolensk, 2021. P. 32-42.
10. Павловский Е.С., Долгилевич М.И. Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов. М.: ВАСХНИЛ, ВНИАЛМИ, 1985. 112 с.
11. Методика изучения влияния системы защитных лесных полос на микроклимат и урожайность сельскохозяйственных культур. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1973. 55 с.
12. Практикум по агрохимии / Под редакцией В.Г. Мишеева. М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2001. 689 с.
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.

УДК 633:57.04

## ИЗУЧЕНИЕ КОЛЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ЧИНЫ ПОСЕВНОЙ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

<sup>1</sup>Зайцев С.А., <sup>1</sup>Волков Д.П., <sup>1</sup>Матюшин П.А.,  
<sup>1</sup>Бабушкин Д.Д., <sup>1</sup>Бычкова В.В., <sup>2</sup>Жужукин В.И.

<sup>1</sup>ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт  
сорго и кукурузы», Саратов, e-mail: [zea\\_mays@mail.ru](mailto:zea_mays@mail.ru), [genomix@mail.ru](mailto:genomix@mail.ru),  
[denchik241088@gmail.com](mailto:denchik241088@gmail.com), [bychkova\\_vv@list.ru](mailto:bychkova_vv@list.ru);

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», Саратов

В статье рассматриваются результаты математического анализа исследования, включающего 25 образцов чины посевной и 21 показатель, характеризующий вегетативные признаки и биохимический состав зерна. Культивирование чины посевной (*Lathyrus sativus*) на кормовые, пищевые и сидеральные цели распространено в районах с засушливым климатом. Слабое различие между образцами ( $V < 10\%$ ) отмечено по длине стебля (53,9–78,8 см), длине боба (27,8–40,8 мм). По таким признакам, как высота прикрепления нижнего боба (13,6–20,2 см), ветвистость (5,9–10,3 шт.), ширина боба (9,3–15,8 мм), выборка характеризовалась коэффициентом вариации средней степени. Выявлены существенные различия по изучаемым признакам сортообразцов (фактор А). По фактору года (В) не отмечено значимых различий по признакам: ширина боба, число семян в бобе, масса 1000 семян, содержание золы в семенах. Выход валовой энергии с семенами у сортообразцов чины варьирует в пределах 16,66–33,51 ГДж/га. Вклад питательных веществ в валовой выход энергии составил: протеин – 5,88–12,31 ГДж/га, жир – 0,18–0,64 ГДж/га, клетчатка – 0,79–2,13 ГДж/га, безазотистые экстрактивные вещества – 9,55–18,96 ГДж/га. В опыте выявлен высокий суммарный вклад в общую изменчивость изучаемых признаков (фактор сорта А) и взаимодействия генотипа и года (АВ), тогда как эффект фактора года (В) не превышает 7,5%. Пищевое и кормовое направления использования чины обусловлены наличием большого количества протеина и клетчатки в семенах и зеленой массе.

**Ключевые слова:** чина посевная, фактор, содержание, параметр, урожайность, взаимодействие

## STUDY OF COLLECTION MATERIAL OF GRASS PEA IN THE LOWER VOLGA STEPPE ZONE

<sup>1</sup>Zaytsev S.A., <sup>1</sup>Volkov D.P., <sup>1</sup>Matyushin P.A.,  
<sup>1</sup>Babushkin D.D., <sup>1</sup>Bychkova V.V., <sup>2</sup>Zhuzhukin V.I.

<sup>1</sup>Russian Research Institute for Sorghum and Maize "Rossorgo", Saratov,  
e-mail: [zea\\_mays@mail.ru](mailto:zea_mays@mail.ru), [genomix@mail.ru](mailto:genomix@mail.ru), [denchik241088@gmail.com](mailto:denchik241088@gmail.com), [bychkova\\_vv@list.ru](mailto:bychkova_vv@list.ru);

<sup>2</sup>Saratov State Agrarian University, Saratov

The article discusses the results of a mathematical analysis of the study, which includes 25 samples of the grass pea and 21 indicators characterizing the vegetative characteristics and biochemical composition of the grain. Grass pea (*Lathyrus sativus*) is widely cultivated in arid conditions of southern countries for fodder and food purposes, as well as a green manure crop. A weak difference between the samples ( $V < 10\%$ ) was noted in the length of the stem (53,9–78,8 cm), the length of the bean (27,8–40,8 mm). According to such features as: the height of attachment of the lower bean (13,6–20,2 cm), branching (5,9–10,3 pieces), width of the bean (9,3–15,8 mm), the sample was characterized by the coefficient of variation of the average degree. Significant differences were revealed according to the studied characteristics of variety samples (factor A). According to the factor of the year (B), there were no significant differences in characteristics: the width of the bean, the number of seeds in the bean, the weight of 1000 seeds, the ash content in the seeds. The output of gross energy with seeds in varieties of grass pea varies within 16,66–33,51 GJ/ha. The contribution of nutrients to the gross energy output was: protein – 5,88–12,31 GJ/ha, fat – 0,18–0,64 GJ/ha, fiber – 0,79–2,13 GJ/ha, without nitrogenous extractive substances – 9,55–18,96 GJ/ha. In the experiment, a high total contribution to the overall variability of the studied traits (variety factor A) and the interaction of the genotype and year (AB) was revealed, while the effect of the year factor (B) does not exceed 7,5%. The food and fodder directions of the use of the grass pea are due to the presence of a large amount of protein and fiber in the seeds and green mass.

**Keywords:** grass pea, factor, content, parameter, yield, interaction

Устойчивое производство кормов зависит от урожайности зерновых и кормовых культур, улучшения структуры посевных площадей за счет расширения посевов однолетних, многолетних бобовых и бобово-злаковых травосмесей [1, 2]. Прочная кормовая база имеет решающее значение

для увеличения производства продуктов животноводства. Обеспеченность кормами должна предусматриваться прежде всего за счет кормов собственного производства. В засушливых условиях РФ дополнительным источником пополнения белка и повышения качества кормовой базы мо-

жет служить чина посевная [3–5]. В регионах с недостаточным увлажнением чина посевная (*Lathyrus sativus*) культивируется на кормовые, пищевые и сидеральные цели [6]. Использование чины в пищу обусловлено высоким содержанием протеина и клетчатки в семенах, сене, зеленой массе [7]. Хозяйственное значение чины обусловлено также ее высокой солевыносливостью, засухоустойчивостью, урожайностью и слабым поражением гороховой зерновкой и болезнями. Ограниченное использование чины в питании людей объясняли неподтвержденной информацией о том, что употребление семян чины вызывает заболевание «латиризм», поэтому в экспериментальных и обзорных публикациях достаточно противоречивая информация о пищевой ценности чины [8]. Противоречивые отношения к чине посевной, вероятно, и предопределили, что в Государственный реестр селекционных достижений, включено ограниченное количество сортов, допущенных к использованию в РФ [9]. Поэтому являются актуальными исследования, связанные с изучением исходного материала селекции новых сортов чины посевной с наиболее полным использованием потенциала растений и условий выращивания.

Цель исследования – установить различие селекционного материала по вегетативным признакам, элементам структуры урожая и биохимическому составу семян, выделить лучшие формы для использования в селекционном процессе.

#### Материалы и методы исследования

Экспериментальная часть проводилась на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в 2015–2018 гг. Гидротермический коэффициент в период май – сентябрь составил: 2015 г. – 0,90; 2016 г. – 0,48; 2017 г. – 1,05; 2018 г. – 0,69. В исследования включены 25 сортообразцов чины посевной различного эколого-географического происхождения, предоставленных из коллекционного фонда ФИЦ ВИГРР им. Н.И. Вавилова (ВИР): Рачейка, Мраморная, Жемчужина, к-7 Sanchinak, к-12, к-17, к-21, к-25, к-30 Gesse Cultive, к-34, к-240, к-278, к-292, к-403, к-703, к-748, к-780 Almortas Flamensa, к-805, к-809, к-834, к-850, к-924, к-1116, к-1170. Площадь делянки составила – 10 м<sup>2</sup> (длина делянки – 5,5 м, ширина междурядий – 0,7 м). Норма высева – 50 семян/м<sup>2</sup>. Повторность трехкратная. Агротехника в опыте – зональная, разработанная

в ФГНУ РосНИИСК «Россорго». Фенологические наблюдения и учеты проводили по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [10]. В семенах определяли содержание сырого протеина (ГОСТ 10846-91), сырого жира (ГОСТ 13496.15-97), сырой клетчатки (ГОСТ 13496.2-91), сырой золы (ГОСТ 26226-95). Статистическая обработка экспериментального материала проводилась в соответствии с методическими указаниями [11, 12]. Биоэнергетическая оценка материала проводилась в соответствии с результатами зоотехнического анализа семян [13].

#### Результаты исследования и их обсуждение

В ходе эксперимента у чины посевной были выявлены параметры варьирования морфометрических признаков (табл. 1). Слабое различие между образцами ( $V < 10\%$ ) отмечено по длине стебля (53,9–78,8 см), длине боба (27,8–40,8 мм). По таким признакам, как высота прикрепления нижнего боба (13,6–20,2 см), ветвистость (5,9–10,3 шт.), ширина боба (9,3–15,8 мм), выборка характеризовалась коэффициентом вариации средней степени. Включенные в опыт сортообразцы чины посевной существенно различаются на 5%-ном уровне (табл. 1). Различие по фактору года (В) не установлено по ширине боба, однако взаимодействие АВ достоверно. Относительной высокорослостью характеризовался номер к-1170, а высоким прикреплением боба (более 18,0 см) отличились образцы: Рачейка, Мраморная, к-703, к-957, к-1170.

Различное происхождение сортообразцов определило реакцию генотипов на условия проведения опыта, что нашло отражение на существенное их различие по элементам структуры урожайности по фактору А и взаимодействию генотип – среда АВ (табл. 2). Следует обратить внимание, что большинство образцов характеризовались низким варьированием массы 1000 семян ( $V = 9,3\%$ ), однако крупный размер семени сформировал номер к-34 (266,7 г). По другим элементам структуры урожайности отмечено варьирование средней степени ( $V = 10,0–20,0\%$ ), однако коэффициенты вариации по продуктивности растения и урожайности семян несколько выше и указывают на значительный диапазон варьирования. Фактор года (В) незначим по количеству семян в бобе и массе 1000 семян.

Таблица 1

Морфометрические параметры коллекционного материала чины, 2015–2018 гг.

Наименование	Длина стебля, см	Высота прикрепления нижнего боба, см	Ветвистость, шт.	Длина боба, мм	Ширина боба, мм
Фактор «А»					
Рачейка	54,8	18,3	8,5	34,8	12,4
Мраморная	58,9	20,2	7,4	36,9	12,3
Жемчужина	50,1	15,6	7,5	37,8	13,0
к-7, Sanchinak	56,9	15,9	7,9	37,8	12,7
к-12, Степная 12	63,0	17,6	7,2	36,4	13,1
к-17	65,6	15,7	6,2	35,6	11,6
к-21, Степная 21	55,7	17,5	7,9	37,4	13,6
к-25	62,8	17,4	7,9	39,9	14,3
к-30, Gesse Cultive	57,8	17,6	7,0	36,4	12,8
к-34, Степная 34	59,1	13,7	7,5	36,3	14,8
к-240, Степная 240	55,0	14,9	10,2	36,6	12,7
к-278, China Gyulerma	64,3	17,2	9,0	38,1	10,7
к-292	60,5	17,3	10,3	40,8	15,8
к-403	61,2	14,3	6,1	36,4	12,9
к-703	56,9	18,8	9,0	36,5	14,2
к-748	53,9	15,9	6,0	37,4	9,3
к-780, Almortas Flamenca	59,2	15,6	9,9	39,8	15,0
к-805	55,3	13,6	5,9	27,8	10,0
к-809	56,8	16,3	7,8	38,0	14,0
к-834	65,2	17,4	5,9	38,7	12,6
к-850, Крош-Горох	56,2	15,9	6,9	39,8	13,8
к-924	63,9	14,5	6,0	36,3	15,0
к-957	57,9	19,9	6,9	36,8	13,5
к-1116	60,4	15,3	8,9	38,3	14,7
к-1170	78,8	23,2	7,9	38,8	11,0
Среднее значение	59,6	16,8	7,7	37,2	13,0
V, %	9,3	13,1	17,4	6,6	12,4
Фактор «В»					
2015 г.	61,2	16,6	7,6	36,8	13,2
2016 г.	58,1	17,2	8,1	37,7	13,2
2017 г.	58,3	16,9	7,4	37,2	13,2
2018 г.	60,9	16,5	7,5	36,8	13,1
НСР <sub>0,05</sub>					
НСР (А)	1,68	0,94	0,64	0,88	0,89
НСР (В)	0,67	0,38	0,26	0,35	ns
НСР (АВ)	3,36	1,88	1,28	1,75	1,77

На содержание питательных веществ в семенах существенное влияние оказывают особенности образца и условия выращивания (табл. 3). В семенах чины посевной содержится высокое количество протеина, вследствие указанного факта она относится к числу высокобелковых культур. В ходе исследования выявлены низкие коэффициен-

ты вариации по содержанию протеина, клетчатки, золы, БЭВ, однако дисперсионный анализ данных указывает на существенные различия по показателям биохимического состава зерна. Высокий коэффициент вариации по содержанию в семенах жира сочетается с низкими показателями данного признака (0,42–1,27%).

Таблица 2

Параметры структуры урожайности сортообразцов чины посевной, 2015–2018 гг.

Наименование	Число бобов с растения, шт.	Количество семян в бобе, шт.	Число семян с растения, шт.	Масса 1000 семян, г	Масса семян с растения, г	Урожайность семян, т/га
Фактор А						
Рачейка	28,0	1,6	44,7	220,6	9,7	1,46
Мраморная	28,0	1,4	39,4	216,2	8,4	1,26
Жемчужина	31,4	1,3	43,7	208,2	8,9	1,34
к-7, Sanchinak	31,9	1,5	50,9	176,8	8,8	1,32
к-12, Степная 12	28,5	1,6	45,2	222,8	9,9	1,48
к-17	35,2	1,6	57,7	186,4	10,4	1,57
к-21, Степная 21	25,1	1,3	33,8	210,0	7,0	1,05
к-25	26,5	1,7	46,4	195,3	8,8	1,33
к-30, Gesse Cultive	27,8	1,5	43,7	211,6	8,8	1,33
к-34, Степная 34	42,7	1,3	61,0	266,7	15,7	2,11
к-240, Степная 240	25,0	1,7	42,6	208,8	8,7	1,31
к-278, China Gyulerma	32,3	1,7	55,6	225,2	12,5	1,87
к-292	32,6	1,6	55,1	230,1	12,4	1,85
к-403	34,7	1,7	60,9	213,2	13,0	1,95
к-703	26,7	1,7	45,5	242,8	11,0	1,65
к-748	24,1	1,8	42,8	199,9	8,5	1,28
к-780, Almortas Flamenca	39,8	1,4	56,0	247,3	13,4	2,01
к-805	27,9	1,7	48,9	247,1	12,0	1,79
к-809	26,0	1,4	38,6	241,5	9,5	1,42
к-834	31,1	1,6	52,3	221,4	11,5	1,73
к-850, Крош-Горох	35,2	1,6	54,0	198,2	10,7	1,61
к-924	32,0	1,4	46,0	220,8	9,8	1,47
к-957	29,8	1,4	41,6	205,8	8,4	1,27
к-1116	34,0	1,8	60,8	217,9	12,9	1,94
к-1170	35,2	1,5	52,1	215,3	11,1	1,66
Среднее значение	30,9	1,6	48,8	218,0	10,5	1,56
V, %	15,1	10,0	15,4	9,3	19,6	18,1
Фактор В						
2015 г.	28,3	1,6	47,9	215,3	10,3	1,55
2016 г.	34,3	1,5	51,2	221,9	11,2	1,63
2017 г.	29,1	1,6	47,2	218,1	10,1	1,51
2018 г.	32,1	1,6	48,7	216,7	10,4	1,56
НСР <sub>0,05</sub>						
НСР (А)	1,06	0,12	1,24	20,03	0,63	0,18
НСР (В)	0,43	ns	0,50	ns	0,25	0,07
НСР (АВ)	2,13	0,24	2,48	40,06	1,25	0,34

Дисперсионный анализ двухфакторного опыта позволяет определить силу влияния регулируемых и нерегулируемых факторов на результирующий признак. Сила влияния фактора определяется как доля факториальной вариации в общем варьировании. Вклад факторов в общую изменчивость

в опыте варьирует в зависимости от признака (табл. 4). Более 50% доля влияния фактора «А» выявлена у следующих признаков: длина стебля, число семян в бобе, число семян на растении, продуктивность растения, урожайность семян, сбор протеина (табл. 4). Вклад в общую изменчивость фактора года

по всем признакам не превышает 7,5%. Доля влияния взаимодействия генотип – среда более 50% выявлена по таким признакам, как длина стебля от почвы до нижнего боба, ветвистость, длина и ширина боба, содержание жира и клетчатки, сбор с 1 га жира и клетчатки, а менее 30% по 4 признакам.

С семенами чины сбор валовой энергии у исследуемых форм составил 16,66–

33,51 ГДж/га (табл. 5). Причем наибольшую долю в энергетической ценности обеспечивает содержание безазотистых экстрактивных веществ 9,55–18,96 ГДж/га, тогда как вклад протеина составляет 5,88–12,31 ГДж/га, жира 0,18–0,64 ГДж/га, клетчатки 0,79–2,13 ГДж/га. Наибольший выход валовой энергии (более 29,0 ГДж/га) получен с урожаем семян: к-34, к-278, к-292, к-403, к-780, к-1116.

**Таблица 3**

Биохимическая оценка семян сортообразцов чины посевной, 2015–2018 гг.

Наименование	Содержание, %				
	протеин	жир	клетчатка	зола	БЭВ
Фактор А					
Рачейка	29,18	0,80	6,87	3,77	59,39
Мраморная	28,67	0,83	7,16	3,37	67,15
Жемчужина	30,62	0,77	5,89	3,58	59,15
к-7, Sanchinak	29,20	1,02	6,22	3,49	60,08
к-12, Степная 12	31,17	0,99	5,97	3,40	58,48
к-17	29,50	0,91	6,91	3,42	59,28
к-21, Степная 21	27,46	1,27	5,14	3,60	62,52
к-25	29,51	1,13	6,04	3,65	59,68
к-30, Gesse Cultive	30,71	1,00	6,74	3,56	58,00
к-34, Степная 34	27,94	0,67	6,69	3,33	61,37
к-240, Степная 240	27,82	0,42	6,57	3,51	61,68
к-278, China Gyulerma	30,53	0,91	6,12	3,52	58,91
к-292	28,47	0,74	6,48	3,26	61,06
к-403	28,24	0,71	6,30	3,57	61,18
к-703	29,51	0,82	6,33	3,40	59,95
к-748	29,41	0,61	5,28	3,47	61,23
к-780, Almortas Flamenca	30,03	0,94	6,38	3,60	59,06
к-805	29,22	0,46	5,90	3,61	60,82
к-809	27,09	1,01	6,61	3,52	61,77
к-834	30,01	0,88	5,49	3,56	60,06
к-850, Крош-Горох	30,17	0,70	6,02	3,44	59,67
к-924	30,15	1,08	4,88	3,52	60,37
к-957	27,77	0,52	5,95	3,73	62,03
к-1116	29,55	0,59	5,46	3,39	61,01
к-1170	30,68	0,59	6,49	3,62	58,64
Среднее значение	29,30	0,81	6,16	3,52	60,50
V, %	3,8	26,6	9,4	3,5	3,0
Фактор В					
2015 г.	29,77	0,79	5,90	3,51	59,98
2016 г.	29,35	0,85	6,43	3,55	59,82
2017 г.	28,79	0,82	6,10	3,46	60,83
2018 г.	29,30	0,80	6,18	3,54	60,18
НСР <sub>0,05</sub>					
НСР (А)	1,46	0,08	0,28	0,19	1,38
НСР (В)	0,57	0,03	0,11	ns	0,55
НСР (АВ)	2,93	0,16	0,56	0,37	2,76

Таблица 4

Вклад факторов в общую изменчивость изучаемых признаков чины посевной (%),  
2015–2018 гг.

Признак	Фактор			
	А	В	АВ	Неучтенные (случайные)
Длина стебля, см	71,8	1,2	24,9	2,1
Высота боба, см	37,8	0,6	55,0	6,6
Ветвистость, шт.	21,4	3,2	58,3	17,1
Число бобов на растении, шт.	41,3	7,5	49,6	1,6
Число семян в бобе, шт.	62,3	0,4	25,3	12,0
Число семян на растении, шт.	64,5	0,6	34,4	0,5
Масса 1000 семян, г	25,7	5,2	37,5	31,6
Продуктивность растения, г	55,4	1,0	41,2	2,4
Урожайность семян, т/га	54,3	0,6	36,0	9,1
Длина боба	20,3	1,0	72,6	6,1
Ширина боба	19,5	0,1	62,1	18,3
Содержание в семенах, %				
Протеин	25,4	2,1	33,0	39,5
Жир	28,1	0,6	64,6	6,7
Клетчатка	24,0	4,3	61,8	9,9
Зола	23,5	1,2	37,4	37,9
Бэв	27,1	2,5	36,6	33,8
Сбор с гектара, кг/га				
Протеин	57,2	0,8	41,5	0,5
Жир	27,9	1,8	69,7	0,6
Клетчатка	43,0	1,7	54,8	0,5
Зола	37,7	0,6	26,3	35,4
БЭВ	28,3	1,8	29,0	40,9

Таблица 5

Выход валовой энергии по полезному веществу у чины посевной, 2015–2018 гг.

Наименование	Энергия по полезному веществу, ГДж/га				
	всего	протеин	жир	клетчатка	БЭВ
Рачейка	23,18	8,59	0,37	1,54	12,68
Мраморная	21,31	7,38	0,37	1,36	12,20
Жемчужина	21,39	8,32	0,30	1,17	11,60
к-7, Sanchinak	21,10	7,89	0,45	1,25	11,51
к-12, Степная 12	23,90	9,36	0,58	1,26	12,70
к-17	25,04	9,49	0,48	1,62	13,45
к-21, Степная 21	16,66	5,88	0,45	0,79	9,55
к-25	21,15	7,87	0,51	1,22	11,55
к-30, Gesse Cultive	21,32	8,29	0,42	1,33	11,28
к-34, Степная 34	33,51	11,94	0,48	2,13	18,96
к-240, Степная 240	20,77	7,42	0,18	1,31	11,86
к-278, China Gyulerma	29,97	11,52	0,55	1,73	16,17



Окончание табл. 5

Наименование	Энергия по полезному веществу, ГДж/га				
	всего	протеин	жир	клетчатка	БЭВ
к-292	29,60	10,99	0,47	1,79	16,36
к-403	30,88	11,22	0,46	1,87	17,33
к-703	26,32	9,85	0,46	1,59	14,42
к-748	20,34	7,64	0,26	1,02	11,42
к-780, Almortas Flamenca	32,18	12,31	0,64	1,92	17,31
к-805	28,35	10,76	0,25	1,56	15,78
к-809	22,55	7,93	0,44	1,41	12,76
к-834	27,61	10,53	0,47	1,48	15,12
к-850, Крош-Горох	25,63	9,88	0,36	1,43	13,97
к-924	23,60	9,07	0,55	1,05	12,94
к-957	19,93	7,15	0,22	1,13	11,43
к-1116	30,98	11,74	0,38	1,58	17,28
к-1170	26,46	10,36	0,32	1,62	14,16
Среднее значение	24,95	9,34	0,42	1,45	13,75
V, %	17,9	18,8	27,7	21,4	17,8

**Заключение**

Изучение коллекционного материала чины посевной позволило установить различия образцов по вегетативным признакам, элементам структуры урожая и биохимическому составу семян, а также установить долю влияния факторов: гибрида (А), года (В), их взаимодействия (АВ), а также неучтенных (случайных). Установлено, что наибольший выход валовой энергии с урожаем семян обеспечивают образцы к-34, к-278, к-292, к-403, к-780, к-1116. Содержание протеина в семенах более 30% установлено у сортообразцов: Жемчужина, к-12, к-30, к-278, к-780, к-834, к-850, к-934, к-1170. Относительно длинностебельные сортообразцы (более 60 см) целесообразно использовать на зеленую массу: к-12, к-25, к-278, к-292, к-403, к-834, к-924, к-1116, к-1170.

**Список литературы**

1. Ситников Н.П. Развитие животноводства на основе современного кормопроизводства // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство. М., 2021. С. 132–137.  
2. Трофимов И.А., Косолапов В.М., Трофимова Л.С. Пути повышения эффективности возделывания отечественных сортов и технологий агроландшафтов юга России // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 54. С. 305–309.

3. Жужукин В.И., Горбунов В.С., Зайцев С.А., Волков Д.П. Изучение исходного материала чины посевной для селекции в условиях Нижнего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2017. № 6 (54). С. 48–52.

4. Асадова А.И. Чина посевная (*Lathyrus sativus* L.) как альтернативный источник протеина в кормопроизводстве // Развитие и внедрение современных наукоемких технологий для модернизации агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. 2020. С. 20–25.

5. Соловьёва Л.П. Разработка технологии возделывания чины посевной на кормовые цели в условиях степи и лесостепи Уральского федерального округа // Зауральский научный вестник. 2014. № 2 (6). С. 64–67.

6. Hillocks R.J., Maruthi M.N. Grass pea (*Lathyrus sativus*): Is there a case for further crop improvement? // Euphytica. 2012. 186. P. 647–654.

7. Зайцева Л.И., Жужукин В.И., Зайцев С.А. Биохимический состав семян и зеленой массы чины посевной // Кормопроизводство. 2013. № 11. С. 24–25.

8. Клименко В.Г. Белки семян бобовых растений. Кишинев, Штиинца, 1978. 246 с.

9. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (официальное издание). М., 2021. 719 с.

10. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый. Общая часть // ФГБУ «Госсорткомиссия». М., 2019. 329 с.

11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по Требованию, 2012. 352 с.

12. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.

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

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРЕДБАЗИСНОГО СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА КАРТОФЕЛЯ

**Филиппова С.В., Елисеева Л.В.**

*ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет», Чебоксары,  
e-mail: svetlanka\_631980@mail.ru*

Исследование направлено на совершенствование технологии получения предбазисного семенного материала картофеля (мини-клубней) перспективных сортов отечественной селекции. Анализ основан на сравнении стандартной технологии высадки пробирочных растений в рассадные горшки с грядовой технологией. При этом исследованиям подлежал способ предварительной адаптации микро-растений к высадке в защищенный грунт путем доращивания пробирочных растений в рассадных кассетах. Выбор технологии производства мини-клубней картофеля зависит от особенностей конкретного сорта. Растения сорта Гулливер больше всего клубней, 10,9 шт., формируют при высадке растений по стандартной технологии из пробирок в горшки, однако более выравненные клубни формируются при получении рассады – при этом число клубней с растения уменьшается на 10,1%. Аналогичная закономерность наблюдается по сорту Регги – доращивание растений в рассадных кассетах обеспечивает получение более выравненных клубней, однако общее число клубней с растения при этом снижается на 21,1% по сравнению со стандартной технологией. Грядовая технология позволяет получить наиболее выравненные по размеру мини-клубни сортов Метеор, Зумба, Сальса и Кортни. Однако наибольшего числа клубней с растения у этих сортов можно добиться высадкой растений по стандартной технологии. Прибавка в количестве клубней при этом достигается преимущественно за счет увеличения доли мелких клубней с наибольшим поперечным диаметром менее 25 мм, не представляющих особого интереса для хозяйств, специализирующихся на семеноводстве картофеля. Высадка пробирочных растений сорта Самба по грядовой технологии позволяет получить наибольшее число клубней, выравненных по наибольшему поперечному диаметру – 9,3 шт., что на 9,4% больше, чем в варианте с высадкой растений по стандартной технологии.

**Ключевые слова:** картофель, оригинальное семеноводство, мини-клубни, способ посадки, коэффициент размножения

## OPTIMIZATION OF PRODUCTION OF PRE-BASE POTATO SEED MATERIAL

**Filippova S.V., Eliseeva L.V.**

*Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, e-mail: svetlanka\_631980@mail.ru*

The research is aimed at improving the technology of obtaining pre-base potato seed material (mini tubers) of promising varieties of domestic breeding. The analysis is based on a comparison of the standard technology of planting test tube plants in seedling pots with the ridge technology. At the same time, the method of preliminary adaptation of micro-plants to planting in protected soil by growing test tube plants in seedling cassettes was subject to research. The choice of technology for the production of potato mini-tubers depends on the characteristics of a particular variety. Plants of the Gulliver variety have the most tubers of 10.9 pcs. – they are formed when planting plants using standard technology from test tubes into pots, however, more aligned tubers are formed when seedlings are obtained – while the number of tubers from the plant decreases by 10.1%. A similar pattern is observed for the Reggae variety – growing plants in seedling cassettes provides more aligned tubers, however the total number of tubers from the plant is reduced by 21.1% compared to standard technology. The ridge technology allows you to get the most equal-sized mini-clubs of the Meteor, Zumba, Salsa and Courtney varieties. However, the largest number of tubers from a plant in these varieties can be achieved by planting plants using standard technology. The increase in the number of tubers is achieved mainly due to an increase in the proportion of small tubers with the largest transverse diameter of less than 25 mm, which are not of particular interest to farms specializing in potato seed production. Planting test tube plants of the Samba variety using ridge technology allows you to get the largest number of tubers aligned according to the largest transverse diameter – 9.3 pcs., which is 9.4% more than in the variant with planting plants using standard technology.

**Keywords:** potatoes, original seed production, mini-tubers, planting method, reproduction coefficient

Продовольственная безопасность любого государства базируется на развитии селекции и семеноводства. Дополнительная поддержка этих направлений в нашей стране осуществляется посредством реализации Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы. Одна из ее подпрограмм – «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации». В рамках подпрограммы отечественными селекционе-

рами выведено 23 новых сорта картофеля. Проведенные в различных регионах испытания показали конкурентоспособность новых перспективных сортов. Первыми результатами реализации программы стало производство более 5 тыс. т семенного материала картофеля категории элита. В общем объеме внутреннего потребления элитных семян картофеля доля новых сортов составила 2,1%. Для увеличения площадей под отечественными сортами картофеля необхо-

димо нарастить объемы производства оригинального и элитного семенного материала. Поскольку схема семеноводства в культуре картофеля занимает в среднем пять лет, накопление скрытой инфекции, в частности вирусной и бактериальной, приводит к уменьшению выхода товарной продукции с единицы площади. Высоких урожаев можно добиться за счет сокращения схемы до четырех лет. Однако для этого потребуются нарастить объемы производства оригинальных семян, в частности мини-клубней.

Каждый сорт обладает своими особенностями, которые влияют на урожайность и качество продукции. Разработка комплексной высокоэффективной технологии получения оригинальных семян картофеля должна вестись с учетом сортовых особенностей.

А. Feleke, G. Regasa и M. Muche отмечают, что получение стабильных урожаев картофеля возможно только при проведении постоянной сортосмены старых сортов новыми, более перспективными. Исследователи полагают, что продовольственная безопасность государства базируется на знаниях и новейших достижениях селекционеров. Причем важным аспектом является внедрение этих знаний в производство путем повышения доли новых перспективных сортов в общем объеме производства сельскохозяйственной продукции [1].

Постоянный рост издержек при производстве тепличных мини-клубней диктует необходимость совершенствования технологии их производства. Особое внимание уделяется наиболее эффективному использованию внутритепличного пространства. Для снижения затрат требуется обеспечить максимальный выход клубней картофеля с единицы площади.

Исследования по оптимизации технологии производства картофеля ведутся давно. Известны положительные результаты возделывания картофеля с применением грядовой технологии, которая способствует увеличению урожайности по отношению к стандартной технологии за счет оптимизации температурного и влажностного режимов почвы [2].

Попытки применить грядовую технологию для получения тепличных мини-клубней оказались неоднозначными. Установлено, что посадка микрорастений в грядки существенно увеличивала выход клубней и урожай с единицы площади. При этом доля клубней массой более 20 г увеличивалась, а количество мини-клубней, средняя масса которых варьировалась в пределах 10–20 г,

осталась на уровне варианта, высаженного по стандартной технологии. Кроме того, грядковая посадка позволяет снизить долю клубней массой менее 3 г, которые, как правило, не пригодны для дальнейшего использования, поскольку требуют особых условий хранения и обладают низким потенциалом для дальнейшего прорастания и получения семян первого полевого поколения.

В других исследованиях положительной роли использования грядкового способа посадки микрорастений картофеля отмечено не было. Выход клубней с одного куста не зависел от способа посадки микрорастений. Исследования, проводимые на двух сортах картофеля, показали, что грядковой способ посадки существенно влиял на выход клубней с единицы площади не оказывает. Число клубней с куста при высадке растений в грядки недостоверно превышало вариант с традиционным способом посадки микрорастений [3].

Одним из приемов повышения коэффициента размножения оригинальных семян картофеля является адаптация растений к нестерильным условиям путем предварительного получения рассады [4]. По мнению С.А. Корнацкого, на эффективность адаптации микрорастений к нестерильным условиям влияет степень развития корневой системы. Предварительное доращивание растений перед высадкой в условия защищенного грунта позволяет получить посадочный материал с хорошо развитой корневой системой, в результате чего увеличивается приживаемость и сохранность растений на момент уборки [5].

Предварительное доращивание пробирочных растений картофеля перед высадкой в закрытый грунт позволяет увеличить приживаемость растений. Так Д.Н. Власевский и Е.А. Власевской установлено, что приживаемость дорощенных растений увеличивается на 20,68% по отношению к растениям, высаженным из пробирок по стандартной технологии. За счет этого в варианте с использованием рассады в качестве посадочного материала на 19,4% увеличилась густота стояния растений, что в конечном счете привело к увеличению выхода мини-клубней с единицы площади на 22,2% [6].

Эффективность использования в качестве посадочного материала укорененных микрорастений установили В.В. Краснопорова и Е.А. Власевская. Предварительное доращивание растений в торфяных горшках способствовало увеличению выхода клубней с одного растения на 28,9% по сравне-

нию с высадкой растений непосредственно из пробирок. Увеличение числа клубней с куста авторы связывают с удлинением вегетационного периода [7].

Рассадный способ выращивания микрорастений картофеля способствует снятию стресса у растений при переходе из стерильных условий лаборатории в нестерильные условия теплиц. Доращивание пробирочных растений позволило увеличить выход клубней с единицы площади на 2,85%. Так, при стандартной технологии было получено 210,6 тыс. мини-клубней в пересчете на 1 га. При рассадном способе выращивания микрорастений картофеля долю клубней с единицы площади удалось увеличить до 216,6 тыс. шт., более того, установлено, что закладка клубней у предварительно дорощенных растений начинается раньше, чем при высадке растений непосредственно из пробирок [8].

В.Н. Свист установил, что на выход мини-клубней влияет возраст рассады. Доращивание микрорастений на протяжении двух недель не приводит к существенному увеличению числа клубней с растения. Отмечено, что достоверной прибавки в количестве клубней с куста сортов Фреско, Луговской и Невский удалось добиться за счет высадки трех- и четырехнедельной рассады микрорастений картофеля [9].

В.Ф. Назарова в своих исследованиях установила преимущество дорощенных на протяжении 35 дней пробирочных растений перед растениями, высаженными непосредственно из пробирок в увеличении приживаемости. В зависимости от сорта доля прижившихся растений картофеля увеличилась на 18–20%. Кроме того, установлена взаимосвязь между предварительным укоренением растений и урожайностью полученных из них мини-клубней. Урожайности мини-клубней при доращивании микрорастений варьировалась от 12,04 до 15,72 т/га в зависимости от сорта, что в 4,1–4,4 раза больше, чем при стандартной технологии производства мини-клубней с высадкой растений непосредственно из пробирок. Значительное увеличение урожайности связано с уменьшением доли мелких клубней [10].

Предварительная подготовка рассады микрорастений картофеля на торфотаблетках обеспечивает стопроцентную приживаемость растений при пересадке их в теплицы. За 10–12 дней корневая система растений полностью заполняла объем торфотаблеток. При этом выход клубней с одного растения в варианте с предварительной подготовкой рассады составляет 12–34 шт. и 5–14 шт.

на сортах Ред Скарлетт и Эстима соответственно. Кроме того, установлено, что чем больше клубней формировали растения, тем меньше была средняя масса клубня. Микро-растения картофеля сорта Ред Скарлетт формировали клубни массой 13–37 г. Растения сорта Эстима формировали меньше клубней, однако их масса была выше – средняя масса клубня составляла 27–86 г [5].

По другим данным высадка растений, предварительно дорощенных в рассадных кассетах, позволяет ускорить адаптацию микрорастений к условиям теплиц. Интенсивный рост был отмечен на 2–3 дня раньше, чем в вариантах с высадкой растений непосредственно из пробирок. Предварительная подготовка рассады на 4–5 дней ускорила наступление фенологических фаз – цветения и клубнеобразования.

Неоднозначные результаты от использования рассады при производстве мини-клубней подтолкнули к изучению данной технологии применительно к условиям Чувашской Республики. Перспективными для Волго-Вятского региона являются новые сорта отечественной селекции. Для увеличения площадей под этими сортами следует разработать технологию, обеспечивающую получение наибольшего количества предбазисного семенного материала.

Цель исследования – определить наиболее оптимальный способ посадки микро-растений, который бы обеспечил наибольший выход мини-клубней.

#### Материалы и методы исследования

Эксперименты проводились в 2020–2021 гг. Базой проведения исследований явилась лаборатория первичного семеноводства ФГБОУ ВО «Чувашский ГАУ». Изучению подлежали новые перспективные сорта картофеля отечественной селекции – Гулливер (St), Метеор, Регги, Самба, Сальса, Кортни, Зумба.

Опыт заложен в четырех вариантах по каждому сорту:

- 1) высадка растений в горшки из пробирок (контроль);
- 2) высадка растений в горшки из рассадных кассет;
- 3) высадка растений в грядки из пробирок;
- 4) высадка растений в грядки из рассадных кассет.

Грядковая технология выращивания микро-растений обеспечивала площадь питания, соответствующую площади питания растений, высаженных в пятилитровые рас-

садные горшки – 380 см<sup>2</sup>. Субстрат для выращивания микрорастений в соотношении 4:1 состоял из верхового торфа и агроперлита. Каждый вариант включал 200 растений. Повторность четырехкратная. Размещение рандомизированное. Опыты проводились в летних каркасных неотапливаемых теплицах. Дата посадки микрорастений в 2020 г. – 19 июня, в 2021 г. – 16 мая. Профилактические обработки растений от основных переносчиков вирусной инфекции и возбудителей болезней проводили еженедельно. Полив растений осуществлялся через систему капельного полива. Температура и влажность воздуха в теплицах регулировалась системой искусственного охлаждения и дождевания (СИОД). Уборка урожая мини-клубней в 2020 г. проведена 15 сентября, в 2021 г. – 2 августа. Десикация в опытах не проводилась, уборку клубней проводили спустя 15 дней после естественного отмирания ботвы. На протяжении вегетации микрорастений картофеля несколько раз проводились измерения биометрических показателей.

### Результаты исследования и их обсуждение

Способ посадки оказал влияние на выход клубней с одного микрорастения. В условиях 2020 г. высадка микрорастений в горшки без предварительного доращивания способствовала увеличению числа закладываемых растениями клубней. Исключение составили сорта Метеор и Самба, которые больше всего клубней заложили при высадке в горшки из рассадных кассет и в варианте с высадкой пробирочных растений непосредственно в грядки соответственно. При этом растения сорта Метеор заложили 5,8 клубней на растение, сорта Самба – 8,4 клубней (табл. 1). Из всех изучаемых перспективных сортов отечественной селекции наиболее продуктивным по количеству клубней оказался Гулливер – 9,4 клубней с растения по лучшему варианту. Меньше всего клубней по лучшему варианту сформировал сорт Метеор – 5,8 шт. с растения, что на 38,3% меньше контроля.

Таблица 1

Число клубней с растения, шт.

Сорт	Горшки		Грядки	
	пробирки	рассадные кассеты	пробирки	рассадные кассеты
2020 год				
Гулливер (St)	9,4	8,2	5,1	4,3
Метеор	5,2	5,8	4,3	5,7
Кортни	6,9	6,0	3,3	4,4
Зумба	7,0	5,4	4,9	5,5
Самба	7,8	4,8	8,4	3,5
Регги	6,7	5,3	3,9	4,3
Сальса	8,1	4,9	5,0	4,6
2021 год				
Гулливер (St)	12,4	11,4	8,5	8,1
Метеор	8,2	8,0	5,9	7,3
Кортни	10,7	8,6	8,1	9,4
Зумба	11,0	8,0	7,5	10,1
Самба	9,2	7,2	10,2	8,5
Регги	16,1	12,7	9,7	8,9
Сальса	13,5	8,9	9,4	10,0
Среднее за 2 года				
Гулливер (St)	10,9	9,8	6,8	6,2
Метеор	6,7	6,9	5,1	6,5
Кортни	8,8	7,3	5,7	6,9
Зумба	9,0	6,7	6,2	7,8
Самба	8,5	6,0	9,3	6,0
Регги	11,4	9,0	6,8	6,6
Сальса	10,8	6,9	7,2	7,3

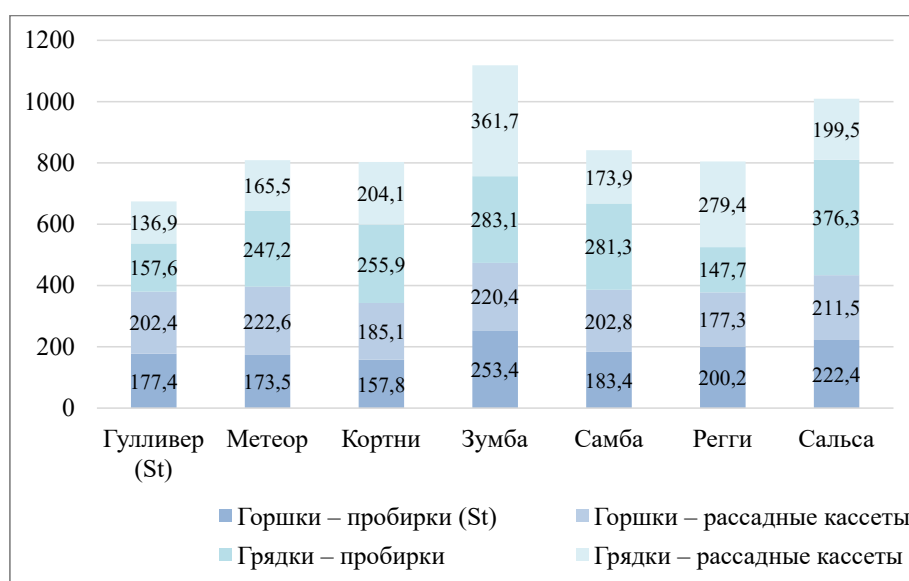
Погодные условия 2021 г. оказались более благоприятными для роста и развития растений картофеля. В момент закладки клубней температура воздуха в теплице составляла 18–19 °С, в то время как в 2020 году в период клубнеобразования температура воздуха варьировалась в пределах 28–30 °С. В 2021 г. растения всех сортов за исключением Самбы наибольшее число клубней сформировали в варианте с высадкой микрорастений в горшки непосредственно из пробирок без предварительного доращивания – от 8,2 до 16,1 клубней с растения в зависимости от сорта (табл. 2). Микрорастения сорта Самба больше всего клубней сформировали в варианте с высадкой пробирочных растений в грядки – 10,2 шт. с растения. Из всех изучаемых сортов больше всего клубней сформировали растения сорта Регги – от 9,7 до 16,1 клубней на растение в зависимости от варианта, что на 9,9–29,8% больше, чем в контрольном варианте. Так же высокой продуктивностью отличились микрорастения сорта Сальса – от 8,9 до 13,5 клубней с одного растения. Отклонение от стандарта составило 8,9–9,9% в зависимости от варианта.

В среднем за 2 года исследований микрорастения сорта Метеор наибольшее число клубней сформировали при высадке в горшки предварительно дорощенных в рассадных кассетах растений – 6,9 шт. Для сорта Самба оптимальной является высадка пробирочных растений в грядки без предварительного их доращивания в рассадных кассетах. При этом формируется на 0,8 шт.

больше клубней, что на 9,4% превышает контрольный вариант.

Масса клубней, как и их количество, зависела от способа пересадки микрорастений в грядки или в горшки. При предварительном доращивании растений в рассадных кассетах сорта Гулливер, Метеор, Кортни и Самба накапливали большую биомассу клубней, чем в варианте с высадкой растений непосредственно из пробирок в горшки. Рост составил от 11 до 14% в зависимости от сорта и повторности. Аналогичная закономерность наблюдалась при выращивании микрорастений сортов Зумба и Регги по грядовой технологии. При этом микрорастения остальных сортов большую биомассу клубней накапливали в варианте без предварительного доращивания растений в рассадных кассетах.

Сравнительный анализ накапливаемой биомассы мини-клубней по стандартной и грядовой технологии показывает, что выбор технологии зависит от особенностей конкретного сорта картофеля. Так, для сорта Гулливер эффективной оказалась высадка дорощенных в рассадных кассетах растений в горшки по стандартной технологии. Для остальных изученных сортов грядковая технология имела преимущество перед стандартной, причем растения сортов Зумба и Регги перед высадкой на грядки оказалось целесообразнее предварительно дорастить в рассадных кассетах, в то время как растения остальных сортов не требуют предварительной подготовки перед высадкой на грядки.



*Масса клубней с растения, г, среднее за 2 года*

Масса клубней, как и их количество, зависела от способа пересадки микрорастений в грядки или в горшки. При предварительном доращивании растений в рассадных кассетах сорта Гулливер, Метеор, Кортни и Самба накапливали большую биомассу клубней, чем в варианте с высадкой растений непосредственно из пробирок в горшки. Рост составил от 11 до 14% в зависимости от сорта и повторности (рисунок). Аналогичная закономерность наблюдалась при выращивании микрорастений сортов Зумба и Регги по грядовой технологии. При этом микрорастения остальных сортов большую биомассу клубней накапливали в варианте без предварительного доращивания растений в рассадных кассетах.

Сравнительный анализ накапливаемой биомассы мини-клубней по стандартной и грядовой технологии показывает, что выбор технологии зависит от особенностей конкретного сорта картофеля. Так, для сорта Гулливер эффективной оказалась высадка дороженых в рассадных кассетах растений в горшки по стандартной технологии. Для остальных изученных сортов грядовая технология имела преимущество перед стандартной, причем растения сортов Зумба и Регги перед высадкой на грядки оказалось целесообразнее предварительно дорастить в рассадных кассетах, в то время как для растений остальных сортов лучшим оказался вариант высадки микрорастений из пробирки прямо в грядки.

Известно, что крупность клубней имеет решающее значение в получении дружных всходов. Более крупные клубни обладают большим потенциалом, формируют кусты с мощной зоной столонообразования. По всем изученным сортам, кроме Гулли-

вера, Регги и Самбы, наблюдается прямая зависимость между накопленной микро-растениями биомассой клубней и средней массой одного клубня – с увеличением биомассы клубней увеличивается средняя масса одного мини-клубня. При этом для всех изучаемых сортов стандартная технология выращивания пробирочных микрорастений в горшках оказалась неэффективной, поскольку средняя масса сформировавшихся клубней оказалась наименьшей по всем сортам, кроме Метеора, и составила от 16,3 до 28,2 г в зависимости от сорта (табл. 2).

Растения сортов Гулливер, Метеор, Кортни и Сальса клубни с наибольшей массой сформировали при высадке пробирочных растений по грядовой технологии – прибавка по отношению к стандартной технологии составила 42,3; 87,3; 150,8 и 153,9% соответственно. Растения сорта Самба наиболее крупные клубни сформировали при высадке рассады в горшки – средняя масса каждого клубня составила 33,8 г. Рассадный способ позволил увеличить крупность мини-клубней сортов Регги и Зумба, однако высаживать рассаду следует не в горшки, а на грядки – в наших исследованиях это позволило получить клубни со средней массой 42,3 и 46,4 г соответственно.

Правильный подбор технологии производства мини-клубней позволяет увеличить среднюю массу одного клубня от 42,3% для сорта Гулливер до 153,9% для сорта Сальса. В целом все изучаемые сорта отличаются крупностью клубней по отношению к сорту-стандарту. Средняя масса одного клубня превышала стандарт по лучшему варианту от 45,7% у сорта Самба до 125,4% у сорта Сальса.

**Таблица 2**

Средняя масса одного клубня, г (среднее за 2 года)

Сорт	Горшки		Грядки	
	пробирки (St)	рассадные кассеты	пробирки	рассадные кассеты
Гулливер (St)	16,3	20,6	23,2	22,1
Метеор	25,9	32,3	48,5	25,5
Кортни	17,9	25,3	44,9	29,6
Зумба	28,2	32,9	45,7	46,4
Самба	21,6	33,8	30,2	29,0
Регги	17,6	19,7	21,7	42,3
Сальса	20,6	30,7	52,3	27,3

Таблица 3

Разделение клубней на фракции, шт. (среднее за 2 года)

Сорт	Фракция			
	Ø < 25	Ø 25–30	Ø 30–35	Ø > 35
Горшки / пробирки (St)				
Гулливер (St)	2,5	1,8	3,7	2,9
Метеор	1,4	1,1	3,0	1,2
Кортни	1,6	1,3	4,9	1,0
Зумба	1,1	0,9	2,4	4,6
Самба	3,4	2,2	1,3	1,6
Регги	2,5	1,2	3,1	4,6
Сальса	2,0	3,8	3,1	1,9
Горшки / рассадные кассеты				
Гулливер (St)	1,7	4,6	3,0	0,5
Метеор	1,1	1,4	2,6	1,8
Кортни	0,5	1,1	4,8	0,9
Зумба	0,7	1,1	3,1	1,8
Самба	1,0	1,3	1,5	2,2
Регги	1,4	1,7	2,5	3,4
Сальса	1,9	2,6	1,4	1,0
Грядки / пробирки				
Гулливер (St)	2,2	2,4	1,0	1,2
Метеор	0,3	0,7	2,0	2,1
Кортни	0,4	0,2	4,2	0,9
Зумба	0,3	0,5	3,4	2,0
Самба	1,4	2,4	1,9	3,6
Регги	2,1	0,8	1,0	2,9
Сальса	0,4	1,3	3,1	2,4
Грядки / рассадные кассеты				
Гулливер (St)	2,8	1,6	0,8	1,0
Метеор	1,4	1,0	2,2	1,9
Кортни	1,0	0,4	4,8	0,7
Зумба	0,6	0,9	5,1	1,2
Самба	0,9	0,8	1,9	2,4
Регги	1,9	1,6	0,9	2,2
Сальса	1,4	1,1	3,0	1,8

Не только масса посадочного клубня оказывает влияние на будущий урожай. Немаловажное значение имеет выравненность клубней, которая определяется наибольшим поперечным диаметром. Выращивание растений сорта Гулливер на грядках приводит к увеличению доли клубней с наибольшим поперечным диаметром менее 25 мм до 32,4 и 45,2% при высадке непосредственно из пробирок и дорожных растений в рассадных кассетах микрорастений соот-

ветственно (табл. 3). Наиболее выравненные по размеру клубни формируются при высадке рассады в горшки – 77,5% мини-клубней по наибольшему поперечному диаметру имели размер 25–35 мм.

Основная доля клубней сорта Кортни – 55,7–73,7% – в наибольшем поперечном диаметре имела размеры 30–35 мм в зависимости от варианта. Однако высадка рассады в горшки и выращивание пробирочных растений на грядках на 61,5–62% снижает



выход мелких клубней диаметром менее 25 мм. Аналогичная закономерность наблюдалась на сортах Зумба и Метеор.

При высадке растений сорта Сальса на грядки увеличивается поперечный диаметр клубней. При этом существенных различий между вариантами с предварительным доращиванием растений в рассадных кассетах и высадкой растений непосредственно из пробирок не наблюдается. Растения сорта Регги формируют невыравненные клубни независимо от варианта. Так доля клубней диаметром более 35 мм при высадке пробирочных растений достигает 40,4–42,6%, от 21,9 до 30,9% клубней при этом по наибольшему поперечному диаметру имеют размеры менее 25 мм. Меньше всего клубней фракции менее 25 мм – 15,6% растения сорта Регги формируют при высадке рассады на грядки. При высадке растений сорта Самба по традиционной технологии формируется большое количество клубней с наибольшим поперечным диаметром менее 25 мм – 40,0% от общего числа клубней. Наиболее выравненные клубни формируются при высадке микрорастений по грядовой технологии – 59,1–71,7% клубней в поперечном диаметре превышали 30 мм.

Получения наиболее выравненных клубней сортов Гулливер и Регги можно добиться путем высадки в горшки предварительно дорощенных микрорастений. Для растений сортов Метеор, Кортни, Зумба и Сальса наиболее оптимальной оказалась грядовая технология с высадкой растений непосредственно из пробирок – такой прием обеспечивает получение выравненных по размеру клубней и способствует уменьшению числа мелких клубней с наибольшим поперечным диаметром менее 25 мм до 4,8–7,0% в зависимости от сорта. Высадка на грядки рассады микрорастений сорта Самба позволяет получить наиболее выравненные клубни.

### Заключение

Выбор технологии производства мини-клубней картофеля зависит от особенностей конкретного сорта. Растения сорта Гулливер больше всего клубней, 10,9 шт., формируют при высадке растений по стандартной технологии из пробирок в горшки, однако более выравненные клубни формируются при получении рассады – при этом число клубней с растения уменьшается на 10,1%. Аналогичная закономерность наблюдается по сорту Регги – доращивание растений в рассадных кассетах обеспечивает полу-

чение более выравненных клубней, однако общее число клубней с растения при этом снижается на 21,1% по сравнению со стандартной технологией. Грядовая технология позволяет получить наиболее выравненные по размеру мини-клубни сортов Метеор, Зумба, Сальса и Кортни. Однако наибольшего числа клубней с растения у этих сортов можно добиться высадкой растений по стандартной технологии. Прибавка в количестве клубней при этом достигается преимущественно за счет увеличения доли мелких клубней с наибольшим поперечным диаметром менее 25 мм, не представляющих особого интереса для хозяйств, специализирующихся на семеноводстве картофеля. Высадка пробирочных растений сорта Самба по грядовой технологии позволяет получить наибольшее число клубней, выравненных по наибольшему поперечному диаметру – 9,3 шт., что на 9,4% больше, чем в варианте с высадкой растений по стандартной технологии.

### Список литературы

1. Филиппова С.В., Елисеева Л.В., Исаев О.Н., Иванова Т.Ю., Елисеев И.П., Шашкаров Л.Г., Малов Н.П. Влияние способа посадки микрорастений на выход мини-клубней картофеля // Перспективы развития аграрных наук: материалы Международной научно-практической конференции: тезисы докладов. 2020. С. 45–46.
2. Старовойтов В.И., Старовойтова О.А. Инновационные грядовые технологии и технические средства для возделывания картофеля и топинамбура // Земледелие. 2015. № 7. С. 40–42.
3. Ahloowalia B.S. Production and performance of potato mini-tubers. *Euphytica*. 1994. Vol. 75 (3). P. 163–172. DOI: 10.1007/BF00025600.
4. Машенко М.Н., Браткова Л.Г. Совершенствование технологических приемов выращивания оздоровленного материала картофеля в закрытом грунте // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 7. С. 58–60.
5. Корнацкий С.А. Технологическая альтернатива в первичном семеноводстве картофеля // Картофель и овощи. 2015. № 12. С. 24–26.
6. Власевский Д.Н., Власевская Е.А. Эффективность адаптации микрорастений картофеля при производстве мини-клубней в условиях защищенного грунта // Бюллетень науки и практики. 2018. № 11. Т. 4. С. 154–158.
7. Красноперова В.В., Власевская Е.А. Получение высоких приростов семенных клубней картофеля путем адаптации микрорастений // Научный журнал. 2016. № 10 (11). С. 26–28.
8. Власевский Д.Н., Красноперова В.В. Влияние различных агроприемов на получение мини-клубней картофеля // Владимирский земледелец. 2015. № 3–4 (73–74). С. 28–29.
9. Свист В.Н. Агротехнические приемы выращивания оздоровленного семенного картофеля в юго-западной части Центрального региона России: автореф. дис. ... канд. сельхоз. наук. Брянск, 2004. 24 с.
10. Назарова В.Ф. Оптимизация элементов технологии семеноводства картофеля на основе микрочлонального размножения посадочного материала: автореф. дис. ... канд. сельхоз. наук. Москва, 2011. 20 с.

УДК 632.08:633.11

## ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА УВЛАЖНЕННЫХ ЗЕРЕН ПШЕНИЦЫ

<sup>1</sup>Чжан А.В., <sup>2</sup>Дрокин Н.А., <sup>3</sup>Ничкова Н.М., <sup>3</sup>Мороз Ж.М.

<sup>1</sup>Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск;

<sup>2</sup>Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск;

<sup>3</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения,

Красноярский институт железнодорожного транспорта, Красноярск, e-mail: avchz@mail.ru

Целью работы является определение особенностей спектральных характеристик электрического импеданса зерен пшеницы. Исследованы электрофизические свойства цельных спрессованных, а также размолотых образцов зёрен пшеницы с различной влажностью в диапазоне частот от 1 Гц до 100 МГц. Исходная партия зерен предварительно высушивалась в нагревательном шкафу при температуре 60 °С и затем насыщалась влагой в паровой бане при той же температуре. Влажность оценивалась по разнице веса между исходным и подвергнутым воздействию образцами (сушке или увлажнению). Исследовались образцы двух типов, отличающихся способом подготовки и структурой. Образцы первого типа состояли из цельных зерен, которые помещались в пресс-форму и подвергались всестороннему сжатию небольшим давлением, что исключало наличие воздушных промежутков между зёрнами. В образцах второго типа зерна предварительно размалывались в ступе и затем в виде порошка помещались в измерительную ячейку. Измерительная ячейка с образцом при комнатной температуре подключалась к анализаторам спектров Elins 1500J и Agilent E5061B, которые позволяют получать частотные зависимости импеданса и фазы. Согласно полученным данным, область низких частот (до 10 кГц) характеризуется преобладающим влиянием активной составляющей полного сопротивления, в то время как выше этой частоты преобладает реактивная часть. Выявлены процессы накопления электрических зарядов у поверхности металлических электродов, которые экранируют внешнее электрическое поле и приводят к аномальному увеличению диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь в области низких частот. Полученные спектры сопоставлялись со спектрами наиболее подходящих эквивалентных электрических схем, радиотехнические компоненты которых помогают понять основные механизмы прохождения переменного электрического тока через неоднородную структуру зерна.

**Ключевые слова:** биологические ткани, зерно, пшеница, импеданс, проводимость, диэлектрическая проницаемость

## FEATURES OF THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE ELECTRICAL IMPEDANCE OF WETTED WHEAT GRAINS

<sup>1</sup>Chzhan A.V., <sup>2</sup>Drokin N.A., <sup>3</sup>Nichkova N.M., <sup>3</sup>Moroz Zh.M.

<sup>1</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk;

<sup>2</sup>Institute of Physics, Russian Academy of Sciences, L.V. Kirensky SB RAS, Krasnoyarsk;

<sup>3</sup>Irkutsk State Transport University, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Krasnoyarsk,  
e-mail: avchz@mail.ru

The aim of this work is to determine the features of the spectral characteristics of the electrical impedance of wheat grains. The electrophysical properties of whole pressed and ground samples of wheat grains with different moisture content in the frequency range from 1 Hz to 100 MHz have been studied. The initial batch of grains was preliminarily dried in a heating cabinet at a temperature of 60°C and then saturated with moisture in a steam bath at the same temperature. Moisture was estimated from the difference in weight between the original and exposed samples (drying or wetting). Samples of two types were studied, differing in the method of preparation and structure. Samples of the first type consisted of whole grains, which were placed in a mold and subjected to all-round compression by a small pressure, which excluded the presence of air gaps between the grains. In samples of the second type, the grains were preliminarily ground in a mortar and then placed in the form of a powder into a measuring cell. The measuring cell with the sample at room temperature was connected to the Elins 1500J and Agilent E5061B spectrum analyzers, which make it possible to obtain the frequency dependences of the impedance and phase. According to the data obtained, the low-frequency region (up to 10 kHz) is characterized by the predominant influence of the active component of the impedance, while above this frequency, the reactive part predominates. The processes of accumulation of electric charges near the surface of metal electrodes, which shield the external electric field and lead to an anomalous increase in the permittivity and loss tangent in the low-frequency region are revealed. The obtained spectra were compared with the spectra of the most suitable equivalent electrical circuits, the radio engineering components of which help to understand the main mechanisms of the passage of an alternating electric current through a heterogeneous grain structure.

**Keywords:** biological tissues, grain, wheat, impedance, conductivity, dielectric constant

Вопросы контроля качества зерна всегда остаются актуальными, так как зерновые культуры и, в частности, пшеница, являются одной из важных составляющих питания человека.

В настоящей работе представлены результаты исследования электрических характеристик увлажнённых зёрен пшеницы методом импедансной спектроскопии (ИС)

или регистрации комплексного электрического сопротивления в диапазоне частот от 1 Гц до 100 МГц. Этот метод к настоящему времени находит широкое применение для изучения процессов и свойств различных материалов в фундаментальных и прикладных исследованиях. Это особенно заметно в таких областях, как биология и медицина, что связано с тем, что целостность плазматических мембран популяции, объем клеток, внутриклеточная и внеклеточная проводимость влияют на спектр импеданса. Биологические организмы и составляющие их органы, ткани и клетки обладают уникальными свойствами электрического сопротивления, что, в частности, позволяет дифференцировать нормальные и злокачественные ткани в различных органах, указывать на начало и прогрессирование болезненных состояний. Измерения импеданса используются для определения состава и индекса массы тела человека [1], при мониторинге функции легких и сердца для оценки состояния тканей животных.

Применения ИС в области растительных культур не так заметны, и к настоящему времени имеются только предварительные сведения об использовании ИС для анализа отдельных видов растений [2–4]. Здесь можно выделить несколько причин, которые препятствуют широкому применению метода для контроля качества сельхозпродуктов.

Во-первых, в этой области, как отмечалось выше, традиционно применяются методики, основанные на измерении ДП. Такие методы хорошо отработаны теоретически и практически, и к настоящему времени установлены частотные характеристики  $\epsilon$  для основных сельскохозяйственных культур [5–8] (вплоть до десятков ГГц).

Во-вторых, в силу того, что в импедансной методике требуется определение нескольких физических параметров, такая методика более требовательна к аппаратному обеспечению по сравнению диэлектрической, хотя эти методы во многом схожи. В диэлектрическом методе измерения обычно производятся в высокочастотной области (от 100 МГц до 10 ГГц), в то время как импедансные измерения могут производиться при более низких частотах (вплоть до единиц Гц). К настоящему времени ограничения, связанные с приборной частью, во многом сняты, что связано с появлением высокочувствительных анализаторов импеданса, работающих в широкой области ча-

стот. Так как частотная область, в которой проявляется релаксация, связанная с поглощением клеточными структурами, составляет приблизительно 100 Гц – 10 МГц [3], то использование метода ИС для исследований растительных тканей является очень привлекательным.

Сущность метода ИС состоит в подаче возмущающего синусоидального сигнала малой амплитуды на исследуемую систему и изучении вызванного им сигнала-отклика на выходе. Если в качестве воздействующего сигнала на входе использовать напряжение  $V(t) = V_0 \cdot \sin(\omega t)$  накладываемое на систему, а сигнал на выходе фиксировать как ток  $I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi)$  протекающий через систему, где  $V_0$  и  $I_0$  – амплитуды напряжения и тока,  $\omega = 2\pi f$  – круговая частота,  $\varphi$  – фазовый сдвиг, тогда импеданс  $Z^*(\omega)$  определяется соотношением

$$Z^*(\omega) = V(\omega) / I(\omega). \quad (1)$$

Обычным средством отображения частотных свойств импеданса могут служить дисперсионная зависимость полного сопротивления  $|Z|$  и угла фазового сдвига от частоты  $\omega$ . Несомненным достоинством метода ИС является возможность выделения сигналов, связанных как с реактивной, так и активной составляющими импеданса, что позволяет получить дополнительную информацию об электрических процессах в материалах самой разной природы.

Целью исследования является определение особенностей спектральных характеристик электрического импеданса зерен пшеницы.

#### Материалы и методы исследования

В качестве объектов для исследований использовались зёрна, насыщенные влагой. Цельные зерна помещались в пресс-форму и подвергались всестороннему сжатию небольшим давлением, что исключало наличие воздушных промежутков между зёрнами. Насыщение влагой производилось в паровой бане при температуре 60 °С. Кроме таких образцов исследовались образцы в виде порошка из размолотых в ступе зерен, которые насыщались влагой и помещались в измерительную ячейку.

Серьёзной проблемой при измерениях импеданса является выбор подходящего материала для электродов измерительной ячейки. Электроды должны обеспечивать надёжный контакт с образцом и обладать минимальным переходным сопротивлени-

ем. В данном эксперименте использовались электроды из тонкой алюминиевой фольги или тонко раскатанного индия, которые прижимались к прессованному образцу зерна с помощью миниатюрной струбицы. Предварительные испытания этих контактов показали практически одинаковые частотные зависимости импеданса исследованных образцов.

Измерительная ячейка с образцом при комнатной температуре подключалась к анализаторам спектров Elinx 1500J и Agilent E5061B, которые позволяют получать частотные зависимости импеданса и фазы в диапазоне от 1 Гц до 100 МГц. Относительная погрешность измерений импеданса находилась в пределах 3–5%. Все измерения производились при комнатной температуре.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Как показано на рис. 1, в частотном изменении комплексного сопротивления увлажненных спрессованных зерен можно выделить две области, отличающиеся временами релаксации. Наблюдаемый излом Log Z на частоте выше  $f_0$ , значение которой составляет 10–15 кГц, указывает на различный характер проводимости соответственно ниже и выше этой частоты. Изменение комплексного сопротивления в низкочастотной и высокочастотной областях спектра Log Z на рис. 1 обозначено пунктирами.

Значения фазового угла  $\phi$  при самых низких частотах лежат в пределах 30–35°.

Это означает, что в низкочастотной области имеет место как активная, так и реактивная часть импеданса. Здесь имеет место как сквозной электрический ток, так и токи смещения.

С повышением частоты в комплексном сопротивлении преобладает реактивная составляющая, на это указывает значение фазы выходного сигнала, которая с повышением частоты превышает 45°. При этом модуль импеданса  $|Z|$  достигает величины  $10^8$  Ом на низких частотах и с ростом частоты до 100 МГц снижается до  $10^2$  Ом. Как следует из рис. 1, с повышением частоты выше  $f_0$  значение фазового угла увеличивается и стремится к -90° при  $f > 100$  МГц.

В эквивалентной RC-цепи, которая составлена из параллельно включенных активного сопротивления и емкости, при понижении частоты фазовый угол должен стремиться к нулю при уменьшении частоты до нуля (кривая фазового сдвига эквивалентной цепи показаны на рисунке 1 штриховыми линиями). Наблюдаемое отличие истинного изменения фазы и эквивалентной цепи указывает на то, что даже на очень низких частотах во влажных зернах присутствует значительная емкостная проводимость. Это означает, что во влажном зерне под действием электрического поля возникают процессы, которые приводят к скоплению зарядов вблизи поверхности электродов или в объеме материала и образованию двойного электрического слоя [9].

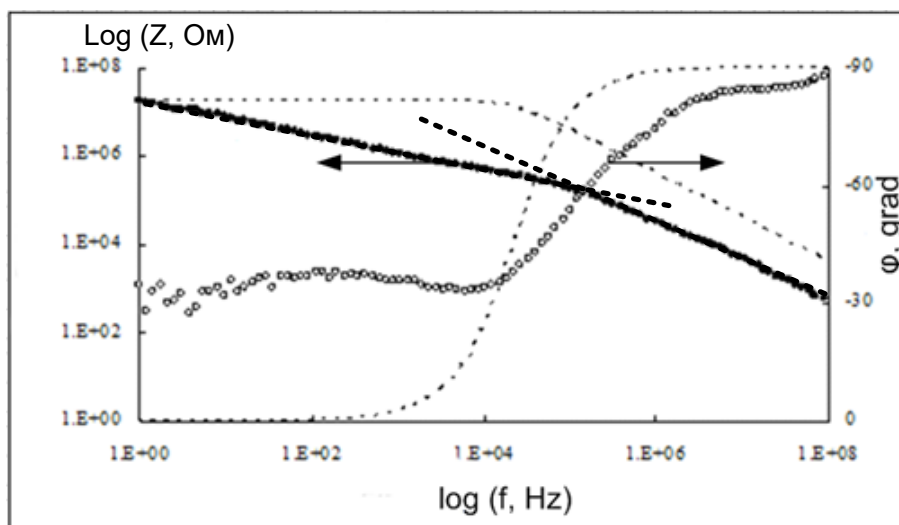


Рис. 1. Частотная зависимость логарифма модуля импеданса Z и фазы  $\phi$  спрессованных увлажненных зерен. Пунктир – расчётные кривые импеданса и фазы эквивалентной параллельной RC-цепи с  $C = 6 \cdot 10^{-13}$  и  $R = 1.8 \cdot 10^7$  Ом

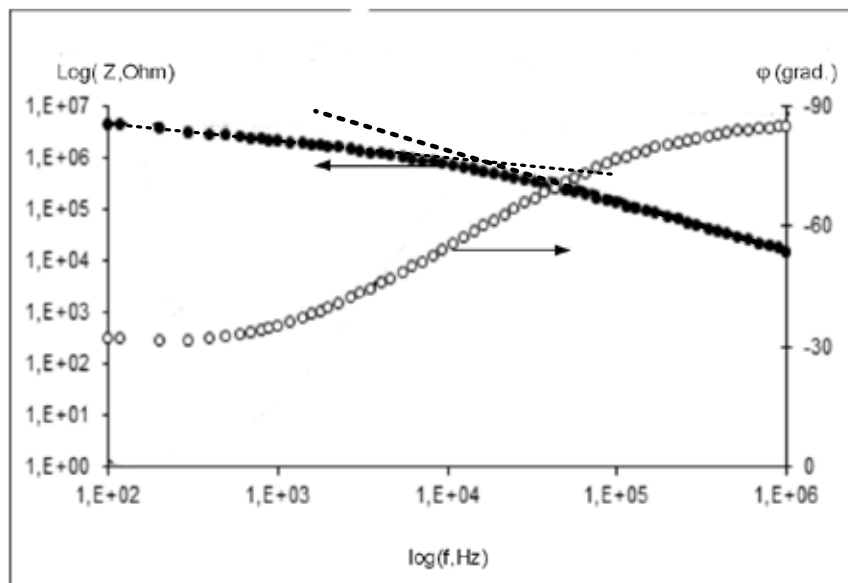


Рис. 2. Частотная зависимость модуля импеданса  $Z$  и фазы  $\phi$  увлажненных размолотых зерен

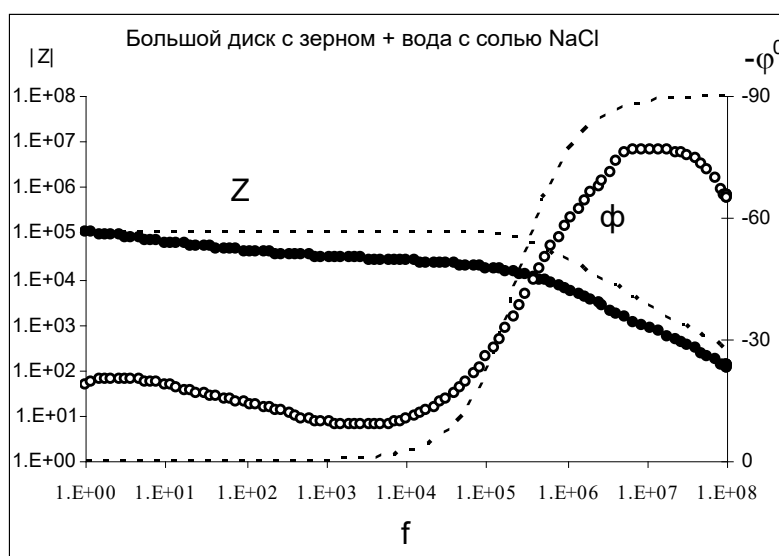


Рис. 3. Частотная зависимость модуля импеданса  $Z$  (1) и фазы  $\phi$  (2) замоченного в воде зерна с добавлением соли

Во многом повторяющиеся особенности в частотных зависимостях импеданса и фазы наблюдаются в размолотых зернах, которые не подвергались прессованию. Как следует из рис. 2, в частотной зависимости импеданса таких образцов также можно выделить две области, которые отличаются характером проводимости, так же как в спрессованных зернах. Это свидетельствует о том, что изменения импедансных величин увлажненных зерен в основном

связаны с внутренней структурой зерна, а изменения на границах между зернами, связанные с подготовкой образцов, не оказывают на импедансные характеристики значительного влияния.

В работе были также измерены увлажнённые зёрна пшеницы с добавлением в воду небольшого количества обычной поваренной соли (~0,1% по весу), которая имитировала засоленную почву при выращивании зерна. На рис. 3 приведены частот-

ные зависимости импеданса и угол сдвига фазы между током и напряжением для этого образца.

Как видно, в общих чертах частотная зависимость импеданса лишь в деталях отличается от вымоченного зерна в чистой воде. В частности, в этом образце довольно сильно уменьшается величина импеданса в области низких частот, а на высокой частоте фазовый угол ( $\varphi$ ) не достигает  $-90^\circ$ . Это может быть обусловлено релаксационными процессами из-за запаздывания поляризации зерна при быстром изменении направления электрического поля.

Из приведенных частотных зависимостей модуля импеданса и фазы увлажненных зерен можно сделать вывод, что представление данных объектов с помощью эквивалентных схем из проводящих и емкостных элементов допустимо лишь в некотором приближении. Биологические тела можно рассматривать как электрические цепи, состоящие из ряда пространственно распределенных элементов, обладающих проводниковыми и диэлектрическими свойствами. Но, в отличие от твердых проводников, электрическая проводимость в биологических тканях в основном осуществляется за счет движения ионов в водной среде, ограниченной биологическими тканями. Поэтому при протекании переменного тока электропроводность будет зависеть не только от активной составляющей, но реактивной, которая, в свою очередь, будет зависеть от структуры биоткани, которая включает в себя интерфейс, ограничивающий клетку от внеклеточной жидкости, а также сложную внутриклеточную структуру. Все это обуславливает специфические диэлектрические и импедансные свойства биологических тел. Согласно имеющимся данным [1, 3], в биологических объектах как растительного, так и животного происхождения проводимость на низких частотах в основном осуществляется по внеклеточной области, на высоких частотах ток течет преимущественно через клетку. Это объясняет излом частотной зависимости модуля импеданса увлажненных зерен, его наличие может быть связано с указанными особенностями протекания переменного электрического тока по внутриклеточной и внеклеточной областям.

В заключение отметим, что метод ИС дает дополнительные возможности для вы-

яснения протекающих электрических процессов в зернах, что может быть использовано для контроля качества таких объектов.

### Выводы

1. Установлено, что в диапазоне частот от 1 Гц до 100 МГц в дисперсионной зависимости комплексного электрического сопротивления и тангенса угла потерь увлажненных зерен пшеницы имеются две релаксационные области, которые отличаются преобладающим вкладом активной и реактивной частей в комплексное сопротивление в низкочастотной и высокочастотной областях спектра.

2. Установлены процессы накопления электрических зарядов у поверхности металлических электродов, которые экранируют внешнее электрическое поле с образованием двойного электрического слоя.

3. Произведено сопоставление полученных спектров импеданса со спектрами наиболее подходящих эквивалентных электрических схем, радиотехнические компоненты которых помогают понять основные механизмы прохождения переменного электрического тока через сложную неоднородную структуру зерна.

### Список литературы

1. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека. М.: Наука, 2009. 392 с.
2. Голев И.М., Лесникова Э.П., Бобкина Е.Ю. Исследование плодоовощной продукции методом импедансной спектроскопии // Хранение и переработка сельхозсырья. 2013. № 12. С. 31–34.
3. Yasumasa Ando, Koichi Mizutani, Naoto Wakatsuki. Electrical impedance analysis of potato tissues during drying. *Journal of Food Engineering*. 2014. V. 121. P. 24–31.
4. Гираев М.А. Частотный спектр импеданса биотканей растительного происхождения // Вестник Дагестанского государственного университета. 2015. Т. 30. № 6. С. 50–55.
5. David B Funk, Zoltan Gillay, Peter Meszaros. Unified moisture algorithm for improved RF dielectric grain moisture measurement. *Measurement Science and Technology*. 2007. Vol. 18. No. 4. P.1004–1015. DOI: 10.1088/0957-0233/18/4/007.
6. Nelson S.O., Trabelsi S. Use of material dielectric properties for agricultural applications. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*. 2016. Vol. 50 (4). P. 237–268. DOI: 10.1080/08327823.2016.1247235.
7. Stuart O. Nelson. Dielectric Properties of Agricultural Materials and their Applications. Chapter 11 Dielectric Properties of Selected Food Materials // Academic Press. 2015. P. 147–165.
8. Richard Torrealba-Meléndez, María Elena Sosa-Morales, José Luis Olvera-Cervantes, Alonso Corona-Chávez. Dielectric properties of cereals at frequencies useful for processes with microwave heating. *Journal of Food Science and Technology*. 2015. No. 52 (12). P. 8403–8409.
9. Салем Р.Р. Теория двойного слоя. М.: Физматлит, 2003. 104 с.

СТАТЬИ

УДК 913:504.062(470.25)(470.26)

**ДИНАМИКА ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ  
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ  
(НА ПРИМЕРЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ И ПСКОВСКОЙ ОБЛАСТЕЙ)**

**Виноградова О.Л.**

*ФГБУК «Музей Мирового океана», Калининград, e-mail: OLVinogr69@mail.ru*

Разработка принципов построения рациональных систем природопользования в целях долгосрочного устойчивого развития регионов должна опираться на понимание закономерностей развития природопользования в разных природных, исторических и экономических условиях. В статье рассмотрены результаты изучения динамики территориальной структуры систем природопользования Псковской и Калининградской областей в период с 1939–1940 гг. по 2016–2019 гг. Проведен сопряженный анализ изменения пространственного рисунка функциональных видов природопользования и политических и социально-экономических условий, их обуславливающих. На основе изучения статистических данных, картографических материалов, результатов дешифровки аэрофотоснимков и экспедиционных исследований составлены серии карт территориальной структуры функциональных видов природопользования на каждый из исторических срезов. Пространственно-структурный анализ показал, что основными тенденциями развития систем природопользования обеих областей стали усложнение и диверсификация их территориальной структуры: 1) снижение роли и масштабов аграрного и лесохозяйственного природопользования; 2) появление новых фоновых и крупноареальных видов – оборонного и природоохранного; 3) произошло перемещение ареалов лесохозяйственного использования земель в Псковской области, в Калининградской области – смена его специализации от промышленной лесозаготовки к рубкам ухода и лесовосстановлению; 4) снижение плотности селитебного и транспортного использования земель в отдельных ареалах; 5) появление новых видов использования земель – природоохранного, рекреационного, ветроэнергетического. Произошла поляризация территорий регионов по степени интенсивности их хозяйственного использования – от агломераций региональных центров до окраинных зон с восстанавливающимися и природными ландшафтами с отдельными ареалами горнодобывающего и лесохозяйственного природопользования.

**Ключевые слова:** региональная система природопользования, территориальная структура, Псковская область, Калининградская область

**DYNAMICS OF THE TERRITORIAL STRUCTURE OF NATURAL USE  
(ON THE EXAMPLE OF KALININGRAD AND PSKOV REGIONS)**

**Vinogradova O.L.**

*Museum of the World Ocean, Kaliningrad, e-mail: OLVinogr69@mail.ru*

The development of principles for building rational environmental management systems for the long-term sustainable development of regions should be based on an understanding of the patterns of development of environmental management in different natural, historical and economic conditions. The article considers the results of studying the dynamics of the territorial structure of environmental management systems in the Pskov and Kaliningrad regions in the period from 1939-40 to 2016-19. Conducted a coupled analysis of changes in the spatial pattern of functional types of nature management and political and socio-economic conditions that cause them. Based on the study of statistical data, cartographic materials and the results of decoding aerial photographs, expeditionary research, a series of maps of the territorial structure of functional types of nature management for each of the historical sections were compiled. The spatial-structural analysis showed that the main tendencies in the development of environmental management systems in both regions were the complication and diversification of their territorial structure: 1) a decrease in the role and scale of agrarian and forestry environmental management; 2) new background and large-area species appeared – defense and nature conservation; 3) there was a shift in the areas of forestry land use in the Pskov region, in the Kaliningrad region – a change in its specialization from industrial logging to thinning and reforestation; 4) a decrease in the density of residential and transport land use in certain areas; 5) the emergence of new types of land use – environmental, recreational, wind energy. There was a polarization of the territories of the regions according to the degree of intensity of their economic use – from the agglomerations of regional centers to the marginal zones with regenerating and natural landscapes with separate areas of mining and forestry nature management.

**Keywords:** regional environmental management system, territorial structure, Pskov region, Kaliningrad region

Одна из основных задач современной географии – выработка принципов строительства сбалансированных региональных систем природопользования, обеспечивающих как долгосрочные интересы общества, так и учитывающих экологические приоритеты в устойчивом развитии территорий.

Принципы классификации и анализа пространственной структуры природопользования разработаны в трудах Т.Г. Руновой, Т.Г. Нефедовой и И.Н. Волковой [1], А.В. Евсеева и др. [2], П.Я. Бакланова [3] и др. Основные направления, периодизация и факторы динамики территориальной структу-

ры природопользования на региональном уровне, методы исследования и мониторинга рассмотрены в работах Т.М. Красовской и М.В. Слипечук [4], J. van Vliet и др. [5], T. Kuemerle и др. [6], C. Munteanu и др. [7], S. Horion и др. [8], P. Sleszynski, J. Solon [9] и др.

Цель исследования – анализ основных направлений трансформации территориальной структуры региональных систем природопользования Псковской и Калининградской областей, а также апробация подходов к картированию ареалов с различными типами динамики.

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

Региональная система природопользования – пространственно и функционально связанный комплекс видов природопользования разной интенсивности в конкретных территориальных границах на определенном историческом этапе. Ее структура представляет собой совокупность функциональных, этнокультурных видов и пространственных типов природопользования в рамках определенных исторических типов.

*Территориальную* структуру природопользования можно охарактеризовать как совокупность функциональных видов природопользования, выраженных в пределах конкретных территорий в виде комплекса пространственных элементов – ареалов, узлов и линейных элементов.

Псковская и Калининградская области обладают рядом сходных природных характеристик и черт истории хозяйственного освоения. Оба региона относятся к Нечерноземной зоне России, прошли через Первую и Вторую Мировые войны, годы послевоенной разрухи, подъем экономики 1970-х гг., политический и экономический кризис 1990-х гг., восстановление экономики, стартовавшее в начале 2010-х гг. В то же время существуют значительные различия: размеры территории, время перехода к командной экономике, степень хозяйственной освоенности к началу исследуемого периода, эксклавное положение Калининградской области с начала 1990-х гг. Для анализа динамики территориальной структуры природопользования были выбраны два исторических среза: 1939–1940 гг. и 2016–2019 гг. Период между двумя историческими срезами охватывает наиболее драматичные события в перестройке функциональной и территориальной структуры природопользования регионов.

Для изучения территориальной структуры были использованы статистические данные, картографические материалы [10–14], экспедиционные исследования землепользования исследуемых областей.

Анализ динамики территориальной структуры региональных систем природопользования Калининградской и Псковской областей включает следующие этапы:

- анализ изменений функциональной структуры природопользования за исследуемый период;
- создание карт территориальной структуры функциональных видов природопользования на исторические срезы;
- создание синтетической карты динамики территориальной структуры природопользования методом послойного наложения карт динамики отдельных видов с выделением ареалов с различными процессами динамики видов природопользования: ареалы с изменяющейся плотностью поселений, ареалы снижения или сохранения площади сельскохозяйственных угодий, ареалы исчезнувших или новых видов природопользования;
- анализ изменения пространственных типов отдельных функциональных видов природопользования.

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

В результате разнонаправленных процессов различной интенсивности формировались региональные системы Псковской и Калининградской областей. За последние 75–80 лет в обеих областях произошли события, повлиявшие на природопользование:

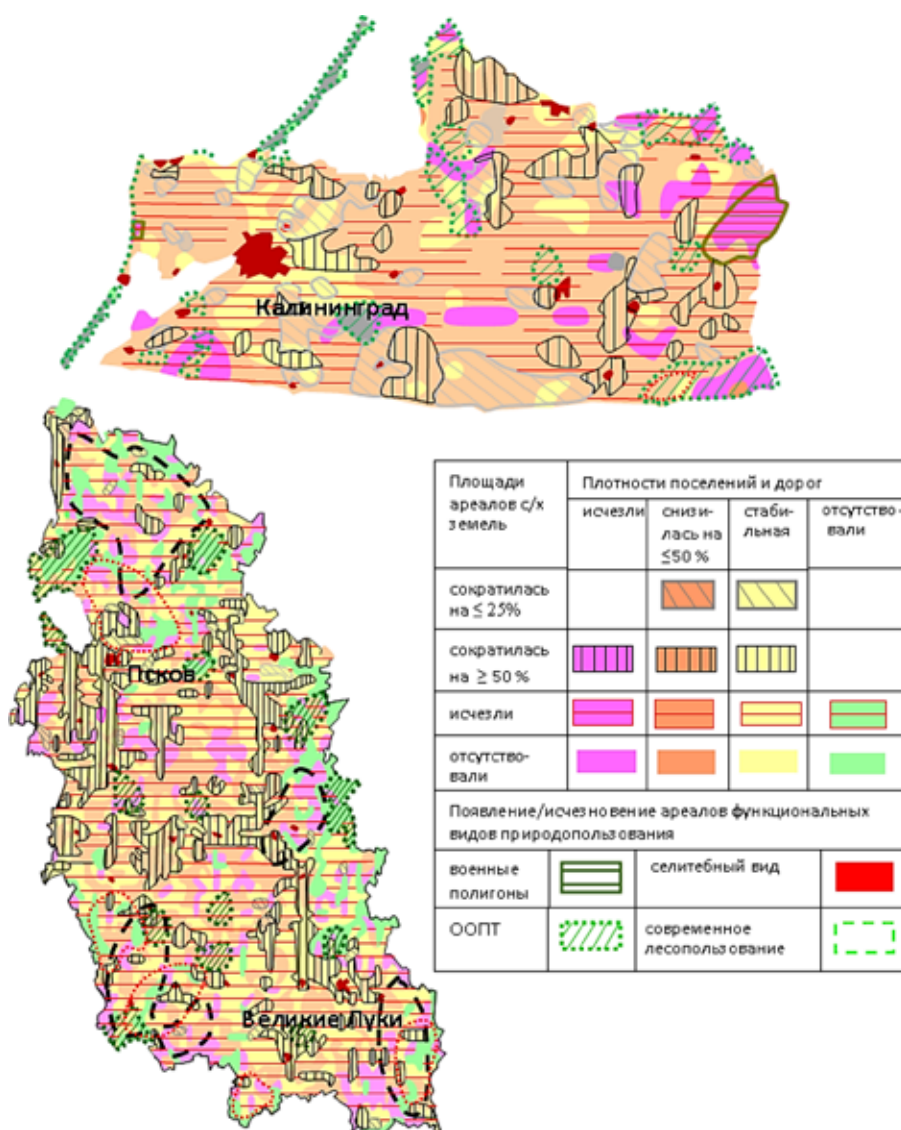
- экономический кризис и разрушение систем природопользования с 1941 по 1954–1955 гг. в Псковской области, в Калининградской области спад наступил в 1945 г.;
- экономический подъем до 1975–1980 гг.;
- медленный спад до начала 1990-х гг.;
- кризис начала 1990-х гг.;
- восстановление и подъем экономики начались с 2010–2011 гг.

Влияние комплекса факторов (изменение политических условий и социально-экономической ситуации, развитие технологий, представлений о необходимости сохранения природных комплексов) вызвало изменение масштабов и структуры природопользования Калининградской и Псковской областей на рассматриваемые исторические срезы (таблица, рисунок).



Территориальная структура региональных систем природопользования  
Псковской и Калининградской областей

Функциональные виды природопользования	Псковская область		Калининградская область	
	Исторические срезы, годы			
	1939–1940	2016–2019	1939–1940	2016–2019
аграрный	среднеочаговый	мелкоочаговый	фоновый	среднеочаговый
селитебный	среднеочаговый, дисперсный		среднеочаговый	среднеочаговый, дисперсный, линейный
транспортный	линейный		линейный	
лесохозяйственный	мелкоочаговый		мелкоочаговый	дисперсный
водохозяйственный	дисперсный		линейный, крупноочаговый	
горнодобывающий	мелкоочаговый		мелкоочаговый	дисперсный
природоохранный	–	среднеочаговый	мелкоочаговый	среднеочаговый
оборонный	дисперсный	среднеочаговый	дисперсный	среднеочаговый
рекреационный	–	дисперсный	дисперсный	линейный



Динамика территориальной структуры систем природопользования:  
А – Псковской области с 1940 по 2016–2019 гг.; Б – Калининградской области с 1939 по 2016–2019 гг.

В результате реформ *сельского расселения* 1960–1970 гг. в обеих областях резко сократилось (в Калининградской области в два раза) количество мелких населенных пунктов и фольварков. Произошло расширение ареалов с пониженной плотностью сельских населенных пунктов и сети дорог. В Псковской области такие ареалы расположены, прежде всего, в отдаленных и труднодоступных зонах – за болотными массивами, в задровых ландшафтах и т.д. В Калининградской области такие ареалы появились в 1960-х гг. в южной приграничной полосе. За исследуемый период выросла площадь Пскова, Великих Лук, особенно Калининграда и пригородных поселков. Соответственно, *агломерации* этих городов представляет собой среднеочаговый тип, сельские населенные пункты – дисперсный, в Калининградской области приморские поселения образовали практически сплошной «морской фасад».

*Рекреационный* вид природопользования в Калининградской области приурочен в основном к приморской зоне, за 80-летний период перешел из дисперсного к линейному типу. В Псковской области *рекреационные* объекты (санатории, детские лагеря отдыха, пансионаты) возникли в 1960-е гг., они сохраняют дисперсный характер распространения.

Массивы *дачных* участков, большая часть которых появилась в начале 1990-х гг., в настоящее время мало отличаются от селитебных земель. В Псковской области они приурочены к пригородным зонам Пскова, Великих Лук, расположены в Гдовском районе (наиболее близком к Ленинградской области), в Калининградской – концентрируются вблизи Калининграда и дополняют приморскую зону расселения. В обеих областях этот вид земель образует среднеочаговые ареалы.

*Транспортный* вид природопользования образует линейный пространственный тип, но плотность транспортной сети в Калининградской области в среднем выше в 1,5 раза и распределение более равномерное, чем в Псковской, что обусловлено природными условиями. За исследуемый период плотность дорог снизилась в обоих регионах из-за уменьшения численности сельских населенных пунктов, были демонтированы узкоколейные железнодорожные ветки. В обеих областях в последние десятилетия были построены новые участки автомобильных трасс.

*Аграрный* вид использования земель в силу природных условий в Псковской области составлял среднеочаговый тип, в результате программы укрупнения сельскохозяйственных угодий 1960-х гг., спада экономики с середины 1970-х гг. и глубокого экономического кризиса 1990-х гг. площадь их снизилась, а этот вид перешел в разряд мелкоочагового типа. В Калининградской области на начало исследуемого периода сельскохозяйственные земли являлись фоновым типом для остальных видов природопользования, к 2016–2019 гг. перешел в среднеочаговый тип. Процессы общего сокращения площади сельскохозяйственных земель соответствуют тенденциям развития природопользования в странах Восточной Европы [8].

*Горнодобывающий* вид природопользования в Псковской области сохраняет характер мелкоочагового (добыча торфа), в Калининградской – перешел в дисперсный в связи с прекращением добычи торфа на большинстве месторождений, сохраняется карьерная добыча янтаря и строительных материалов.

*Лесохозяйственный* вид природопользования в силу своих технологических особенностей (постоянное перемещение вырубок) в Псковской области составлял мелкоочаговый тип. В Псковской области основные ареалы вырубок переместились в южные районы. В Калининградской области вырубки осуществлялись в коммерческих лесопосадках в основном на Виштынецкой возвышенности и Шешупской равнине и в начале исследуемого периода ареалы вырубок и лесопосадок представляли мелкоочаговый тип, а с прекращением в 1980-е гг. промышленной лесозаготовки – дисперсный тип. Переход лесного хозяйства в Калининградской области от промышленной лесозаготовки к средовосстанавливающему виду идентичен процессам в европейских странах [7].

К 1939 г. в Калининградской области уже был сформирован линейный и крупноочаговый тип *водохозяйственного* природопользования (сеть каналов, осушаемые земли, польдеры), в Псковской – сохраняется дисперсный тип.

Земли *природоохранного* статуса появились в Псковской области в 1950-е гг. и к 2016–2019 гг. приобрели среднеочаговый характер, в Калининградской области этот вид за исследуемый период перешел от дисперсного к среднеочаговому.

Вследствие специфики пригранично-го положения обоих регионов оборонный вид земель расширился от дисперсного вида в Калининградской и Псковской областях до мелкоочагового. В Калининградской области ареалы переместились в другие районы.

### Выводы

1. За период с 1939–1940 по 2016–2019 гг. в Псковской и Калининградской областях происходили следующие изменения территориальной структуры природопользования:

- уменьшились масштабы фонового для обеих областей аграрного вида, при этом в Калининградской области наблюдается повторное освоение залежных земель с 2010–2011 гг., в Псковской области продолжается их медленное сокращение;

- расширились ареалы с низкой плотностью сельских поселений и дорог либо полностью обезлюдивших, что в большей степени характерно для Псковской области;

- увеличилась площадь городских агломераций;

- ареалы лесохозяйственного и оборонного природопользования переместились в новые районы;

- появились новые виды природопользования – природоохранное и земли садово-огородных и дачных массивов.

2. За 80 лет произошло усложнение и диверсификация территориальной структуры природопользования регионов: появились новые крупно- и среднеарейные виды (оборонное, природоохранное) вместо одного фонового вида (сельское хозяйство), появились новые виды, «старые» традиционные виды переместились в новые районы.

3. В обеих областях усилилась дифференциация территории по степени хозяйственной освоенности. В Псковской области яснее обозначились ядра высокой насыщенности разными видами природопользования вокруг Пскова и Великих Лук и периферийные районы с преобладающим лесохозяйственным, горнодобывающим (торфоразработки) и природоохранными видами либо с восстанавливающимися ландшафтами, вышедшими из активного хозяйственного использования. В Калининградской области в силу ее компактности, практически сплошной хозяйственной освоенности, высокой плотности дорог этот процесс проявляется слабее.

4. Основными причинами различий в динамике территориальной структуры при-

родопользования Калининградской и Псковской областей, помимо изменения политической ситуации и экономических условий хозяйственной деятельности (санкции, федеральные и региональные программы развития), являются:

- компактная территория Калининградской области и более благоприятные природные условия;

- эксклавное положение Калининградской области;

- близость Псковской области к Санкт-Петербургу.

### Список литературы

1. Рунова Т.Г., Волкова И.Н., Нефедова Т.Г. Территориальная организация природопользования. М.: Наука, 1993. 208 с.
2. Евсеев А.В., Воробьева Т.А., Зенина Т.Ю., Котова О.И., Красовская Т.М., Седова Н.Б. Современная структура природопользования на Европейском Севере России // Стратегия развития северных регионов России. Архангельск, 2003. С. 206–211.
3. Бакланов П.Я. Территориальная структура хозяйства в региональном управлении. М., 2007. 237 с.
4. Красовская Т.М., Слипечук М.В. Введение в природопользование / Под ред. А.В. Евсеева. М.: Географический факультет МГУ, 2016. 224 с.
5. Vliet van J., Groot de H.L.F., Pietveld P., Verburg P.H. Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe. *Landscape and Urban Planning*. 2015. Vol. 133. P. 24–36. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2014.09.001.
6. Kuemmerle T., Levers Ch., Erb K., Estel S., Jepsen M.R., Müller D., Plutzer Ch., Stürck J., Verkerk P.J., Verburg P.H. Hotspots of land use change in Europe. *Environmental Research Letters*. 2016. Vol. 11. DOI: 10.1088/1748-9326/11/6/064020.
7. Munteanu C., Kuemmerle T., Boltziar M., Van Butsic, Gimmi U., Halada L., Kaím D., Király G., Konkoly-Gyuró É., Kozak J., Lieskovský J. Forest and agricultural land change in the Carpathian region – A meta-analysis of long-term patterns and drivers of change. *Land Use Policy*. 2014. Vol. 38. P. 685–697. DOI: 10.1016/j.landusepol.2014.01.012.
8. Horion S., Prischepov A.V., Verbesselt J., Beurs de K., Tagesson T., Fensholt R. Revealing turning points in ecosystem functioning over the Northern Eurasian agricultural frontier. *Global Change Biology*. 2016. 22. P. 2801–2816. DOI: 10.1111/gcb.13267.
9. Sleszynski P., Solon J. A map of the landscape diversity of Poland. *Geographia Polonica* 2017. Vol. 90. Is. 3. P. 369–377. DOI: 10.7163/GPol.0100.
10. Атлас Псковской области. М.: ГУГК при Совете Министров СССР, 1969. 54 с.
11. База данных муниципальных образований. [Электронный ресурс]. URL: [www.gks.ru/dbscripts/munst/](http://www.gks.ru/dbscripts/munst/) (дата обращения: 18.05.2022).
12. Die Vererbung des ländlichen Grundbesitzes im Königreich Preussen. [Электронный ресурс]. URL: [www.dlib-pr.mpiet.mpg.de](http://www.dlib-pr.mpiet.mpg.de) (дата обращения: 18.05.2022).
13. Hansen J. Einleitung zum Güteradressbuch der Provinz Ostpreussen. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ahnenspuren.de/ostpreussen/gueteradressbuecher/1922/einleitung-zum-gueteradressbuch-der-provinz-ostpreussen-1922> (дата обращения: 18.05.2022).
14. Карты РККА [Электронный ресурс]. URL: [http://www.etomesto.ru/map-atlas\\_rkka/?x=30.051822&y=55.956438](http://www.etomesto.ru/map-atlas_rkka/?x=30.051822&y=55.956438) (дата обращения: 18.05.2022).

## О ПОДХОДАХ К РАЗРАБОТКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Дудина Т.Н., Тарасова О.С.

*ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет экономики и управления (НИНХ)»,  
Новосибирск, e-mail: tosgeo@bk.ru*

В статье рассмотрены подходы к формированию систем показателей устойчивого развития предприятий природопользования. Проанализирована ситуация с внедрением системы экологического менеджмента на предприятиях природопользования, дана характеристика процесса внедрения, выявлены и перечислены основные причины, сдерживающие массовое внедрение систем экологического менеджмента на предприятиях в России. Определено, что даже наличие сертифицированной системы экологического менеджмента на предприятии не является достаточным критерием его устойчивой деятельности с позиций целей устойчивого развития. Система экологического менеджмента как часть общей системы корпоративного управления не учитывает социальные аспекты и корпоративную ответственность в результативности деятельности компаний. Рассмотрена система нефинансовой отчетности Глобальной инициативы отчетности (GRI), учитывающей ESG-аспекты деятельности компаний. Определено, что ESG-принципы при оценке рисков и возможностей деятельности компаний являются не только информацией для потенциальных инвесторов, но и отражают ответственное отношение к достижению целей устойчивого развития на уровне отдельных компаний. Система отчетности GRI является формой нефинансовой отчетности компаний, базой которой служит экономическая, экологическая, социальная и управленческая результативность деятельности компаний. Рассмотрены особенности предоставления нефинансовой отчетности российскими компаниями. Проанализирована динамика активности российских компаний по предоставлению нефинансовой отчетности и доля экологической отчетности и отчетности по устойчивому развитию в общей совокупности представленной отчетности. Представлен обзор индексирования компаний по индексам РСПП «Открытость и ответственность» и «Векторы устойчивого развития», а также анализ результатов индексирования российских компаний в 2021 г. Выявлены особенности формирования индексов, препятствующие их использованию при увеличении количества компаний, в случае массового представления нефинансовой отчетности. Определена потребность в дальнейшей разработке индексов устойчивого развития отдельных компаний и предприятий.

**Ключевые слова:** индексы устойчивого развития, предприятия природопользования, система экологического менеджмента, ESG-аспекты, ESG-принципы, система отчетности GRI, цели устойчивого развития, индексы устойчивого развития РСПП

## ON APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF INDICATORS FOR THE IMPLEMENTATION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT AT ENVIRONMENTAL MANAGEMENT ENTERPRISES

Dudina T.N., Tarasova O.S.

*Novosibirsk State University of Economics and Management NINH, Novosibirsk,  
e-mail: tosgeo@bk.ru*

The article considers approaches to the formation of systems of indicators of sustainable development of environmental management enterprises. The situation with the introduction of an environmental management system at environmental management enterprises is analyzed, the characteristics of the implementation process are given, the main reasons hindering the mass introduction of environmental management systems at enterprises in Russia are identified and listed. It is determined that even the presence of a certified environmental management system at an enterprise is not a sufficient criterion for its sustainable activity from the standpoint of sustainable development goals. The environmental management system as part of the overall corporate governance system does not take into account social aspects and corporate responsibility in the performance of companies. The system of non-financial reporting of the Global Reporting Initiative (GRI), which takes into account the ESG aspects of companies' activities, is considered. It is determined that the ESG principles in assessing the risks and opportunities of companies' activities are not only information for potential investors, but also reflect a responsible attitude to achieving sustainable development goals at the level of individual companies. The GRI reporting system is a form of non-financial reporting of companies, which is based on the economic, environmental, social and managerial performance of companies. The features of the provision of non-financial reporting by Russian companies are considered. The dynamics of the activity of Russian companies in providing non-financial reporting and the share of environmental reporting and sustainable development reporting in the total set of submitted reports are analyzed. An overview of the indexing of companies according to the RSPP indices "Openness and Responsibility" and "Vectors of Sustainable Development" is presented, as well as an analysis of the results of indexing Russian companies in 2021. The features of the formation of indices that prevent their use with an increase in the number of companies, in the case of mass representation of non-financial puffiness, are revealed. The need for further development of indices of sustainable development of individual companies and enterprises is determined.

**Keywords:** sustainable development indices, environmental management enterprises, environmental management system, ESG aspects, ESG-principles, GRI reporting system, Sustainable Development Goals, RSPP sustainable development indices

Системы индексов и индикаторов устойчивого развития, разрабатываемые с 1990-х гг., отражают макроэкономические и региональные особенности реализации как самой концепции устойчивого развития, так и достижения отдельных ее целей (ЦУР). Вместе с тем нарастает необходимость определения степени устойчивости деятельности отдельных предприятий, в том числе предприятий природопользования, в управленческих, социальных и экологических аспектах устойчивого развития.

С учетом общих тенденций мировой экономики и в целях развития внешнеэкономических связей все большее число предприятий РФ, прежде всего предприятий природопользования, ориентируется на долгосрочные варианты повышения доходности и стоимости компаний с учетом нефинансовых рисков и возможностей, а также на производство продукции, удовлетворяющей международным экологическим требованиям и стандартам. Конкурентоспособность современных предприятий природопользования и соответствие стандартам определяется внедрением инновационных ресурсосберегающих, экологически эффективных и безопасных технологий. Все большее значение в этих процессах приобретает направленность на переход к «зеленой экономике», учитывающей не только экономические аспекты долговременного роста доходности, но экологические и социальные аспекты последствий деятельности.

В качестве управленческих инструментов в данном контексте используются системы экологического менеджмента, экологическая сертификация, экологический аудит, экологические рейтинги предприятий, нефинансовая отчетность, различные информационные технологии. Критерием устойчивости деятельности предприятий природопользования может быть степень внедрения перечисленных управленческих технологий в общую систему менеджмента.

Однако внедрение только экологических аспектов в систему управления предприятиями природопользования не позволяет в полной мере говорить о реализации их стратегий устойчивого развития. Все большее значение для устойчивого развития приобретает совокупный учет экологических, социальных, корпоративных управленческих рисков и возможностей в практической деятельности предприятий природопользования, реализующийся в ESG-принципах управления.

Цель исследования – проанализировать подходы к разработке индексов и показателей устойчивого развития предприятий природопользования, определить особенности разработки показателей и возможности их использования для анализа устойчивости развития предприятий.

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

Необходимость качественных изменений в решении вопросов взаимодействия человека и природы определила и важность изменений в системах управления на предприятиях природопользования, а также необходимость разработки критериев достижения ими целей устойчивого развития.

Длительное время экологическое воздействие предприятий природопользования на состояние окружающей среды являлось результатом компромисса производственной деятельности и необходимости реализации природоохранных мероприятий. В первоначальном варианте компромисс реализовывался через установление очистных сооружений «на конце трубы» и проведение мероприятий по минимизации последствий негативного антропогенного воздействия в соответствии с требованиями природоохранного законодательства и обеспечения экологической безопасности. Такой подход в большей степени направлен на «борьбу с последствиями» хозяйственной деятельности и не отвечает нуждам текущей экономико-социально-экологической ситуации и изменениям рыночной конъюнктуры. Ни о какой устойчивости в этом случае говорить не приходится.

Возникла потребность в новом инструменте управления, который бы способствовал внедрению технологий ресурсо- и энергосбережения и других технологических инноваций, направленных на общее сокращение природоемкости производственных процессов, снижение количества производственных отходов и возможных потерь, улучшение экологических показателей деятельности, а в конечном итоге – повышение инвестиционной привлекательности и устойчивости (в понимании концепции устойчивого развития), так как в этом случае реализуется стратегия рационального природопользования с эффективным использованием ресурсов и их сохранением для будущих поколений. Таким инструментом стала система экологического менеджмента.

Система экологического менеджмента впервые была разработана в Великобритании. В 1992 г. британская компания BSI

Group опубликовала первый в мире стандарт экологического менеджмента для организаций – BS7750, стандарт был разработан и предложен инициативной группой промышленников в ответ на ужесточающееся природоохранное законодательство. В 1996 г. Международная организация по стандартизации ISO опубликовала международный стандарт ISO 14000. В России система экологического менеджмента реализована в стандарте ГОСТ Р ИСО 14001, утвержденном в 1998 г. Впоследствии стандарт обновлялся в 2007, 2016 гг. В настоящее время действует стандарт ГОСТ Р ИСО 14001-2016, идентичный международному стандарту ISO 14000:2015.

Включение в систему управления системы экологического менеджмента подразумевает инициативную и результативную деятельность хозяйствующих субъектов по достижению целей и задач экологической политики предприятия и предполагает постоянный рост целевых экологических показателей, например таких, как снижение объемов потребления воды или энергоресурсов на изготовление единицы продукции, сокращение объемов производственных отходов, внедрение оборотного водоснабжения и т.п.

Экологический менеджмент предопределяет использование малозатратных методов и средств для снижения негативного хозяйственного воздействия на окружающую среду, включение в использование внутренних ранее недоиспользованных ресурсов, резервов и возможностей, снижение экологических рисков, открытость и сотрудничество со всеми заинтересованными лицами [1]. Важным условием результативного внедрения системы экологического менеджмента является не только готовность руководства, но и определенный уровень технических и технологического оснащения производственных процессов. Оптимальным вариантом является оснащенность производства наилучшими доступными технологиями либо наличие технических, финансовых и организационных ресурсов для его модернизации.

Система экологического менеджмента включает в себя ряд обязательных процедур: определение цели и миссии предприятия в рамках целей экологически безопасной деятельности; разработку экологической политики; формирование иерархии целей и задач; разработку и ведение документооборота; структурных преобразований; определение важных и второстепенных экологических аспектов деятельности; процедуры

и деятельность по достижению целей, экологический аудит.

Сертификация системы экологического менеджмента на предприятии природопользования способствует не только сокращению уровня негативного воздействия на окружающую среду, но и повышению эффективности использования всех ресурсов, усилению конкурентных преимуществ.

В официальной статистике отсутствуют данные о количестве предприятий природопользования РФ, внедривших в управленческую структуру систему экологического менеджмента. Поэтому при анализе ситуации использовались отдельные исследования [2, 3], так в исследовании РИД «ESG вопросы в практике публичных компаний» (2020 г.) проанализирована деятельность 44 публичных компаний, акции которых имеют листинг Первого уровня на Московской бирже (ПАО Московская биржа), в том числе 37 компаний, осуществляющих производственную деятельность (предприятий природопользования). Только 55% производственных компаний этой исследовательской выборки имеют сертифицированную систему экологического менеджмента, 45% компаний либо не имеют системы экологического менеджмента, либо имеют такую систему только на отдельных предприятиях. Ситуация по предприятиям природопользования, не котирующимся на фондовом рынке, по оценкам экспертов [4] также не особенно благоприятная.

Экологический менеджмент как инструмент экологического контроля и снижения уровня негативного воздействия предприятий природопользования хорошо рекомендовал себя в развитых странах, но в России, как показывает анализ, не нашел широкой распространенности по разным причинам, в том числе:

1. Вследствие отсутствия нормативного закрепления обязательного внедрения системы экологического менеджмента на предприятиях природопользования. ГОСТ Р ИСО 14001 носит рекомендательный характер, предприятия внедряют его добровольно и не всегда в полном соответствии с ГОСТ. В действующем законодательстве слабо представлены стимулирующие принципы внедрения экологической и инновационной деятельности. Добровольная экологическая сертификация также не особенно актуальна на внутреннем рынке, не несет никакого экономического эффекта и востребована, как правило, только на внешних рынках.

2. По причине несовершенства организационной и управленческой структуры предприятий. Система экологического менеджмента должна встраиваться как элемент в общую управленческую структуру предприятия, однако российские предприятия природопользования не всегда имеют адекватную структуру системы управления, отстают в использовании современных инструментов планирования и анализа эффективности деятельности [1], имеют слабую автоматизацию управленческих процессов.

3. Отсутствия понимания значимости как положений самого стандарта ISO 14000, так и его внедрения в управленческую структуру. На практике предприятия природопользования внедряют систему экологического менеджмента только под давлением рыночных обстоятельств – необходимости экспорта продукции, особенно в европейские страны. Отсутствие внедренной системы экологического менеджмента и экологической сертификации продукции является в этом случае непреодолимым барьером. Предприятия, ориентированные на внутренний рынок, по большей части не видят необходимости в системе экологического менеджмента и обходятся традиционной работой экологических подразделений, составляющих и сдающих экологическую отчетность, и вынужденно модернизируют производство в случае отклонений от нормативных требований.

4. Общего низкого уровня экологической грамотности руководителей и сотрудников предприятий. Анализ уровня экологического образования менеджеров [5] показал, что количество управленцев предприятий природопользования, имеющих специальные знания в сфере рационального природопользования и охраны природы, крайне мало, что приводит к общему нивелированию значимости вопроса ответственного экологического управления. Вследствие этого и у сотрудников предприятий отсутствуют понимание сути вопроса и мотивация на экологически ответственную деятельность при реализации производственных процессов, наблюдается низкая вовлеченность персонала в проведение природоохранных мероприятий в процессе производственной деятельности.

Стоит отметить, что наличие или отсутствие системы экологического менеджмента в управленческой структуре предприятий природопользования не является показательным критерием устойчивого развития предприятия, так как широкое понимание устойчивого развития включает в себя

не только экологические аспекты деятельности, но и социально-экономические аспекты, а также уровень корпоративной управленческой ответственности и культуры.

Одной из систем критериев устойчивости работы предприятия природопользования, с учетом экологических, социальных и управленческих аспектов, может быть система Глобальной инициативы отчетности (Global Reporting Initiative, GRI), разработанная в 1997 г. Коалицией за экологически ответственный бизнес. Отчетность GRI раскрывает ESG-аспекты деятельности предприятий.

ESG – система корпоративного управления, в компаниях различных сфер деятельности, следующих целям устойчивого развития, учитывающая нефинансовые факторы устойчивости. К нефинансовым факторам устойчивости относятся: экологические и социальные риски и возможности, особенности корпоративного управления, получившие международную аббревиатуру – ESG (от англ. E – environment, S – social, G – governance).

Система управления, основанная на ESG-принципах, в большей степени адресована потенциальным инвесторам, так как учитывает нефинансовые риски ведения деятельности в различных отраслях хозяйства, в том числе в сфере природопользования. ESG-аспекты показывают, как компания создает устойчивую стоимость и реализует долгосрочное планирование, основанное не только на финансовых показателях, но и на корпоративной, экологической и социальной ответственности. В то же время составление и публикация в открытых источниках нефинансовой отчетности адресованы не только потенциальным инвесторам, но и являются показателем уровня устойчивости работы компании с позиций целей устойчивого развития.

Отчетность составляется в соответствии с инструкцией – «Руководство GRI по отчетности в области устойчивого развития» (Руководство GRI). Первая версия Руководства GRI была разработана и выпущена в 2000 г. В 2002 г. разработана вторая версия GRI. Также в 2002 г. GRI была зарегистрирована как самостоятельная организация, которая была признана ООН, а система отчетности стала официальным инструментом разработки нефинансовой отчетности предприятий всех форм собственности и видов деятельности в области устойчивого развития (официальной отчетностью по устойчивому развитию предприятий).

Система отчетности GRI представлена набором положений и документов, определяющих состав и структуру нефинансовой отчетности. Основой отчетности являются данные финансового учета, отражающие экономические, экологические и социальные результаты деятельности организации.

Базой для составления отчетности является документ под названием «Руководство», который содержит требования к составлению отчетности, определяет ее содержание и конкретные показатели в управленческих, экологических и социальных аспектах. Отраслевые особенности отчетности реализуются через отраслевые приложения, учитывающие конкретные детали реализации деятельности в определенной отрасли народного хозяйства. Дополняется отчетность рекомендациями по конкретным вопросам и техническими протоколами.

Принципы составления отчетности регламентированы и определяют основные требования к данным отчетности: открытость, вовлечение заинтересованных сторон, полнота, точность, ясность, своевременность, объективность сопоставимость, верифицируемость и ряд других. Принципы применяются как к содержанию отчета, так и к качеству предоставляемой в нем информации.

Всего отчетность предполагает описание более ста пятидесяти укрупненных показателей (индексов), объединенных в две большие группы: общие стандартные элементы отчетности и специфические стандартные элементы отчетности. Первая группа показателей определяет особенности корпоративного управления, во второй группе отражаются показатели по экономическим, экологическим и социальным аспектам [6].

Руководство может быть использовано для создания отчетности организациями разных отраслей народного хозяйства и является гибким инструментом. Отчетность по системе GRI предполагает возможность подготовки двух вариантов отчета «в соответствии» с Руководством: основного и расширенного, в то же время наличие оснований для невключения отчетных данных в отчет, при соответствующих разъяснениях, позволяет организациям не представлять в отчетности отдельные показатели, но это не переводит отчетность в состояние несоответствия с Руководством. В мире постоянно увеличивается число компаний, отчитывающихся по системе GRI

В России нефинансовая отчетность составляется разными компаниями с 2017 г. Формирование нефинансовой отчетности

осуществляется на добровольной основе, публикация и учет нефинансовой отчетности ведется в Национальном регистре корпоративных нефинансовых отчетов Российского союза промышленников и предпринимателей (РСИП).

В настоящее время Национальный регистр содержит сведения о нефинансовой отчетности 210 компаний. Динамика активности компаний РФ в публикации нефинансовой отчетности в Национальном регистре корпоративных нефинансовых отчетов представлена в таблице.

Анализ таблицы показывает, что регистр ежегодно расширяется, все большее количество преимущественно публичных компаний нефинансовой отчетности. Наблюдается не только количественный и отраслевой прирост компаний, но и возрастает количество компаний, предоставляющих не отдельные отчеты (по направлениям: социальная отчетность, экологическая отчетность и т.п.), а полную отчетность по системе GRI (отчет по устойчивому развитию), отражающую корпоративную, экологическую и социальную результативность. Всего за период с 2000 г. компаниями было предоставлено 995 отчетов, в том числе экологические отчеты (ЭО) – 86, социальные отчеты (СО) – 337, отчеты в области устойчивого развития (ОУР) – 347, интегрированные отчеты – 203, отраслевые отчеты – 27 [7]. Из представленной отчетности в среднем 85% отчетности по устойчивому развитию сформировано в соответствии с требованиями Руководства GRI.

Недостатком отчетности системы GRI является ее преимущественно качественный характер. Описываемые в отчетности аспекты не всегда возможно сопоставить в силу особенностей расчетов. Особенно это касается группы экологических показателей. Например, в аспекте «Энергоемкость» требуется указать собственно энергоемкость, а затем раскрыть специфичный для организации показатель, выбранный для расчета этого коэффициента. В аспекте «Сокращение энергопотребления» необходимо показать не только суммарное сокращение энергопотребления, но и использованные стандарты, методики и допущения [7] и т.п. Использование организациями разных специфичных показателей и методик расчета или их изменение в следующих отчетных периодах не дают возможности сравнения показателей для разных организаций или в динамике для одной организации.



Динамика активности компаний РФ в публикации нефинансовой отчетности  
в Национальном регистре корпоративных нефинансовых отчетов

Отрасль	2007	2010	2019	2022
Нефтегазовая	8	10	21	20
Электроэнергетика	10	14	42	49
Металлургическая и горнодобывающая	–	–	20	23
Производство машин и оборудования	–	–	2	5
Химическая, нефтехимическая и парфюмерная	2	5	12	12
Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная	2	–	5	6
Производство пищевых и других потребительских товаров	2	1	10	12
Телекоммуникации и связь	2	2	11	15
Финансы и страхование	6	7	19	24
Жилищно-коммунальное хозяйство	1	1	5	5
Цементное производство и строительство	–	–	3	5
Образование и здравоохранение	1	2	6	6
Транспорт	3	1	5	7
Ритейл	–	–	2	7
Прочие виды услуг	7	10	4	8
Некоммерческие организации	1	–	7	6
Отраслевые отчеты	–	–	4	4
ИТОГО	45	53	178	210

Анализ нефинансовой отчетности, в том числе отчетности по устойчивому развитию российских предприятий, подтверждает эти выводы. Представленные отчеты по устойчивому развитию в разные годы отличаются структурой показателей и самих отчетов, данные в динамике без объяснения причин изменений трудны для анализа и не дают возможности определить, повысилась устойчивость работы компании или нет. Или, например, раскрываются показатели по затратам на охрану труда и не указывается динамика травматизма или затрат на санаторно-курортное лечение, даются плановые показатели, но не отражаются их фактические значения в отчетном году. Нередко в отчетах отдельных компаний раскрываются существенные темы для анализа, но они не сопоставляются с аналогичными аспектами отчетности системы GRI, а в следующем отчетном периоде существенные темы меняются и нет возможности сопоставить изменения по существенным темам за длительный период времени.

В целом положительная динамика роста составления и публикации нефинансовой отчетности, в том числе крупными компаниями разных отраслей природопользования, определяет их заинтересованность в следовании целям устойчивого развития.

Однако содержание отчетности в целях динамического анализа, как по одной компании, так и по выборке компаний, еще требует совершенствования.

Российский союз промышленников и предпринимателей оценку устойчивости предприятий реализует через расчет индексов РСПП: Индекса «Ответственность и открытость» – индекса раскрытия информации и Индекса «Вектор устойчивого развития» – индекса динамики результативности. В основе расчета индексов лежит понимание корпоративной, социальной и экологической ответственности, закрепленное в международных и российских документах, таких как Глобальный договор ООН, Стандарт ISO 26000, Социальная хартия российского бизнеса [8]. Как отмечается в отчетах РСПП, индексы не предназначены для сравнения компаний, а направлены на анализ общей ситуации и оценку тенденций ее развития.

Индекс «Открытость и ответственность» определяет полноту раскрытия информации об устойчивом развитии (УР) и корпоративной социальной ответственности (КСО) в нефинансовой отчетности в контексте полноты, структурированности и качества публикуемых данных о влиянии деятельности компании на окружающую среду и социум.

Базой для расчета индекса служат 43 агрегированных показателя, включающих 71 индекс, отражающий экологические, социальные и экономические показатели и аспекты результативности, в том числе экономических 6 показателей, социальных (в отношении персонала) – 14, социальных (в отношении общества) – 1, экологических – 10, управленческих – 12. Большинство показателей носят качественный (описательный) характер, и разные компании по-разному могут их описывать, что препятствует проведению динамических сравнений показателей. При расчете показателей оценивается только уровень их раскрытия по шкале:

- декларация, когда внимание компании к данному показателю заявлено в общем виде;
- иллюстрация – в отчетности отражено конкретное направление работы в области устойчивого развития или корпоративной социальной ответственности с приведением конкретных примеров деятельности;
- отчетность – отчет имеет консолидированные данные, отражающие состояние показателя в масштабе всей компании;
- нулевой уровень – при отсутствии информации по показателю.

Отчетность анализируется по степени раскрытия отдельных индексов, затем значения суммируются, а компании группируются по сумме значений индивидуальных индексов. Все компании с суммарным индексом 0,75 и выше объединяются в группу А, со значением индивидуального индекса 0,55 и выше – в группу В, при значении индекса в пределах 0,45–0,55 компании группируются в группу «Резерв».

Так, в расчете индекса «Ответственность и открытость» в 2021 г. [8] участвовало 210 компаний, 44 компании попали в группы А и В, из них 23 компании являются компаниями-природопользователями (такие как АЛРОСА, АФК «Система», Газпром, Интер РАО, ЛУКОЙЛ, Металлоинвест, ММК, НЛМК, Норильский никель, Полиметалл, РЖД, Роснефть, Россети, Ростелеком, РусГидро и др.), остальные компании, кроме финансовых, прямо или косвенно влияют на состояние окружающей среды и ответственное отношение этих компаний к вопросам устойчивого развития реализуется в полноте раскрытия информации.

Стоит отметить, что степень раскрытия информации по разным индексам различна и определяется, с одной стороны, структурой спроса на информацию со стороны заинтересованных лиц, а с другой стороны – приоритетами самих компаний.

Наибольшую долю раскрываемых показателей в отчетности занимают экологические аспекты (72%), далее следуют социальные аспекты – персонал (64%), экономические аспекты (63%), социальные инвестиции (52%) [8]. В динамике растет качество предоставляемой информации и ее количество. Но для целей общей оценки совокупности компаний по уровню их устойчивого развития данные отчетов мало репрезентативны.

Более подходящим показателем для анализа устойчивости российских компаний является индекс РСПП «Вектор устойчивого развития». Индекс предназначен для оценки экологической и социально-экономической результативности компаний в целях определения общей ситуации и динамики ее развития. Основой для расчета индекса «Вектор устойчивого развития» являются показатели индекса «Ответственность и устойчивость» из нефинансовой отчетности компаний. В расчете индекса используется 10 агрегированных показателей, в том числе 6 по социальной результативности (производительность труда, производственная безопасность, охрана труда, оплата труда и расходы на социальные программы для персонала, обучение персонала, текучесть кадров, социальные инвестиции) и 4 по экологической (выбросы в атмосферу, в том числе выбросы парниковых газов, водопотребление и сбросы в водные источники, энергоэффективность и энергопотребление, обращение с отходами). Отличительная особенность индекса – количественная оценка показателей в динамике за три года. Основой выделения критериев являются ESG-факторы.

В выборку по расчету индекса «Вектор устойчивого развития» попадают компании, у которых индекс «Ответственность и устойчивость» составляет 0,45 и выше. В 2021 г. таких компаний было 52 (по отчету). Все участвующие компании были распределены по суммарному значению индекса по группам: А со значением индекса больше 0,25, В – 0,01–0,25, С («Резерв») – «-0,16–0,00».

При этом значения индекса могут быть отрицательными при отрицательной динамике за последние три года или отсутствии раскрытия показателя. Нулевое значение присваивается индексу при отсутствии динамики, положительное значение при положительной динамике. Результаты оценки компаний по индексу «Вектор устойчивого развития» в 2021 г. показали, что из 46 компаний, включенных в индексирование [8] 30 имеют значения индивидуального ин-

декса более 0,25 (такие как АФК «Система», Газпром, ЕВРАЗ, Интер РАО, ЛСР, Металлоинвест, ММК, Московская биржа, НЛМК, НОВАТЭК, Норильский никель, ОМК, Петропавловск, Полиметалл, РЖД, Росатом, Роснефть и другие), 8 компаний отнесены к группе В (индекс 0,01–0,25), 8 – в резерв (индекс 0,16–0,00).

Из выборки 23 компании являются непосредственными природопользователями, остальные, кроме финансовых, прямо или косвенно влияют на состояние окружающей среды.

Оба рассмотренных индекса по своим целевым показателям не направлены на проведение ранжирования компаний. Это экспертные показатели индивидуальных траекторий устойчивости отдельных компаний. При небольшом количестве компаний, участвующих в расчете индексов, такой подход достаточно продуктивен, однако при включении в выборку большего числа компаний их индексирование, с учетом преобладающей качественно-описательной информации в нефинансовой отчетности, будет существенно затруднено, так как этот процесс сложно автоматизировать.

### Заключение

Современные подходы к оценке устойчивости деятельности предприятий природопользования опираются, прежде всего на роль нефинансовых факторов в устойчивой деятельности предприятий, а также учете этих факторов в долгосрочном планировании доходности и развития. К общепризнанным нефинансовым рискам и возможностям относят экологические и социальные аспекты, а также ответственное корпоративное управление – ESG-аспекты. В мире и России разрабатывается множество систем внедрения экологически ориентированного управления и оценки устойчивости корпоративного развития. Однако эти системы не дают возможности массово использовать стандартные системы показателей для оценки и сравнения устойчивости развития большого количества компаний, в том числе предприятий природопользования. Система экологического менеджмента не нашла широкой популярности в среде российских предприятий, а наличие сертифицированной системы экологического менеджмента не может быть использовано в качестве достаточного критерия устойчивого развития предприятия, так как неурегулированными остаются вопросы социальной и корпоративной ответственности, что не дает возможности предприятиям до-

стигать все 17 целей устойчивого развития. Система отчетности GRI в большей степени отвечает потребностям оценки устойчивого развития, однако отчетность в «соответствии» с системой GRI носит качественно-описательный характер, а количественные показатели могут рассчитываться по разным методикам, что существенно снижает их репрезентативность и сравнительные возможности. Индексы РСПП «Ответственность и устойчивость» и «Вектор устойчивого развития» содержат количественные характеристики, но основой их расчета является нефинансовая отчетность, а анализ осуществляется экспертным подходом, что связано с существенными трудозатратами и сложной частичной автоматизацией процесса индексирования. При массовой оценке устойчивости большого количества предприятий, если они включатся в добровольный процесс предоставления нефинансовой отчетности, возникнут значительные трудности для оценивания и индексации. Разработка универсальных показателей устойчивого развития предприятий природопользования, несмотря на длительный период внедрения принципов устойчивого развития, все еще остается актуальной научно-практической проблемой.

### Список литературы

1. Бурматова О.П. Экологический менеджмент как инструмент управления: возможности, проблемы и перспективы использования // Вестник НГУЭУ. 2018. № 2. С. 33–45.
2. Шпаков А.С., Бурдонов А.Е. Основные проблемы на пути внедрения экологического менеджмента в Российской Федерации // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Экономика и экологический менеджмент. 2019. № 1. С. 154–162.
3. Российский институт директоров: Исследование: ESG вопросы в практике публичных компаний. [Электронный ресурс]. URL: [http://rid.ru/wp-content/uploads/2021/04/2021\\_0%А0%D0%98%D0%94\\_%D0%98%D1%81%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5\\_ESG.pdf](http://rid.ru/wp-content/uploads/2021/04/2021_0%А0%D0%98%D0%94_%D0%98%D1%81%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_ESG.pdf) (дата обращения: 10.04.2022).
4. Гунькова А.Г., Холопов Ю.А., Пурьгин П.П. Оценка перспектив и эффективности внедрения системы экологического менеджмента с позиции комплексного анализа потенциала предприятия // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Экономика и экологический менеджмент. 2018. № 3. С. 126–136.
5. Дудина Т.Н., Тарасова О.С. Экологическое образование в контексте устойчивого развития и рационального природопользования // Успехи современного естествознания. 2022. № 4. С. 54–60.
6. Руководство по отчетности в области устойчивого развития G4. [Электронный ресурс]. URL: <https://media.rspp.ru/document/1/e/6/e6aef2d23c03d8181b6230003f977361.pdf> (дата обращения: 15.04.2022).
7. Национальный Регистр и Библиотека корпоративных нефинансовых отчетов. [Электронный ресурс]. URL: <http://old.rspp.ru/simplepage/157> (дата обращения: 16.04.2022).
8. Индексы РСПП в области устойчивого развития, корпоративной ответственности и отчетности – 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://media.rspp.ru/document/1/0/0/00199085ad92912f90e7c5ee810f4553.pdf> (дата обращения: 29.04.2022).

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕДНИКОВ МАЛЫЙ АЗАУ И ГАРАБАШИ

<sup>1</sup>Кондратьева Н.В., <sup>2</sup>Татаренко Н.В.

<sup>1</sup>ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, e-mail: kondratyeva\_nat@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский университет им. Х.М. Бербекова», Нальчик,  
e-mail: tatarenko.nic@yandex.ru

Дана оценка современного состояния ледников Малый Азау и Гарабаши за период с 1957 по 2019 г. на основе анализа аэро- и космоснимков. Изучены основные морфометрические характеристики ледников Малый Азау и Гарабаши: площадь и длина с помощью полигонов изолиний границ ледников для разных временных интервалов (от одного до десяти и более) на основе программного приложения ArcGis и Calculate Geometry. Общие темпы деградации ледника Малый Азау с 1957 по 2015 г. значительно увеличились, достигнув своего максимума в период с 2002 по 2012 г. Сокращение общей площади на леднике Малый Азау за периоды составило: 2002–2007 гг. – 84,6 тыс. м<sup>2</sup>; 2007–2009 гг. – 52,5 тыс. м<sup>2</sup>; 2009–2012 гг. – 82,3 тыс. м<sup>2</sup>; 2012–2015 гг. – 60 тыс. м<sup>2</sup>. Уменьшение общей длины на леднике Малый Азау за периоды составило: 2002–2007 гг. – 112 м; 2007–2009 гг. – 87 м; 2009–2012 гг. – 50 м. Общие темпы деградации ледника Гарабаши с 1957 по 2015 г. незначительно замедлились. Максимальные темпы сокращения площади ледника Гарабаши в XXI в. были отмечены в период с 2007 по 2015 г., а уменьшение длины – в период с 2009 по 2015 г. Сокращение общей площади на леднике Гарабаши за периоды составило: с 2002 по 2007 гг. – 32,8 тыс. м<sup>2</sup>; 2007–2009 гг. – 21,4 тыс. м<sup>2</sup>; 2009–2011 гг. – 27,0 тыс. м<sup>2</sup>; 2011–2012 гг. – 23,7 тыс. м<sup>2</sup>; 2012–2014 гг. – 25,1 тыс. м<sup>2</sup>; 2014–2015 гг. – 14,2 тыс. м<sup>2</sup>. Общие темпы отступления ледника Гарабаши замедлились: с 2002 по 2015 г. для западного языка с 41 м до 17 м, а для восточного – с 35 м до 19 м. Геохимический анализ талых проб на ледниках Гарабаши и Малый Азау выявил геохимическую аномалию свинца. Содержание свинца в образцах превышает ПДК от 2,5 до 7,5 раза. Средние значения содержания свинца на ледниках составили: Малый Азау 74±15 мкг/л и Гарабаши 230±50 мкг/л.

**Ключевые слова:** деградация оледенения, снежный покров, фирн, лед, тяжелые металлы, оледенение Приэльбрусья

## GEOECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE CURRENT STATE OF THE MALY AZAU AND GARABASHI GLACIERS

<sup>1</sup>Kondrateva N.V., <sup>2</sup>Tatarenko N.V.

<sup>1</sup>High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, e-mail: kondratyeva\_nat@mail.ru;

<sup>2</sup>The Kabardino-Balkarian university of Kh.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: tatarenko.nic@yandex.ru

The assessment of the current state of the Maly Azau and Garabashi glaciers for the period from 1957–2019 is based on the analysis of aerial and satellite images. The main morphometric characteristics of the Maly Azau and Garabashi glaciers have been studied: area and length using polygons of isolines of glacier boundaries for different time intervals (from one to ten or more) based on the ArcGIS and Calculate Geometry software application. The overall rate of degradation of the Maly Azau glacier increased significantly from 1957 to 2015, reaching its maximum in the period from 2002 to 2012. The reduction of the total area on the Maly Azau glacier for the periods was: 2002–2007 (84.6 thousand m<sup>2</sup>); 2007–2009 (52.5 thousand m<sup>2</sup>); 2009–2012 (82.3 thousand m<sup>2</sup>); 2012–2015 (60 thousand m<sup>2</sup>). The decrease in the total length on the Maly Azau glacier for the periods was: 2002–2007 (112 m); 2007–2009 (87 m); 2009–2012 (50 m). The overall rate of degradation of the Garabashi glacier from 1957 to 2015 slowed down slightly. The maximum rate of reduction of the area of the Garabashi glacier in the XXI century was noted in the period 2007–2015, and the decrease in length – 2009–2015. The reduction of the total area on the Garabashi glacier for the periods was: 2002–2007 (32.8 thousand m<sup>2</sup>); 2007–2009 (21.4 thousand m<sup>2</sup>); 2009–2011 (27.0 thousand m<sup>2</sup>); 2011–2012 (23.7 thousand m<sup>2</sup>); 2012–2014 (25.1 thousand m<sup>2</sup>); 2014–2015 (14.2 thousand m<sup>2</sup>). The overall rate of the fall of the Garabashi glacier slowed down: from 2002–2015 for the western language from 41 m to 17 m, and for the eastern from 35 m to 19 m. Geochemical analysis of thawed samples on the Garabashi and Maly Azau glaciers revealed a geochemical anomaly of lead. The lead content in the samples exceeds the MPC by 2.5 to 7.5 times. The average values of lead content on glaciers were: Maly Azau (74±15 mcg/l) and Garabashi (230±50 mcg/l).

**Keywords:** glaciation degradation, snow cover, firn, ice, heavy metals, glaciation of the Elbrus region

Изучение эволюции и динамики нивально-гляциальных систем, их геохимический мониторинг является важнейшей задачей современных геоэкологических исследований. Современное оледенение Большого Кавказа находится в интенсивной стадии деградации оледенения. Процесс общей де-

градации оледенения обусловлен длительными изменениями гляциологических условий. Интенсивная деградация оледенения сопровождается резким сокращением оледенения, которое сопровождается уменьшением площади и объема льда, отступанием краев ледников и формированием

в перигляциальной зоне больших участков мертвых льдов. Особое значение приобретает вопрос изучения химического состава ледников и его трансформация со временем при метаморфизме.

Цель исследования – изучение современного состояния, морфометрические характеристики и особенности загрязнения ледников Малый Азау и Гарабаши.

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

Изучение основных морфометрических характеристик – площади и длины ледника – проводилось с помощью полигонов изолиний границ ледников, которые составлялись для различных временных интервалов (от одного до десяти и более лет), с использованием программного приложения ArcGis и Calculate Geometry.

Геохимический анализ талых ледниковых проб проведен методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре Shimadzu AA-7000 в сертифицированной лаборатории ФГБУ «ЦЛАТИ по ЮФО» – ЦЛАТИ по Ставропольскому краю. Лабораторный анализ воды – вода природная. Методика измерений ПНД Ф 14.1:2.214-06 (2011 г.). Отбор проб – ГОСТ 31861-2012. Предел обнаружения содержания микрокомпонентов: Cr (0,005); Ni (0,005); Mn (0,001); Pb (0,002); Zn (0,001); Kd (0,001); Co (0,005) мг/дм<sup>3</sup>.

Геоэкологические аспекты и оценка уровня загрязненности ледников Малый Азау и Гарабаши дана на основе геохимического анализа. Для этого были отобраны образцы снеговых и ледниковых проб, в которых определялись концентрации таких опасных загрязнителей, как Cr, Ni, Mn, Pb, Zn, Kd, Co. Отбор проб производился летом 2019 г. к моменту максимального снегонакопления.

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

##### *Морфометрические характеристики ледников Малый Азау и Гарабаши*

Ледник Малый Азау – ледник конической вершины, расположен на южном склоне г. Эльбрус. Площадь ледника – 8,4 км<sup>2</sup>, длина – 6792 м. Высота нижней точки ледника – 3011 м [1], высшей точки – 5610 м [2]. Высота фирновой линии – 3800 м. Площадь абляции – 3,3 км<sup>2</sup>. Объем льда – 0,36 км<sup>3</sup> [2]. Питание ледника Малый Азау происходит из небольшого фирнового бассейна, который на востоке ограничен группой лавовых скал «Приют одиннадцати» и «Приют

девяти», на севере ограничен седловиной Эльбруса, а на западе – обрывом Хотютау-Азаусского кратера. Морфологически он имеет вид узкого лога, который имеет крутой подъем ложа на высоте 4800–5000 м, разбитый дугообразными трещинами. Проникающие сюда юго-западные и западные ветры засоряют поверхность ледника пылью, и усиливают его таяние. В результате деградации оледенения в перигляциальной зоне формируются моренно-ледниковые отложения и в рельефе наблюдается наличие мертвых льдов.

Ледник Гарабаши, ледник конической вершины, берет свое начало на южном склоне Эльбруса от восточной вершины [2]. Общая площадь 4,6 км<sup>2</sup> [1]. Высота нижней точки ледника – 3250 м, высшей – 4300 м, высота фирновой линии – 3700 м, площадь абляции – 1,2 км<sup>2</sup>. Объем льда составляет 0,11 км<sup>3</sup> [2]. На конусе Эльбруса ледник Гарабаши соединяется с ледниками Терскол и Малый Азау, ледоразделы между которыми выражены слабо [2]. Растекание льда происходит по межлазовым понижениям. Язык ледника имеет вид висячего ледника, по форме напоминающего широкую лапу, оканчивающуюся на краю ригеля. Во фронтальной части языка ледника четко выражена морена, состоящая в центре из темных среднечетвертичных лав, а по краям – красно-бурых голоценовых лав. Левая боковая морена имеет андезитодацитовый состав.

Оценка современного состояния ледников Малый Азау и Гарабаши за период с 1957 по 2019 г. проведена на основании анализа аэро- и космоснимков. Изменение границ ледников, площади и длины ледника Малый Азау с 1957 по 2015 г. представлено на рис. 1 и 2.

Как видно на рис. 1 и 2, общие темпы деградации ледника Малый Азау с 1957 по 2015 г. значительно увеличились, достигнув своего максимума в начале XXI в., особенно в период с 2002 по 2012 г. Так, установлено, что сокращение общей площади на леднике Малый Азау составило соответственно: 2002–2007 гг. – 84,6 тыс. м<sup>2</sup>; 2007–2009 гг. – 52,5 тыс. м<sup>2</sup>; 2009–2012 гг. – 82,3 тыс. м<sup>2</sup>; 2012–2015 гг. – 60 тыс. м<sup>2</sup>. Вместе с тем выявлено, что уменьшение площади в год на леднике Малый Азау за периоды составило: 2002–2007 гг. – 16,9 тыс. м<sup>2</sup>; 2007–2009 гг. – 26,2 тыс. м<sup>2</sup>; 2009–2012 гг. – 27,4 тыс. м<sup>2</sup>, достигнув своих максимальных сокращений площади в год в период с 2007 по 2012 г.



Рис. 1. Изменение границ ледника Малый Азау за 1957–2019 гг. [3]

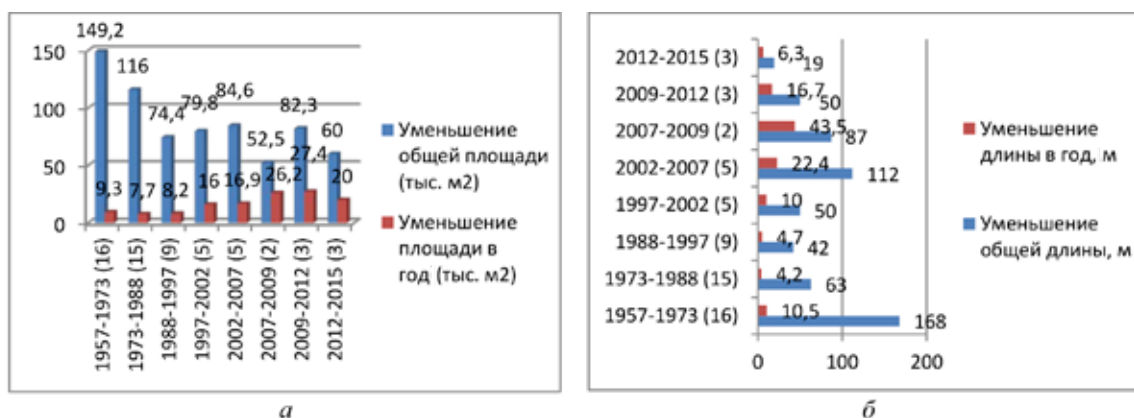


Рис. 2. Изменение площади (а) и длины (б) ледника Малый Азау с 1957 по 2015 г.

Изменение общей длины ледника Малый Азау за период с 1957 по 2015 г. представлено на рис. 2, а. Как видно на рис. 2, а, сокращение длины ледника Малый Азау значительно увеличилось в XXI в., достигнув максимальных значений с 2002 по 2012 г. Так, сокращение общей длины за периоды составило соответственно: 2002–2007 гг. – 112 м; 2007–2009 гг. – 87 м; 2009–2012 гг. – 50 м. Кроме того, за период с 2002 по 2012 г. отмечается также и максимальное сокращение длины ледника Малый Азау в год. Так, сокращение длины в год составило соответственно: 2002–2007 гг. – 112 м; 2007–2009 гг. – 87 м; 2009–2012 гг. – 50 м.

Наряду с общим отступанием ледника Малый Азау, на леднике в 1980–1990-х гг. наблюдалось кратковременное наступание ледника на 20–30 м, вследствие активации мертвых льдов, в результате которого на-

блюдались блокировка части западной части озера Малое Азау и сокращение части поступления талых вод [4].

Сравнение полученных нами данных о темпах деградации оледенения ледника Малый Азау за период с 1957 по 2007 г. довольно хорошо согласуются с ранее полученными данными Е.А. Золотарева [4]. Так, наши данные о линейном отступании ледника Малый Азау составили 435 м, тогда как у Е.А. Золотарева – 404 м.

Что касается уменьшения площади ледника, то по данным Е.А. Золотарева [4] ледник Малый Азау сократился на 681 тыс. м<sup>2</sup>, тогда как по нашим оценкам уменьшение площади составило 504,6 тыс. м<sup>2</sup>. Такое различие данных, вероятно, обусловлено тем, что Е.А. Золотаревым учтены другие участки ледника кроме фронтальной зоны.

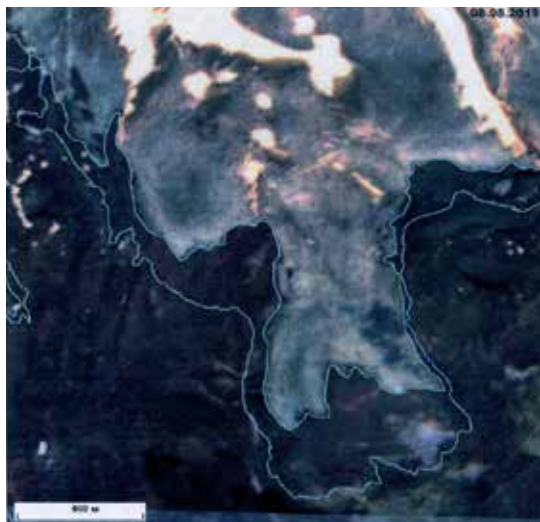


Рис. 3. Изменение границ ледника Гарабаши в 1959–2019 гг. [1]



Рис. 4. Изменение площади (а) и длины (б) ледника Гарабаши с 1957 по 2015 г. [1]

Полученные нами данные о современном состоянии ледника Малый Азау за период с 1957 по 2019 г. характеризуют общую деградацию оледенения ледника, обусловленную сокращением его площади и длины. Сравнение данных аэрофотоснимка 1957 г. с космоснимком Sentinel 2А 08.08.2019 г. свидетельствует об общих темпах деградации ледника Малый Азау (рис. 1). Так, уменьшение общей площади ледника Малый Азау за весь рассматриваемый период с 1957 по 2019 г. составило 823,8 тыс. м<sup>2</sup> (13,3 тыс. в год), а сокращение общей длины составило 570 м (9,2 м в год).

Таким образом, общие темпы деградации ледника Малый Азау значительно увеличились в XXI в., достигнув максимума в период с 2007 по 2012 г., тогда как в XX в. темпы его сокращения были незначительными. В целом можно сделать вывод о том, что темпы деградации ледника Малый Азау

замедлились, но интенсивное таяние снежно-фирновой толщи в области аккумуляции ледника в последние годы дает основание предполагать усиление процесса деградации ледника в будущем.

Изменение границ, площади и длины ледника Гарабаши за 1957–2015 гг. представлено на рис. 3 и 4. Данные рис. 3 и 4 свидетельствуют о темпах деградации ледника Гарабаши за период с 1957 по 2019 г. Максимальные темпы сокращения площади ледника Гарабаши в начале XXI в. были отмечены в период с 2007 по 2015 г., а уменьшение длины – с 2009 по 2015 г.

Как видно из рис. 4, а, сокращение общей площади на леднике Гарабаши составило соответственно: 2002–2007 гг. – 32,8 тыс. м<sup>2</sup>; 2007–2009 гг. – 21,4 тыс. м<sup>2</sup>; 2009–2011 гг. – 27,0 тыс. м<sup>2</sup>; 2011–2012 гг. – 23,7 тыс. м<sup>2</sup>; 2012–2014 гг. – 25,1 тыс. м<sup>2</sup>; 2014–2015 гг. – 14,2 тыс. м<sup>2</sup>.



Таблица 1

Средние значения концентрации микроэлементного состава талых ледниковых проб на ледниках Малый Азау и Гарабаши, лето 2019 (мкг/л)

Место отбора и характер проб	Mn	Zn	Ni	Kd	Pb	Cr	Co
Ледник Малый Азау язык ледника, лед (макс-мин)	8±4	46±9	< 5	< 1	74±15	80±20	< 5
Ледник Гарабаши Снег, (Н = 4000 м) (макс-мин)	< 1	7±3	< 5	< 1	230±50	42±8	< 5
ПДК (мкг/л)	100	5000	100	1	30	500 (Cr3+) 50 (Cr6+)	100

Таблица 2

Средние значения концентрации микроэлементного состава талых ледниковых проб на леднике Шхельда лето 2019 (мкг/л)

Место отбора и характер проб	Mn	Zn	Ni	Kd	Pb	Cr	Co
Ледник Шхельды язык ледника, лед (макс-мин)	6±3	25±7	< 5	< 1	17±5	100-200	< 5
ПДК (мкг/л)	100	5000	100	1	30	500 (Cr3+) 50 (Cr6+)	100

Линейное отступление ледника Гарабаши за период с 1957 по 2015 г. представлено на рис. 4, б. Как видно из рис. 4, б, общие темпы сокращения длины ледника в начале XXI в. замедлились. За период с 2002 по 2015 г. темпы отступления ледника Гарабаши замедлились: для западного языка с 41 м до 17 м с 2002–2007 гг. до 2014–2015 гг., а для восточного языка с 35 м до 19 м соответственно.

Проведенный сравнительный анализ данных аэрофотоснимка 1957 г. с космоснимком Sentinel 2A 08.08.2019 г. позволил получить данные об изменениях и темпах деградации ледника Гарабаши (рис. 3). Уменьшение общей площади ледника Гарабаши за рассматриваемый период с 1957 по 2019 г. составило 760 тыс. м<sup>2</sup> (12,3 тыс. м<sup>2</sup> в год), а сокращение общей длины составило 390 м (6,3 м в год).

Геохимические особенности загрязнения ледников Малый Азау и Гарабаши

Изучение геохимических особенностей загрязнения высокогорных ледников Малый Азау и Гарабаши дает возможность провести оценку и выявить степень антропогенного загрязнения тяжелыми металлами. В ходе исследований нами был проведен геохимический анализ снежного покрова и ледникового льда в районе оледенения Приэльбрусья. Средние значения

концентрации микроэлементного состава талых ледниковых проб на ледниках Малый Азау и Гарабаши представлены в табл. 1.

Сравнительный геохимический анализ талых ледниковых проб показал, что наибольший вклад в загрязненность ледниковых отложений вносит эмиссия свинца.

По содержанию свинца выявлена геохимическая аномалия. Содержание свинца в образцах превышает ПДК от 2,5 до 7,5 раза. Средние значения содержания свинца на ледниках составили: Малый Азау (74±15 мкг/л) и Гарабаши (230±50 мкг/л) (табл. 1).

Средние значения концентрации тяжелых металлов в талых ледниковых пробах ледника Малый Азау составили: Mn (8±4 мкг/л); Zn (46±9 мкг/л); Cr (80±20 мкг/л). Содержание таких микроэлементов, как Ni, Kd, Co, в пробах не обнаружено. Порог их определения находится ниже порога их определения, а также ниже их ПДК.

Средние значения концентрации тяжелых металлов в талых ледниковых пробах ледника Гарабаши составили: Zn (7±3 мкг/л); Cr (42±8 мкг/л). Содержание марганца, никеля, кадмия в пробах не обнаружено.

Средние значения концентрации микроэлементного состава талых ледниковых проб на леднике Шхельда представлены в табл. 2.



Ледник Шхельда – долинный ледник, расположенный к юго-востоку от г. Эльбрус, вне вулканического массива. Ледник расположен в долине р. Адыл-Су и относится к правому притоку р. Баксан.

Анализ табл. 2 показал низкое содержание тяжелых металлов в пробах, не имеющих превышение ПДК по каждому микроэлементу. Средние значения концентрации микроэлементного состава талой воды льда на языке ледника Шхельда составили соответственно: Mn –  $6\pm 3$  мкг/л, Zn –  $25\pm 7$  мкг/л, Pb –  $17\pm 5$  мкг/л, Cr – 100–200 мкг/л. Содержание Ni, Kd, Co в пробах не обнаружено. Порог их определения находится ниже порога их обнаружения.

Сравнительный анализ табл. 1 и 2 наглядно показывает, что наличие выявленной геохимической аномалии свинца на ледниках Малый Азау и Гарабаши и их отсутствие на леднике Шхельда показывают наличие связи с вулканическим массивом и литологическим составом г. Эльбрус. Повышенные концентрации содержания свинца в ледниковых отложениях в Приэльбрусье отмечались нами и ранее [5], а также в ряде других работ [6, 7]. Аномалии свинца связаны с локальной геохимической аномалией цинка и свинца Кюкюртлинской рудно-магматической системы.

### Выводы

1. Современное состояние и динамика ледника Малый Азау за период с 1957 по 2019 г. характеризуется общей деградацией оледенения, обусловленной сокращением площади и длины. Деградация оледенения значительно увеличилась, достигнув своего максимума в начале XXI в. в период с 2002 по 2012 г. Сокращение общей площади ледника Малый Азау за период с 1957 по 2019 г. составило 823,8 тыс. м<sup>2</sup> (13,3 тыс. м<sup>2</sup> в год),

а сокращение общей длины составило 570 м (9,2 м в год).

2. Общие темпы деградации ледника Гарабаши за период с 1957 по 2019 г. составили 760 тыс. м<sup>2</sup> (12,3 тыс. м<sup>2</sup> в год), а сокращение общей длины составило 390 м (6,3 м в год).

3. Геохимический анализ проб на ледниках Малый Азау ( $74\pm 15$  мкг/л) и Гарабаши ( $230\pm 50$  мкг/л) выявил геохимические аномалии содержания свинца, превышающего ПДК от 2,5 до 7,5 раза. Выявленная геохимическая аномалия свинца связана с литологическим составом Кюкюртлинской рудно-магматической системы. Содержание никеля, кадмия кобальта в пробах не обнаружено. Концентрации хрома, марганца и цинка в пробах не превышают ПДК.

### Список литературы

1. Роготаева О.В., Носенко Г.А., Хмелевской И.Ф., Тарасова Л.Н. Балансовое состояние ледника Гарабаши (Эльбрус) в 80-х и 90-х годах XX столетия // МГИ. 2003. Вып. 95. С. 111–121.
2. Каталог ледников СССР. Т. 8. Северный Кавказ. Ч. 5. Бассейн рек Малки, Баксана. Л.: Гидрометеониздат, 1970. 145 с.
3. Аджиев А.Х., Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Кондратьева Н.В., Юрченко Н.В. Современное состояние ледников Большого Кавказа. Нальчик: ФГБУ «ВГИ», 2020. 132 с.
4. Золотарев Е.А., Харьковец Е.Г. Эволюция оледенения Эльбруса после малого ледникового периода // Лед и снег. 2012. № 2 (118). С. 15–22.
5. Татаренко Н.В. Концентрации тяжелых металлов в сезонных слоях ледника Гарабаши на южном склоне Эльбруса // Успехи современного естествознания. 2022. № 1. С. 49–55.
6. Керимов А.М., Курашева О.А. Сравнительный анализ концентраций тяжелых металлов в истоках реки Баксан и леднике Гарабаши (южный склон Эльбруса) // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2018. Т. 12. № 1. С. 49–56.
7. Всесезонный туристско-рекреационный комплекс «Эльбрус», Кабардино-Балкарская Республика. Пассажирская подвесная канатная дорога ЕЛ3: Технический отчет по результатам инженерно-экологических изысканий для подготовки проектной документации ООО «Мегаполис». Книга 1. СПб., 2019. 91 с.

## РЕКРЕАЦИОННЫЕ ГЕОМОРФОСИСТЕМЫ ПОБЕРЕЖЬЯ ЮЖНОГО БАЙКАЛА

**Опекунова М.Ю., Евстропьева О.В.**

*ФГБУН Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: opek@mail.ru*

В статье рассматриваются рекреационные геоморфологические системы побережья Южного Байкала. На примере двух ключевых участков с разным сочетанием типов рельефа, урбанизации территории и развития инфраструктуры показаны различия взаимодействия рекреационной структуры и структуры экзогенных геоморфологических процессов. В результате выделены две рекреационные береговые геоморфосистемы с разной степенью проявления опасных геологических процессов, интегрированностью инженерных сооружений в естественную среду. Кругобайкальская рекреационная береговая геоморфосистема площадью 106 км<sup>2</sup> представляет собой вариант положительной интегрированности инженерной системы Кругобайкальской железной дороги в естественную геоморфологическую систему и может характеризоваться как стабильная рекреационная геоморфосистема. Потенциально нестабильными можно считать долинные комплексы, которые (кроме устьевых частей и участков нижнего течения) непосредственно в береговую геоморфосистему не входят, но находятся с ней в непосредственной взаимосвязи, как лучи, отходящие от рекреационной оси. Хамар-Дабанская береговая рекреационная геоморфосистема (побережье г. Байкальск – п. Култук) является собой вариант отрицательной интегрированности инженерной системы Транссибирской железнодорожной магистрали в естественную геоморфосистему. Дополнительными факторами экологической напряженности служат значительная урбанизированность территории (4% от рассматриваемой площади), а также стихийный туризм преимущественно в устьевых системах. Устьевые системы и сопряженные с ними участки аккумулятивных равнин занимают большую часть площади (70%) рассматриваемого участка, потенциально их все возможно отнести к нестабильным. Спектр опасных геологических процессов в местах с максимальной рекреационной нагрузкой – долинные комплексы и устьевые системы: линейная эрозия, заболачивание (фитогенные), уплотнение грунта. Необходима организация мониторинговых мероприятий в пределах потенциально нестабильных зон для каждой из рассмотренных береговых геоморфосистем с целью минимизирования рисков развития опасных экзогенных геологических процессов.

**Ключевые слова:** геоморфосистема, опасные процессы, рекреация, береговые системы, устьевые системы, долинные комплексы

## RECREATIONAL GEOMORPHOSYSTEMS OF THE COAST OF SOUTH BAIKAL AGROECOLOGICAL GROWING BUSINESS

**Opekunova M. Yu., Evstropeva O. V.**

*Institute of Geography. V.B. Sochava SB RAS, Irkutsk, e-mail: opek@mail.ru*

The article deals with recreational geomorphological systems of the South Baikal coast. On the example of two key areas with different combinations of relief types, urbanization of the territory and development of infrastructure, the differences in the interaction between the recreational structure and the structure of exogenous geomorphologic processes are shown. As a result, two recreational coastal geomorphic systems with varying degrees of hazard geological processes, integration of engineering structures into the natural environment were identified. The Circum-Baikal recreational coastal geomorphosystem with an area of 106 sq. km is a variant of positive integration of the engineering system of the Circum-Baikal Railway into the natural geomorphological system and can be characterized as a stable recreational geomorphosystem. Potentially unstable can be considered valley complexes, which (except for the mouth parts and sections of the lower reaches) are not directly included in the coastal geomorphosystem, but are directly interconnected with it, like rays extending from the recreational axis. The Khamar-Daban coastal recreational geomorphosystem (the coast of the Baikalsk city – Kultuk village) is a variant of the negative integration of the engineering system of the Trans-Siberian Railway into the natural geomorphic system. Additional factors of environmental tension are the significant urbanization of the territory (4% of the area under consideration), as well as spontaneous tourism, mainly in the estuarine systems. Estuary systems and associated areas of accumulative plains occupy a large part of the area (70%) of the area under consideration, potentially all of them can be classified as unstable. Thus, with relatively stable and unstable areas, a techno-recreational geomorphic system A range of dangerous geological processes in places with a maximum recreational load – valley complexes and estuarine systems: linear erosion, waterlogging (phytogenic), soil compaction. It is necessary to organize monitoring activities within potentially unstable zones for each of the considered coastal geomorphic systems in order to minimize the risks of developing hazard exogenous geological processes.

**Keywords:** geomorphosystem, hazard processes, recreation, coastal systems, estuarine systems, valley complexes

Организованная рекреационная деятельность главным образом направлена на поиск оптимального размещения объектов рекреации, поэтому специфические и неустойчивые формы и элементы рельефа, которые могут являться прямыми источниками опасности, заведомо исключаются при рекреаци-

онном территориальном планировании. Однако сейсмические условия, как и воздействие многих экзогенных рельефообразующих процессов, полностью исключить невозможно, и они могут оказать как прямое, так и косвенное воздействие на рекреационную деятельность и безопасность человека.

В рамках выполнения данной работы проводились геоморфологические исследования участков побережья с разной степенью рекреационной нагрузки.

Цель исследований заключается в оценке актуальных условий и динамического состояния существующих рекреационных геоморфосистем, направленная на определение оптимальных условий их функционирования.

Разработка данного направления включает в себя: определение границ геоморфосистем (геоморфологических районов); определение геолого-геоморфологических условий конкретных геоморфосистем (геологическое строение территории, геоморфологические характеристики (выделение типов рельефа, спектра геоморфологических процессов); определение степени нарушенности естественного состояния геоморфосистемы и определение степени интегрированности в них элементов урбоинженерно-рекреационных систем. Данные исследования помогут в оценке степени рекреационной нагрузки на элементы рельефа и интенсивность процессов в рамках различных районов и влияния этих

изменений на устойчивость и структуру геосистемы в целом на разных топологических уровнях.

### Материалы и методы исследования

Исследуемая территория расположена в пределах Центральной экологической зоны Байкальской природной территории (ЦЭЗ БПТ) в границах Иркутской области и занимает значительную часть Байкальской рифтовой зоны, представленной непосредственно Байкальской впадиной и ее горным обрамлением. Формирование современного рельефа Прибайкалья связано с проявлением в кайнозой крупных тектонических движений, которые обусловили контрастный облик рельефа, северо-восточную ориентировку основных морфоструктур, а также высокую раздробленность коренной основы, проседание блоков по склонам котловин [1, 2].

Согласно районированию территории ЦЭЗ БПТ по геоморфологической опасности с учетом рекреационной нагрузки [3] территория исследования расположена в пределах двух районов Кругобайкальского (10) и Хамар-Дабанского (11) (рис. 1).

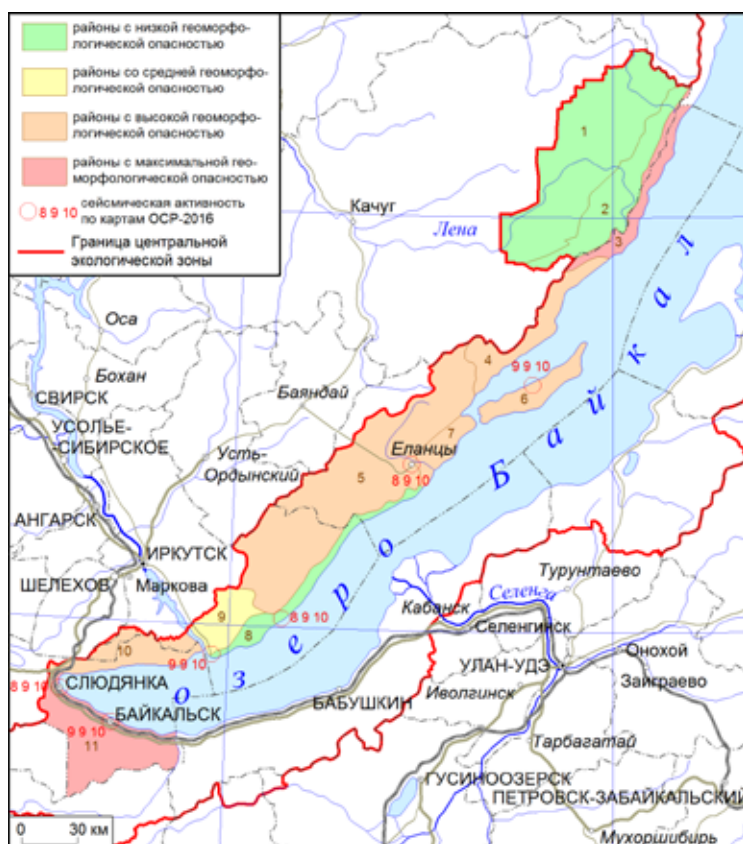


Рис. 1. Районирование территории ЦЭЗ БПТ по геоморфологической опасности с учетом рекреационной нагрузки (красными цифрами обозначена сейсмическая интенсивность по картам ОСР–2015)

Кругобайкальский район характеризуется высокой, Хамар-Дабанский – максимальной геолого-геоморфологической опасностью и рекреационной нагрузкой.

*Кругобайкальский район* занимает южную часть Олхинского плоскогорья (максимальная высота – 975 м), которое занимает треугольник, ограниченный долинами рек Иркут, Ангара и побережьем озера Байкал.

Исследуемый участок *Хамар-Дабанского* района занимает прибрежную полосу равнинных участков – Утуликско-Солзанская и Култукско-Слюдянская низменности, западная оконечность Танхойской равнины, граничащих хребтом Хамар-Дабан.

Главными опасными экзогенными процессами, протекающими в пределах территории исследования и оказывающими серьезное (прямое или потенциальное) воздействие на жизнедеятельность человека и все виды хозяйствования, включая рекреационную деятельность, являются следующие [4]: сели и селевые паводки; оползни и оползни-сплывы; обвалы и осыпи; эрозионные процессы; лавины; дефляция; фитогенные процессы (болота); карст; термокарст; солифлюкция, суффозионно-просадочные процессы; курумы.

Помимо природных процессов, которые могут оказать негативное воздействие на рекреационную деятельность и которые опасны для человека, необходимо учитывать процессы, которые инициированы либо усиливаются при антропогенном воздействии, в частности стихийной рекреации.

Пойменно-русловые, в том числе и устьевые комплексы [5], как и прибрежные геосистемы [6, 7] наиболее уязвимы в процессе антропогенного воздействия.

Исследования выполняются в рамках научного направления экологической геоморфологии, изучающей взаимосвязи и результаты взаимодействия геоморфологических систем любого ранга с системой экологии человека [8]. Отдельную отрасль в этом направлении занимает рекреационная геоморфология, в рамках которой рельеф рассматривается как условия для рекреационной деятельности [6].

В соответствии с поставленными целями и задачами, которые предполагают рассматривать систему рельеф-рекреационная деятельность (рекреация) как уже сформировавшуюся систему – рекреационную геоморфосистему. Основным методом исследования стал метод рекреационно-геоморфологического районирования [9], которое включает сбор данных полевыми

геоморфологическими методами (получение морфологических; морфометрических данных о типах и элементах рельефа; оценку интенсивности экзогенных процессов), позволяющие выявить особенности геолого-геоморфологических условий территории; структуры, интенсивности проявления экзогенных процессов при рекреационной нагрузке разной интенсивности.

### Результаты исследования и их обсуждение

Побережье *Кругобайкальского района* обследовалось от п. Байкал до п. Култук (рис. 2). Участок расположен в поле распространения метаморфических и изверженных пород архейского возраста, четвертичные отложения маломощные. Тип рельефа – эрозионно-денудационный, площадь исследуемого участка – 105,67 км<sup>2</sup>, урбанизированная площадь (п. Байкал) занимает 2,2 км<sup>2</sup>. Береговые склоны на всем протяжении – крутые или отвесные, за исключением участков устьевых систем притоков Байкала, что обуславливает развитие и высокую активность гравитационно-склоновых процессов. В том числе и в откосах железной дороги. Тип берега на этом участке – структурно-абразионный [10].

Ось рекреационной прибрежной геоморфосистемы – Кругобайкальская железная дорога, возведенная в начале прошлого века. Таким образом, по классификации А.В. Бредихина рассматриваемая рекреационная геоморфосистема может характеризоваться как *линейная* [6]. Кругобайкальская железная дорога (КБЖД) по праву считается памятником архитектуры [11–13], прекрасно интегрированным в геоморфологический ландшафт. Основные особенности, позволившие вписаться в ландшафт, это использование местного камня и степень его обработки, позволившие сохранить естественную цветовую гамму и текстуру. Железная дорога проложена непосредственно в коренных породах, отделяясь от акватории озера откосом высотой в среднем 5–6 м и узкой полосой пляжа (фрагментарно отсутствует), затапливаемой во время высоких уровней воды. Точки притяжения рекреационных потоков разделяются на антропогенные: строительно-инженерно-архитектурные сооружения (станции с комплексом зданий, мосты, тоннели, галереи, арки, подпорные стенки, водонаправляющие сооружения) и природные, в том числе и геолого-геоморфологические: береговые мысы, обнажения коренных пород, пляжи.



Рис. 2. Береговые рекреационные геоморфосистемы территории исследования  
 Условные обозначения: 1 – денудационный тип рельефа: обвально-осыпные, оползневые, десертационные склоны; 2 – аккумулятивный рельеф (цифры: 1 – Култукско-Слюдянская низменность; 2 – Утуликско-Солзанская низменность; 3 – Танхойская равнина); 3 – долинные комплексы; 4 – урбанизированные территории; 5 – железная дорога; 6 – автомобильная дорога; 7 – граница геоморфологических систем; 8 – береговые рекреационные геоморфологические системы: А – Кругобайкальская; Б – Хамар-Дабанская; 9 – границы рекреационных геоморфосистем; 10 – точки наблюдения

Процессы в верхних частях коренных склонов преимущественно гравитационные, характеризуются небольшими скоростями протекания, которые, однако, могут усилиться при увеличении антропогенной нагрузки или увеличении обводненности территории.

Что касается развития опасных процессов в откосах железнодорожных насыпей, то они, как правило, минимизируются службами ОАО РЖД – многие участки укреплены берегозащитными сооружениями. Однако существует опасность развития абразионных, гравитационных процессов в откосах дороги при повышении уровня озера.

От железной дороги как основной рекреационной оси часто проходят ответвления рекреационных потоков в долины притоков озера Байкал. Долины притоков на этом участке V-образные, с крутыми склонами, неширокими днищами. Так как склоны задернованы, то проявления обвально-осыпных процессов минимально, в основном преобладают процессы массового сползания грунта, в том числе и криогенного – десертации (крипа). В долинах притоков в устьевых частях (чаще) и нижнего течения расположены турбазы, как правило,

в пределах организованного туристического пространства влияние на интенсивность рельефообразующих процессов минимизировано, однако есть примеры негативного воздействия. В долине р. Щелка у объекта культа – церкви Святой Богородицы возведена дамба, перегораживающая русла, в результате образован небольшой пруд. Возведение таких объектов естественно инициирует развитие и активизацию следующих процессов на прилегающей территории: линейная и плоскостная эрозия, усиление глубинной эрозии ниже по течению, процессы заиления (фитогенные) выше по течению от дамбы (рис. 3).

Территория п. Байкал – относительно стабильная урбанизированная зона, в которой возможно развитие опасных геологических процессов преимущественно гравитационно-склонового типа. Для береговой рекреационной геоморфосистемы, с осью КБЖД, развитие опасных процессов минимизируется мероприятиями дорожных служб, но остается опасность развития и усиления интенсивности рельефообразующих процессов на поверхностях коренных склонов и берегов Иркутского водохранилища.





*Рис. 3. Долина р. Щелка. Церковь Пресвятой Богородицы. Вид на Байкал  
 Фото М.Ю. Опекунова. Дата: 14.07.2021 г.*

Наиболее уязвимыми для развития опасных и негативных для человека, в том числе при увеличении рекреационных нагрузок, становятся долинные комплексы притоков озера Байкал. Участок от п. Байкал до п. Култук можно считать эталонным

для рекреационной береговой геоморфосистемы. Так как степень урбанизированности здесь минимальна, мы можем наблюдать сочетание естественных условий и элементов техногенного объекта КБЖД (рис. 4).



а



б

*Рис. 4. Интеграция сооружений КБЖД в геоморфологический ландшафт (участок Падь Шумиха – Бол. Шумиха):  
 а – тупиковый тоннель в коренном склоне; б – подпорное сооружение «Итальянская стенка».  
 Фото М.Ю. Опекунова. Дата: 16.07.2021 г.*

Хамар-Дабанский участок побережья озера Байкал от г. Байкальск до п. Култук определяется как береговая техно-рекреационная геоморфосистема. Во-первых, функционирование интенсивно используемой ветки Транссибирской железнодорожной магистрали, федеральной автодороги «Байкал»; во-вторых, наличие крупных городов (Слюдянка, Байкальск) определяют степень техногенной нагрузки на территории помимо рекреационной.

Максимальная рекреационная нагрузка, связанная со стихийным туризмом, ложится на прибрежную территорию, которая ограничивается для данного участка линией железной дороги, распространяясь вглубь территории по долинным комплексам притоков озера Байкал. Большую часть (70%) рассматриваемого участка занимают территории аккумулятивного рельефа – низменности, равнины и сопряженные с ними устьевые системы притоков озера Байкал. Морфология и морфодинамические особенности русел способствуют образованию в приустьевых частях долин ряда рек локальных участков аккумуляции, которые одновременно используются как места массового неорганизованного отдыха. Таким образом, данные участки можно охарактеризовать как предрасположенные к возникновению экологической напряженности.

Наиболее уязвимыми для стихийной рекреации становятся ландшафты участков аккумуляции – устьевые участки долин малых рек с блокированными устьями (р. Бабха, Солзан, Бол. Мангилы); участки фитогенных берегов, отделенных от акватории песчано-галечниковыми барами и косами (приустьевая часть долины р. Снежной).

Таким образом, концентрация рекреантов обусловлена: ориентировкой элементов техногеоморфосистемы (линией железной дороги и береговой линией); наличием крупных населенных пунктов, которые генерируют потоки местных туристов, и развитая дорожная инфраструктура.

### Закключение

Наиболее привлекательны не столько исключительно природные ландшафты, сколько ландшафты, в которых тесно и органично переплетены природные и местные исторические либо самобытные культурные и сакральные элементы. Поэтому наибольшую рекреационную нагрузку получили территории длительного освоения и культурного развития, в частности прибрежные ландшафты район КБЖД. С другой сторо-

ны, побережье урбанизированного района привлекательно

Таким образом, районы подвержены наибольшему риску проявления и возникновения геологических опасных процессов, которые часто иницируются и активизируются в результате интенсивной рекреационной нагрузки и приводят к негативным последствиям. По степени интегрированности рекреационной среды в геоморфосистемы исследованной территории побережья озера Байкал можно выделить два варианта динамического состояния геоморфосистем: 1) вариант положительной интегрированности – стабильная рекреационная геоморфосистема КБЖД; 2) вариант отрицательной интегрированности – с относительно стабильными и нестабильными участками техно-рекреационная геоморфосистема (побережье г. Байкальск – п. Култук).

Устьевые системы и долинные комплексы как самые уязвимые и быстро реагирующие на воздействие извне целесообразно выделить в отдельный тип и рассматривать на данном этапе и уровне исследования отдельно.

В пределах рассматриваемой территории представлен практически весь спектр опасных экзогенных геологических процессов. Возможность возникновения их достаточно велика, что должно обязательно учитываться при планировании рекреационной деятельности. Рекомендуется составить паспорт исследуемых участков, отображающий текущее состояние компонентов природной среды, а также организацию мониторинга за ними, которое обеспечит отслеживание динамики геосистемы в результате рекреационного воздействия.

*Исследование выполнено при поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-45-380012 р\_а «Эколого-географические основы управления туристско-рекреационным развитием муниципальных районов центральной экологической зоны Байкальской природной территории».*

### Список литературы

1. Агафонов Б.П. Экзолитодинамика Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Наука, 1990. 176 с.
2. Луг Б.Ф. Геоморфология Прибайкалья и впадины озера Байкал. Новосибирск: Наука, 1978. 214 с.
3. Опекунова М.Ю., Макаров С.А. Оценка опасных геологических процессов при рекреационно-туристской деятельности в Прибайкалье (Иркутская область) // Современные проблемы сервиса и туризма. Научно-практический журнал. Т. 12. № 3. 2018. С. 121–132.
4. СНиП–II–7–81\*. Строительство в сейсмических районах / Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2015.

5. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 3: Антропогенные воздействия, опасные проявления и управление русловыми процессами. М.: КРАСАНД, 2019. 640 с.
6. Бредихин А.В. Рекреационно-геоморфологические системы. Смоленск: Ойкумена, 2010. 328 с.
7. Пономаренко Е.А., Солодянкина С.В. Трансформация прибрежных геосистем озера Байкал под воздействием рекреационной деятельности // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2013. Т. 6. № 1. С. 147–160.
8. Антропогенная геоморфология / Отв. ред. Э.А. Лихачева, В.П. Палиенко, И.И. Спасская. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. 416 с.
9. Мишурицкий Д.В., Бредихин А.В. Комплексная оценка рекреационно-геоморфологического потенциала побережий Белого и Балтийского морей // Геоморфология. 2019. № 1. С. 34–38.
10. Козырева Е.А., Калетова А.В., Рыбченко А.А., Пеллинен В.А., Светлаков А.А., Тарасова Ю.С. Типизация и современное состояние берегов озера Байкал // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 4. С. 453–465.
11. Чертилов А.К. Ветка Иркутск – Байкал – начало железнодорожного обхода Священного моря (Историко-архитектурный очерк) // Известия Лаборатории древних технологий. 2019. Т. 15. № 2. С. 139–157. DOI: 10.21285/2415-8739-2019-2-139-157.
12. Хобта А.В., Аболина Л.А. Тоннели и галереи Кругобайкальского участка Восточно-Сибирской железной дороги // Баландинские чтения: сборник статей ежегодной Всероссийской конференции. Новосибирск: Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств, 2015. С. 291–299.
13. Чертилов А.К. Кругобайкальская железная дорога. Иркутск: Артиздат, 2018. 72 с.



УДК 504.054

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПАХОТНЫХ ПОЧВАХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

<sup>1</sup>Попова Ю.А., <sup>2</sup>Иваненко Н.В.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток,  
e-mail: beautyinside-94@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса»,  
Владивосток, e-mail: natalya.ivanenko@yvsu.ru

В статье приведены данные по содержанию тяжелых металлов (Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Co, Pb) в пахотных почвах Приморского края под посевами риса, овощными культурами, на целинных землях. Содержание тяжелых металлов в почвах показано на примере Хасанского и Спасского районов Приморского края. В образцах почвы определялось содержание подвижных форм металлов атомно-абсорбционным методом. Рассмотрено влияние агротехнических методов, интенсивной химизации на содержание тяжелых металлов в почвах при выращивании риса, сои и овощных культур. Внимание уделялось результатам, полученным с полей, арендуемых китайскими земледельцами. Уровни концентраций металлов сравнивали с таковыми на целинных и залежных участках, а также с пахотными угодьями, возделываемыми местными аграриями, использующими традиционные агротехнические методы, свойственные нашему региону. Рассчитывали показатель суммарного загрязнения почв Zc. Установлены различия в концентрациях тяжелых металлов в пахотных почвах, почвах целинных и залежных участков. Суммарный показатель химического загрязнения почв Zc показал допустимую степень загрязнения. Санитарно-гигиеническая оценка почв свидетельствует об относительно благополучной ситуации на фоне дегумификации, закисления и нарушения баланса обменных катионов в почвах исследуемых районов, арендуемых китайскими земледельцами. Дана оценка дальнейшим перспективам использования почв Приморского края в сельском хозяйстве. Показано, что избыточная химизация почв приводит к их деградации и может способствовать избыточному накоплению тяжелых металлов в почвах. В связи с этим в сельскохозяйственных районах Приморского края необходим регулярный контроль агрохимических показателей экологического состояния пахотных почв.

**Ключевые слова:** Приморский край, тяжелые металлы, загрязнение пахотных почв Приморского края, предельно допустимая концентрация, суммарный показатель загрязнения

## CONTENT OF HEAVY METALS IN AGRICULTURAL SOILS OF PRIMORSKIY KRAI

<sup>1</sup>Popova Yu.A., <sup>2</sup>Ivanenko N.V.

<sup>1</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok, e-mail: beautyinside-94@mail.ru;

<sup>2</sup>Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok, e-mail: natalya.ivanenko@yvsu.ru

The article presents data on the content of heavy metals (Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Co, Pb) in agricultural soils of Primorskiy krai under rice crops, vegetable crops, and on virgin lands. The content of heavy metals in soils is shown on the example of the Khasanskiy and Spasskiy districts of Primorskiy krai. The content of mobile forms of metals was determined in soil samples by the atomic absorption method. The influence of agricultural methods, intensive chemicalization on the content of heavy metals in soils when growing rice, soybeans and vegetable crops is considered. Attention was paid to the results obtained from fields leased by Chinese farmers. The levels of metal concentrations were compared with concentrations in virgin and fallow areas, along with agricultural land cultivated by local farmers using traditional agricultural methods peculiar to our region. The index of total soil pollution with Zc was calculated. The concentrations of heavy metals in agricultural soils, soils of virgin and fallow plots have been differentiated. The total indicator of chemical soil pollution with Zc showed the acceptable degree of pollution. The sanitary and hygienic assessment of soils indicates a relatively favorable situation against the background of dehumification, acidification and disturbance of the balance of exchangeable cations in the soils of the studied areas leased by Chinese farmers. The further prospects for the use of soils of Primorskiy krai in agriculture were estimated. It has been shown that excessive chemicalization of soils leads to their degradation and can contribute to excessive accumulation of heavy metals in soils. In this connection, the regular monitoring of agrochemical indicators of the ecological state of agricultural soils is necessary in the agricultural regions of Primorskiy krai.

**Keywords:** Primorskiy krai, heavy metals, pollution of agricultural soils of Primorskiy krai, maximum permissible concentration, cumulative pollution index

В последние десятилетия в связи с интенсификацией сельского хозяйства, основанной на избыточном применении химикатов, возросла нагрузка на агроэкосистемы. Усилились процессы деградации почв, в том числе загрязнение почв тяжелыми металлами, входящими в состав многих удобрений и химических средств защиты

растений. Лидером по содержанию металлов является фосфатное сырье, содержащее в своем составе Mn, Zn, Sr, Cu, Co, Ni, Cr и другие, а также высокотоксичные Hg, Pb, Cd. Подобный набор элементов содержат калийная селитра, сульфат калия, карбамид, аммиачная селитра, сульфат аммония [1].

Интенсивная деградация сельскохозяйственных почв Дальнего Востока и Приморского края берет начало в 1990-х гг. и связана с прекращением поставок и применения минеральных удобрений и извести. Согласно официальным данным Росстата, в настоящее время более 70 тыс. га мелиорированных земель Приморского края находятся в неудовлетворительном состоянии. Плодородие пахотных почв в крае продолжает снижаться. Огромные площади земель, утратившие хозяйственную ценность или являющиеся источниками негативного воздействия на окружающую среду, относят к категории нарушенные, в связи с изменением почвенного покрова, водного режима и образованием антропогенных ландшафтов в результате производственной деятельности. В пахотных почвах при продолжительном их использовании изменяется количественное содержание микроэлементов.

Усугубляют ситуацию хозяйствующие субъекты, при освоении пахотных земель ставящие основной целью получение прибыли, не заботясь о сохранении и восстановлении почвенных ресурсов. Истощительные технологии выращивания риса, сои, овощных культур, основанные на усиленной химизации, характерны для китайских аграриев, арендующих плодородные земли Приморского края. Растениеводство КНР предусматривает внесение в почву высоких доз минеральных удобрений в количестве, превышающем среднемировое в 10 раз и более. Установлено, что темпы деградации арендуемых китайскими производителями в Приморье почв так же высоки, как в Китае, и они значительно превосходят таковые, свойственные другим российским территориям. Для сравнения, традиционная агротехника выращивания сельскохозяйственных культур, сложившаяся в России, не является ущербной в экологическом отношении [2].

Для отдельных районов Приморского края, с известной спецификой промышленной нагрузки рассматривается аэротехногенный вклад предприятий в загрязнение сельскохозяйственных земель, расположенных в зоне влияния локальных источников. Зоны загрязнения вокруг промышленных предприятий формируются в соответствии с розой ветров и рельефом местности.

Экологические проблемы Приморского края в целом связаны с размещением производств и сельскохозяйственных угодий на обширных территориях с различным уровнем освоенности. Нагрузка на природную среду мозаична, что приводит к серьез-

ным локальным нарушениям [3]. В Приморском крае выделяют территории, где пробы почв не соответствуют гигиеническим нормативам по содержанию металлов: г. Владивосток (Hg, Cr, Pb, Zn, Cu, Cd, Co, Ni, As), Артем (Cr, Pb, Zn, Cu, Cd, Co), Надеждинский район (Cr, Zn, Co), Шкотовский район (Cr, Pb, Zn, Cu, Cd, Co), Кавалеровский район (Cr, Pb, Zn, Cu, Cd), Дальнегорск (Pb, Zn, Mn, Cu, Cd), Уссурийск (Pb, Cu, Cd) [4].

Линейным источником загрязнения (Zn, Pb, Cd) территорий, находящихся в сельскохозяйственном производстве, служит автотранспорт, зона воздействия которого около 100 м.

Загрязнение почв тяжелыми металлами вызывает многие негативные процессы – скорость разложения органического вещества почв, снижение биохимических процессов в почве (полифенолоксидазной, дегидрогеназной и липазной активностей). Для этой группы загрязнителей характерна высокая токсичность в отношении живых организмов, мутагенный и канцерогенный эффекты, воздействие с отдаленными последствиями. Избыточные концентрации тяжелых металлов в почвах приводят к угнетению почвенной микрофлоры и, как следствие, к ухудшению почвенного плодородия, нарушают обменные процессы в растениях, тем самым снижая продуктивность и качество сельскохозяйственной продукции. Вовлекаясь в биологический круговорот, накопление металлов в выращиваемых культурах впоследствии отражается и на здоровье человека [5].

Все это обуславливает необходимость контроля содержания тяжелых металлов в почвах, используемых в сельском хозяйстве. В центре внимания оказываются пахотные почвы.

Цель исследования – изучение современных уровней концентраций Zn, Cu, Pb, Cr, Ni, Co, Mn в пахотных почвах Приморского края.

#### Материалы и методы исследования

Содержание тяжелых металлов в почвах изучали в двух районах Приморского края: Спасском – на луговой глеевой почве, и в Хасанском районе – на аллювиальных почвах. Были исследованы поля, занятые посевами риса, сои и овощными культурами, находящиеся в аренде у китайских производителей не менее 10 лет.

Отбор проб и подготовка к анализу почвенных образцов проводились согласно ГОСТ Р 58595-2019 (Почвы. Почва. Методы

дики (методы) анализа состава и свойств проб почв). Почвенные пробы отбирались буром на глубину пахотного горизонта (0–20–30 см). На аллювиальных почвах, в профиле которых встречалась крупная галька, пробы отбирались лопатой на ту же глубину. Средний образец почвы с каждого поля состоял из 10 индивидуальных проб [6].

В усредненных образцах почвы определяли содержание подвижных форм металлов атомно-абсорбционным методом. Содержание подвижных форм элементов извлекали ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8, согласно общепринятой методике.

Исследования образцов проводили в специализированной лаборатории, использовали техническую базу Центра коллективного пользования Дальневосточного федерального университета (ЦКП ДВФУ).

Уровни концентраций металлов сравнивали с таковыми на целинных и залежных участках, а также с пахотными угодьями, возделываемыми местными аграриями, использующими традиционные агротехнические методы, свойственные нашему региону. Рассчитывали показатель суммарного загрязнения почв Zc.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в исследованных образцах представлено в табл. 1.

Сравнительный анализ полученных данных показал, что минимальные концентрации элементов приурочены к целинным и залежным землям. В зависимости от характера использования поля уровни концентрации элементов отличались от целинных и залежных участков: Zn – в 3–6 раз; Cu, Co и Ni – в 2–3 раза; Mn – в 1,5–2,4 раза. Наибольший разброс значений отмечался для Cr и Pb. Концентрации Cr были выше в 8–30 раз, по отношению к целинным и залежным участкам, Pb – в 1,4–12 раз.

Разброс значений в агрогенных почвах обусловлен различием в их физико-химических свойствах. Так, например, в окультуренной легкосуглинистой почве свинец сравнительно быстро фиксируется минеральными компонентами. В более гумусированной, но и более кислой среднесуглинистой почве свинец в первую очередь связывается органическим веществом. Внесение удобрений меняет уровень и характер фиксации свинца почвами. Хром в почве разновалентен с преобладанием трехвалентного Cr<sup>3+</sup>, обладающего слабой растворимостью в кислой среде. В условиях щелочной среды возможно окисление Cr<sup>3+</sup> до Cr<sup>6+</sup> с образованием растворимых хроматов. Для хрома характерно отсутствие биогенной аккумуляции в гумусовом горизонте, а распределение его по профилю почвы зависит от гранулометрического состава [8].

Таблица 1

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах Спасского и Хасанского районов Приморского края, мг/кг

Район исследования. Почва	Культура	Используемая технология	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni	Co	Mn
Спасский. Почва луговая, глеевая, суглинистая	Рис	КНР	1,76 ±0,26	6,54 ±1,03	1,66 ±0,51	0,24 ±0,03	0,33 ±0,01	0,30 ±0,01	н.о.
	Рис	КНР	3,09 ±0,42	8,57 ±1,02	7,43 ±0,81	0,70 ±0,12	0,21 ±0,01	0,27 ±0,01	126 ±15,1
	Овощи	РФ	2,38 ±0,11	10,82 ±1,05	8,49 ±0,63	0,92 ±0,11	0,28 ±0,02	0,65 ±0,17	н.о.
	Целина	РФ	0,30 ±0,10	3,68 ±0,73	1,23 ±0,22	0,03 ±0,001	0,10 ±0,02	0,26 ±0,01	230 ±14,4
Хасанский. Почва пойменная, на речном аллювии	Соя	КНР	2,80 ±0,25	7,11 ±1,05	26,27 ±5,03	0,41 ±0,10	0,41 ±0,01	0,49 ±0,03	98 ±12,7
	Залежь	РФ	0,50 ±0,10	4,38 ±0,32	2,26 ±0,30	0,04 ±0,001	0,12 ±0,01	0,28 ±0,01	н.о.
Оптимальная обеспеченность почв Приморья микроэлементами (вытяжка – 1 н СН1), мг/кг [7]			2–10	3–5	–	–	–	2–4	100–300

Установлена более низкая обеспеченность исследуемых почв растворимыми формами Mn, чем в целинных почвах (табл. 1). Причина может заключаться в выносе элемента при уборке урожая, недостатке органических удобрений (основной источник Mn) при проведении мелиоративных работ, а также в соотношении валовых и растворимых форм элемента. Содержание и распределение марганца в региональных почвах обусловлено неодинаковыми условиями почвообразования, различиями в гранулометрическом и минералогическом составе и концентрации элемента в почвообразующих породах. Легкорастворимые подвижные соединения марганца преобладают в восстановительных условиях [9–11].

Отрицательное действие ТМ проявляется при определённых условиях почвенной среды, позволяющих приобрести им подвижность, перейти в почвенный раствор и далее в растение.

Тяжёлый гранулометрический состав большинства почв края, обладающий высокой ёмкостью поглощения, предопределяет меньшую опасность загрязнения среды тяжёлыми металлами, а кислая реакция почв – неблагоприятна для их закрепления.

Оценка загрязнения почв тяжёлыми металлами проводилась с использованием критериев предельно допустимых концентраций (ПДК) (СанПиН 1.2.3685-21) (табл. 2, 3) [10].

**Таблица 2**

ПДК химических веществ в почве,  
подвижная форма, мг/кг [12]

Наименование вещества	Величина ПДК (мг/кг) с учетом фона (кларка)
Цинк (Zn)	23,0
Медь (Cu)	3,0
Свинец (Pb)	6,0
Хром (Cr)	6,0
Никель (Ni)	4,0
Кобальт (Co)	5,0
Марганец (Mn)	80,0

Без учета фона, на полях Спасского района, занятых овощными культурами (технология РФ), установлено превышение ПДК свинца в 1,4 раза, в почвах полей под посевами риса (технология КНР) – в 1,1 раз. Концентрации элемента в почве под культурой сои (технология КНР) Хасанского района превышали ПДК в 4,4 раза. Концентрация меди (без учета фона) превышала ПДК во всех пробах почв (включая целинные и залежные земли) исследуемых районов в 1,5–3,6 раз.

С учетом регионального фонового уровня содержание элементов соответствовало критериям предельно допустимых концентраций. Содержание подвижной меди в почвах Приморского края по известным данным находится в диапазоне от 0,2 до 31 мг/кг, кларк меди для Приморья составляет 20 мг/кг. Региональный кларк свинца – 32 мг/кг [7].

Таким образом, экологическая обстановка в отношении содержания химических элементов в почвах Спасского и Хасанского районов характеризуется как благоприятная.

Рассчитывали суммарный индекс загрязнения почвы (МУ 2.1.7.730-99):

$$Z_c = \sum C_i / \text{Спдк}_i - (n - 1),$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го вещества;

$\text{Спдк}_i$  – ПДК  $i$ -го вещества;

$n$  – число суммируемых веществ.

**Таблица 3**

Показатель  
суммарного загрязнения почв  $Z_c$

Категории загрязнения почв	Показатель суммарного загрязнения
Допустимая	1–8
Слабая	8–16
Средняя	16–32
Сильная	32–64
Очень сильная	64–128

Установлена допустимая степень загрязнения почв Хасанского и Спасского районов токсичными элементами (суммарный индекс загрязнения почв меньше единицы).

Не выявлено явных отличий в содержании тяжёлых металлов в зависимости от применяемой технологии (Китай, Россия).

Тем не менее согласно ранее опубликованным данным авторов настоящей статьи по изучению агрохимических свойств почв в указанных районах показано (табл. 4), что применяемая на полях Приморского края китайская технология ведет к их интенсивной дегумификации.

В Спасском районе содержание гумуса за 10 лет уменьшилось на 20%, в Хасанском – почти наполовину (47,0%). Применение китайской технологии кроме дегумификации почв способствовало увеличению их кислотности и снижению суммы поглощенных оснований по сравнению с залежными почвами и почвами, где использовалась отечественная технология, что также свидетельствует о более глубокой их деградации [13].

Таблица 4

Изменение экологических показателей пахотных почв ДФО, используемых китайскими арендаторами, при выращивании риса и других культур [13]

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

### Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о различиях в концентрациях тяжелых металлов в пахотных почвах, почвах целинных и залежных участков. Наибольший разброс значений для рассматриваемых районов характерен для хрома и свинца. Превышения уровней предельно допустимой концентрации (с учетом фона) подвижных форм элементов в почвах не установлено.

Как известно, содержание тяжелых металлов в почве отражается на химическом составе растений. Это подтверждает необходимость как рационального и научно обоснованного внесения удобрений и применения химикатов, так и постоянного контроля содержания элементов и состоянием почвы, понимая при этом, применение каких удобрений способствует достижению наилучших результатов повышения урожайности и безопасности растениеводческой продукции.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что необходимо восстановление системы государственного контроля за состоянием почв, охватывающей регулярными наблюдениями все территории Приморского края.

### Список литературы

1. Гладышев В.П., Пьяных Г.М., Колесникова Е.В., Нуриахметова Н.Р. Минеральные удобрения как источник загрязнения почв и сельскохозяйственной продукции тяжелыми металлами // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2000. № 9. С. 24–27.

2. Голов В.И., Бурдуковский М.Л., Ковшик И.Г. Влияние длительного применения минеральных удобрений на экологию почв юга Дальнего Востока // Аграрные проблемы научного обеспечения Дальнего Востока. 2013. Т. 2. С. 17–27.

3. Коровицкий С.А., Тощая А.А. Загрязнение почв Дальнего Востока тяжелыми металлами // Новая наука: Опыт, традиции, инновации. 2016. № 12–3. С. 9–11.

4. Манахова Н.В., Трунова И.Е. Гигиеническая оценка содержания тяжелых металлов в почве и воде Приморского края // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2009. № 3. С. 47–48.

5. Ковалева Г.В., Старожиллов В.Т., Дербенцева А.М., Назаркина А.В. Почвы и техногенные поверхностные образования в городских ландшафтах. Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2012. 159 с.

6. ГОСТ Р 58595-2019. Почвы. Отбор проб. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с.

7. Голов В.И. Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в пахотных почвах Дальнего Востока // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2010. № 6. С. 19–22.

8. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 342 с.

9. Побилат А.Е., Волошин Е.И. Марганец в почвах и растениях южной части Средней Сибири // Микроэлементы в медицине. 2017. Т. 18. № 2. С. 43–47.

10. Бурдуковский М.Л. Марганец в агрофитоценозах юга Дальнего Востока // Вестник ДВО РАН. 2017. № 2. С. 91–97.

11. Тимофеева Я.О., Голов В.И., Кошелева Ю.А. Микроэлементы в растениях сои Дальневосточного региона России // Вестник ДВО РАН. 2017. № 2. С. 31–35.

12. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания. М.: Стандартинформ, 2021. 469 с.

13. Голов В.И., Бурдуковский М.Л., Иваненко Н.В., Попова Ю.А. Экологическое состояние пахотных почв Дальнего Востока и ближайшие перспективы их использования // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2020. № 1. С. 66–74.

УДК 911.2:574.472

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ  
ЭКОПАРКА «ОЗЁРА НА СНЕЖНОЙ»  
(ХРЕБЕТ ХАМАР-ДАБАН, ЮЖНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)**

<sup>1,2</sup>Софронов А.П., <sup>1</sup>Софронова Е.В.

<sup>1</sup>ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН», Иркутск, e-mail: alesofronov@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», Иркутск

Изучение состояния природных комплексов северного макросклона хребта Хамар-Дабан представляет большой научный интерес, так как данная территория является в Прибайкалье крупнейшим сочетанием рефугиальных экосистем. Мониторинг их состояния – важная научная задача в рамках контроля состояния природной среды региона. В последние годы на всем северном макросклоне хребта прослеживается активизация усыхания кедрового и пихтового древостоя, что может быть усилено развитием рекреационной деятельности в центральной части территории, в пределах курортной местности экопарк «Озёра на Снежной». Установлено, что в настоящее время в растительном покрове в окрестностях данных озер, являющихся основным объектом привлечения отдыхающих, наблюдается значительная деградация растительного покрова, но уже на небольшом удалении от территории рекреационной местности нарушенность ценозов удовлетворительная. В результате исследования установлено, что в пределах экопарк «Озёра на Снежной» происходит замена коренного растительного покрова на типичный набор видов нарушенных местообитаний и свойственных населенным пунктам в данном районе. Важным положительным моментом, установленным в ходе исследования, является факт незначительного влияния освоения территории рекреационной местности на прилегающие сообщества. В силу климатических особенностей местности производные сообщества по структуре и составу близки к коренным. Выявлено разнообразие полужесткокрылых насекомых (отряд Heteroptera) и их распределение по растительным сообществам. Видовой состав полужесткокрылых, как и флоры, на нарушенных местообитаниях обеднен по сравнению с малонарушенными сообществами. В первую очередь, из популяций элиминируются редкие, уязвимые, стенобионтные виды. Из-за неконтролируемо развивающейся тропиной сети наибольший урон получают обитатели поверхности почвы и растительного опада. Требуется развитие рекреационной деятельности с максимально возможной минимизацией влияния на природные комплексы.

**Ключевые слова:** растительный покров, Прибайкалье, Хамар-Дабан, Heteroptera, рекреация, рефугиум

**CURRENT STATE OF NATURAL COMPLEXES  
OF ECOPARK “LAKES ON SNEZHNYA RIVER”  
(KHAMAR-DABAN RIDGE, SOUTHERN CISBAIKALIA)**

<sup>1,2</sup>Sofronov A.P., <sup>1</sup>Sofronova E.V.

<sup>1</sup>V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of the Russian Academy of Science,  
Irkutsk, e-mail: alesofronov@yandex.ru;

<sup>2</sup>Irkutsk State University, Irkutsk

The study of state of the natural complexes of the northern macroslope of the Khamar-Daban ridge is great scientific interest, since this territory is the largest combination of refugia ecosystems in the Baikal region. Monitoring their condition is an important scientific task in the framework of monitoring the state of the natural environment in the region. In recent years on the entire northern macroslope of the ridge, an activation of the drying of Siberian cedar and fir forest stands has been observed, which can be enhanced by the development of recreational activities in the central part of the territory within the resort area of the “Lakes on Snezhnaya River” ecopark. It has been established that at present, in the vegetation cover in the vicinity of these lakes, which are the main object of attracting vacationers, there is a significant degradation of the vegetation cover, but already at a small distance from the territory of the recreational area, the violation of cenoses is satisfactory. As a result of the study, it was found that within the “Lakes on Snezhnaya River” ecopark the indigenous vegetation cover is being replaced by a typical set of types of disturbed habitats and characteristic of settlements in the area. An important positive point, established in the course of the study, is the fact that the development of the territory of a recreational area has an insignificant impact on the surrounding communities. Due to the climatic features of the area, the derived communities are close in structure and composition to the indigenous ones. The diversity of true bugs (order Heteroptera) and their distribution among plant communities were revealed. The species composition Heteroptera insects, as well as flora, is depleted in disturbed habitats compared to intact communities. First of all, rare, vulnerable, stenobiont species are eliminated from populations. Due to the uncontrolled development of the path network, the inhabitants of the soil surface and plant litter receive the greatest damage. Requires the development of recreational activities with the maximum possible minimization of the impact on natural complexes.

**Keywords:** vegetation cover, Baikal region, Khamar-Daban Ridge, Heteroptera, recreation, refugia

Территория северного макросклона и предгорного шлейфа хребта Хамар-Дабан является наиболее значительным по площади и видовому разнообразию рефугиумом

неморальных видов флоры в Восточной Сибири. Кроме этого, данная территория полностью входит в состав Центральной экологической зоны Байкальской природ-

ной территории и является частью территории Прибайкалья, имеющей статус Всемирного природного наследия ЮНЕСКО. Эти факты обуславливают повышенное внимание к природным комплексам района и необходимость внимательного наблюдения за их состоянием.

Цель исследования – оценить современное состояние природных комплексов на территории рекреационной местности экопарк «Озера на Снежной» и прилегающих к местности территориях.

В последние годы на территории Хамар-Дабана наблюдается деградация кедрового и пихтового древостоя [1], имеющего значительные масштабы. В наименьшей степени данным процессом оказалась затронута центральная часть хребта, территория с активно развивающейся рекреационной деятельностью. Кроме этого, в долине р. Снежной отмечается высокая концентрация видов флоры, занесенных в Красную книгу Иркутской области (2020) [2]. Совокупность данных фактов свидетельствует о высокой природоохранной роли природных комплексов территории, мониторинг которой – важная биогеографическая задача. В статье приводятся данные о современном состоянии ценозов района исследования, включающих в себя данные о растительном покрове и его населении полужесткокрылых. Исследование проведено в продолжение начатых ранее наблюдений за состоянием биоты района [1; 3].

#### *Общая характеристика территории исследования*

Озеро Байкал расположено практически в центре субконтинента Северная Азия. Субширотное расположение и вытянутая форма озера с горным окружением создает резкие контрасты климатических условий на его берегах, из которых наиболее специфично именно побережье хребта Хамар-Дабан. На этой территории происходит взаимопроникновение природных комплексов нескольких крупных горных физико-географических областей: Байкало-Джугджурской и Южносибирской. Высоты горных хребтов местности, в совокупности с широкой амплитудой эколого-климатических условий местообитаний, при относительно невысоком видовом разнообразии древесных пород, образующих лесной покров Хамар-Дабана, формируют большое разнообразие и сложную структуру геосистем региона.

Согласно геоботаническому районированию территория исследования распола-

гается в пограничной зоне взаимодействия фитоценозов провинций двух специфических областей: Байкальской озерно-котловинной провинции Байкало-Джугджурской гольцово-горно-таежной области и Хамар-Дабанской гольцово-горно-таежной провинции Южносибирской горно-таежной области. Для каждой из областей характерны собственные наборы природных комплексов, что в результате создает собственный для Хамар-Дабана облик.

Обследованный ключевой участок расположен у устья горной долины в месте выхода р. Снежная на равнинную территорию предгорий хребта у подножия горных склонов и частично охватывает подгорно-предгорную равнину у подножия Хамар-Дабана. Здесь на конечных голоценовых моренных отложениях расположено несколько водоемов (по некоторым данным, образовавшихся на месте карьеров по добыче стройматериалов для Транссибирской железной дороги в начале XX в.).

Эколого-климатические условия территории резко отличаются от преобладающего в Иркутской области резко континентального климата. В климатических условиях северного макросклона Хамар-Дабана прослеживается падение континентальности климата, а годовое количество осадков составляет примерно 1000 мм в год. Это в среднем на 50% превышает аналогичные показатели на основной территории Прибайкалья, данные осадки в зимний период формируют значительный по мощности снежный покров, который предохраняет почву зимой от сильного промерзания.

Сходное с приморскими побережьями влияние водных масс оз. Байкал сглаживает суточные и годовые перепады температур, вызывая задержку начала вегетации, но и препятствуя ранним заморозкам осенью.

Вся совокупность климатических факторов и значительное количество туманов, сформированных испарениями с поверхности озера, способствует развитию здесь тайги из пихты (*Abies sibirica*) и кедра (*Pinus sibirica*) (названия видов флоры на латинском языке даны в соответствии с монографией С.К. Черепанова [4], дополненной современными уточнениями некоторых названий по «Конспекту флоры Иркутской области» [5]). В травяном покрове лесов хребта широко распространены реликтовые виды различных геологических эпох прошлого [6; 7].

Среднегодовая температура воздуха колеблется от 0,3 °С на побережье до -2 °С в горах. Диапазон средней темпе-

ратуры воздуха самого холодного месяца года января колеблется от  $-18^{\circ}\text{C}$  на прибрежных местообитаниях до  $-24^{\circ}\text{C}$  в подгольцовом поясе. В самый теплый месяц июль диапазон температур побережья/высокогорья составляет от  $+16^{\circ}\text{C}$  до  $+10^{\circ}\text{C}$ . Различия наблюдаются и в количестве осадков на северном макросклоне хребта. Если на прибрежной территории (460 м над ур. моря) у Байкала выпадает 450–514 мм в год, то в высокогорье (от 1700 м над ур. моря и выше) уже от 783 до 1564 мм в год, в зависимости от расположения в мезорельефе. Около 70% всего количества осадков выпадает в период с апреля по октябрь. Как уже отмечалось выше, из-за большого количества осадков на северном макросклоне и на предгорном шлейфе уже к середине зимы формируется мощный снежный покров, достигающий на побережье Байкала мощности до 0,7–0,9 м, а у верхней границы леса хребта 1,2–1,6 м. Снежный покров оказывает огромное влияние на температурный режим почв в зимний период, которые обычно лишь слабо промерзают в верхней части профиля, а иногда не замерзают совсем на протяжении нескольких лет [8; 9]. Слабое промерзание почвы позволяет не вымерзнуть и сохраняться здесь теплолюбивым видам-реликтам.

Южный макросклон Хамар-Дабана сильно отличается по своим эколого-климатическим характеристикам от северного, и, располагаясь в дождевой тени, он отличается от последнего высокой континентальностью климата.

На хребте преобладают высоты в 1500–2000 м над ур. моря, ширина самого хребта не превышает 30–35 км, а водораздел удален от Байкала на 10–15 км. Современный орографический облик хребта сформирован структурно-литологическими особенностями горных пород, морфологически нарушенными новейшими тектоническими подвижками и эрозионно-денудационными процессами голоцена. Западная часть хребта имеет наиболее выраженный альпийский рельеф, в то время как плоские формы водораздела восточной части хребта образованы древним пенеблемом.

В отношении характера рельефа центральная часть хребта Хамар-Дабан, где расположен экопарк, характеризуется преобладанием максимальных высот из всего хребта, резко расчлененным альпийским рельефом, крутыми горными склонами, изрезанными многочисленными V-образными речными долинами шириной в первые сот-

ни метров. В высокогорье повсеместно присутствуют следы оледенения: трог, цирки, остроконечные скальные гребни и гряды, где в настоящее время отмечаются и активные лавинные и селевые процессы [8]. Склоны хребта здесь круто обрываются к широкой плоской подгорно-приозерной равнине, занятой болотами и мелколиственными заболоченными лесами.

Главными лесообразующими породами на склоне Хамар-Дабана, обращенном к Байкалу, выступают пихта сибирская (*Abies sibirica*), кедр сибирский (*Pinus sibirica*) и ель обыкновенная (*Picea obovata*). В качестве содоминантов в коренных и условнокоренных лесах к этим породам примешиваются обыкновенная сосна (*Pinus sylvestris*) и сибирская лиственница (*Larix sibirica*).

Значительная роль в древостое подгорного пояса принадлежит мелколиственным породам – березам (*Betula pendula*, *B. platyphilla* и др.) и осине (*Populus tremula*). В горно-таежных сообществах доминирует береза пушистая (*Betula pubescens*). Мелколиственные породы не только активно участвуют в сложении древостоя коренных сообществ, но и образуют основную долю производных лесов и восстановительных рядов на местах нарушенных местообитаний, основная доля которых приходится на подгорный пояс. Древостой приречных ценозов в горных долинах образует тополь душистый (*Populus suaveolens*).

Ведущей закономерностью пространственного строения растительного покрова в районе исследования является высотная поясность. Поясность обусловлена горным рельефом и значительной высотой хребта, что позволило сформироваться высокогорному, горно-таежному и подгорному поясам [8]. Также здесь широко встречаются фитоценозы, имеющие а зональное распространение – болота и луга, которые отмечаются во всех поясах растительности. Из-за высокой нарушенности подгорных лесов и лесов нижней части горно-таежного пояса на северном макросклоне доминируют производные мелколиственные березово-осиновые леса.

Подгорный пояс в районе экопарка выражен хорошо, в основном его сообщества занимают здесь конусы выноса горных рек и предгорно-подгорную равнину Хамар-Дабана. Леса подгорного пояса наиболее нарушены из всего растительного покрова хребта, здесь долгое время велось (и ведется) активное хозяйственное освоение территории. Хозяйственная деятельность, стро-



ительство Транссибирской железной дороги и сопутствующей автотрассы привело к разрушению коренных кедрово-пихтовых лесов и их замене производными мелколиственными травяными лесами с незначительными вкраплениями сохранившихся ненарушенных лесов.

Часть территории подгорной равнины у подножия склонов Хамар-Дабана занимают олиго- и мезотрофные осоково-сфагновые и кустарничково (*Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *Ledum palustre*, *Oxycoccus microcarpus*)-осоково (*Carex* sp.)-сфагновые (*Sphagnum* sp.) болота с редкостойными насаждениями из кедра, пихты, ели и березы [10].

Нижняя часть склонов горно-таежного пояса хребта, как и подгорный пояс, также занята сукцессионными рядами производных мелколиственных (преимущественно) лесов из березовых и осиново-березовых травяных насаждений. Условно-коренные сосново-кедрово-лиственничные и лиственнично-кедрово-сосновые душекиевые (*Duschekia fruticosa*) кустарничково (*Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *Ledum palustre*)-травяно (*Trientalis europaea*, *Maianthemum bifolium*)-моховые леса.

Горно-таежные южносибирские формации лесов с доминированием пихты и кедра формируют основной растительный покров северного макросклона Хамар-Дабана с вариантами сукцессионных рядов с лиственницей сибирской (*Larix sibirica*), сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и мелколиственными породами (*Betula platyphylla*, *B. pendula*, *B. pubescens*, *Populus tremula*). В составе горно-таежных лесов преобладают кустарничковые (*Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *Ledum palustre*) мелкокрайно (*Trientalis europaea*, *Linnaea borealis*, *Maianthemum bifolium*)-зеленомошные (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*) сообщества. На склонах южных экспозиций доминируют кедровые кустарничковые травяные леса, на теневых склонах – кедрово-пихтовые чернично-багульниковые зеленомошные с участием ели сообщества. На днищах долин и по берегам горных рек произрастают серийные темнохвойно-тополевые разнотравные леса.

Подгольцовую часть горно-таежного пояса образуют пихтово-кедровые и кедрово-пихтовые можжевельниковые (*Juniperus sibirica*, *J. communis*) баданово (*Bergenia crassifolia*)-кустарничково (*Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *Ledum palustre*)-зеленомошные леса.

Пояс подгольцовых субальпийских редколесий образуют заросли кедрового стланика, кашкарово (*Rhododendron aureum*)-чернично (*Vaccinium myrtillus*)-бруснично (*Vaccinium vitis-idaea*)-зеленомошные фитоценозы [10].

Эдификатором кустарниковых насаждений субальпийского пояса выступают ценозы кедрового стланика (*Pinus pumila*), которые образуют здесь комплексные сочетания с кустарничковыми (*Phyllodoce caerulea*, *Rhododendron aureum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Ledum palustre*) тундрами и субальпийскими (*Aquilegia glandulosa*, *Bergenia crassifolia*, *Veratrum lobelianum* и др.) лугами.

Высокогорные местообитания (гольцовый пояс) заняты южносибирскими комплексными сочетаниями филодоциево (*Phyllodoce caerulea*)-травяных (*Aquilegia glandulosa*, *Bergenia crassifolia*, *Veratrum lobelianum* и др.) горных тундр, с развитием на низких местообитаниях, примыкающих к водотокам и водоемам, альпийских лугов из водосбора, осок (*Carex* sp.), купальниц (*Trollius* sp.) и других видов.

В отдельных, часто изолированных, местообитаниях (рефугиумах) северного макросклона Хамар-Дабана на всем высотном профиле присутствуют условия, которые позволили сохраниться ряду реликтовых для флоры Сибири видов, принимавших активное участие и имевших более широкое распространение в растительном покрове региона в прошлые геологические эпохи, когда на территории Прибайкалья преобладали неморальные леса [6; 7]. Большинство этих видов сейчас формируется и обитает в травяном покрове темнохвойных (кедрово-пихтовых и пихтовых) и приречных смешанных лесов долин ряда рек. Один из наиболее крупных рефугиумов расположен в долине реки Снежной.

#### Материалы и методы исследования

Подробная характеристика растительного покрова местности экопарка и его пространственная структура даны в предыдущих публикациях [1; 3]. В настоящем исследовании проведена актуализация данных предыдущих работ. Исследования природных комплексов были проведены в отношении растительного покрова и модельной группы насекомых – представителей отряда Heteroptera – полужесткокрылых, или клопов. Исследования растительного покрова проводились общепринятыми полевыми геоботаническими методами [11]. Описания фитоценозов составлялись в летний пери-

од 2021 г. и охватили все типы сообществ, примыкающих к рекреационной местности, а также было проведено обследование флористического состава на самой территории. Оценка состояния древостоя и масштабы усыхания деревьев оценивались путем дистанционной съемки с квадрокоптера Mavic 2 Pro.

Комплексы полужесткокрылых насекомых были исследованы также в летний период 2021 г. классическими эколого-фаунистическими методами [3; 12]. После чего проведено сравнение составов энтомокомплексов по собственным и литературным данным за прошлые годы по этой территории [3; 13; 14].

### Результаты исследования и их обсуждение

Подробная характеристика растительного покрова местности дана в предыдущих публикациях [1; 2]. В настоящем исследовании проведена актуализация данных предыдущих работ.

Обследования выявили общее удовлетворительное состояние растительных сообществ, примыкающих к основной территории экопарка, за исключением дороги вдоль р. Снежной и туристических троп, которые в зависимости от степени нагрузки (сильной или слабой) либо лишены растительного покрова, либо он представлен устойчивыми к вытаптыванию видами соответственно.

Состояние прилегающих к экопарку сообществ оценивается как удовлетворительное, малонарушенное, фактов распространения площадей усыхающего кедрового древостоя, пораженного бактериальной водянкой кедр

[1], по сравнению с 2018 г., не выявлено. Отмечаются единичные сухие экземпляры кедр и пихты, в незначительном проценте содержащиеся в лесном покрове.

На территории самого экопарка коренная растительность отсутствует, имеются только отдельные структурные элементы этих сообществ: тополя (*Populus suaveolens*), кедры (*Pinus sibirica*), пихты (*Abies sibirica*), сосны (*Pinus sylvestris*) и др. виды (рис. 1, 2). Относительно ненарушенный древостой сохраняется по берегам озер, кроме мест расположения баз отдыха. Однако другие ярусы сообществ в этих лесах нарушены достаточно сильно или уничтожены полностью. На основной территории курортной местности доминируют рудеральные виды: подорожник средний (*Plantago media*), клевер ползучий (*Trifolium repens*), мятлик приземистый (*Poa supina*), одуванчик (*Taraxacum* sp.) и др., с участием части видов коренных сообществ: вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii*), герань сибирская (*Geranium sibiricum*), купырь лесной (*Anthriscus sylvestris*), яснотка белая (*Lamium album*), пятнами встречается бадан (*Bergenia crassifolia*) и др. виды.

В местах недавней вырубki лесов под строительство баз отдыха прослеживается постепенное выгорание тенелюбивых видов, оказавшихся в условиях высокой инсоляции, и проникновение рудеральных видов (рис. 3). Отмечено иссушение и угнетение растений, пятна хлороза на побегах, гибель подростa. Особенно сильное поражение отмечено на экземплярах пихты, черники (*Vaccinium myrtillus*) и плауна булавовидного (*Lycopodium clavatum*).



Рис. 1. Результаты чрезмерной нагрузки на тропы, видны обнажившиеся корни деревьев



*Рис. 2. Вытоптаный кустарничково-травяной покров*



*Рис. 3. Выгорание кустарников кустарничково-травяного яруса в местах вырубki древостоя*



*Рис. 4. Эрозия почвенного покрова на популярном маршруте на г. Шапка Мономаха*





Рис. 5. Вырубленные деревья на вершине г. Шапка Мономаха

Активное использование тропы для подъема на популярный туристический объект Шапка Мономаха, привело к началу эрозионных процессов на склоне горы (рис. 4). На вершине горы для улучшения обзора были вырублены деревья, здесь в настоящее время происходит активизация эрозии, которая, скорее всего, усилится после того, как сгниют корни и исчезнет препятствие для активного смыва рыхлых отложений, что приведет к обнажению скального массива. В дальнейшем возможно полное обезлесивание вершины (рис. 5).

Состояние популяций охраняемых краснокнижных видов растений на территории экопарка неудовлетворительное. Отмечено два охраняемых вида, занесенных в Красную книгу Иркутской области (2020) [2] со статусами «редкий вид»: вальдштейния тройчатая (*Waldsteinia ternata*) и ветреница алтайская (*Anemone altaica*). Виды представлены ограниченными популяциями, которые занимают площадь в несколько квадратных метров, в стороне от сети троп.

По сравнению с периодом предыдущих исследований отмечается активное расширение территорий с рекреационным использованием и строительство новых баз отдыха.

В дополнение к исследованию состояния растительного покрова, на основе собранного материала из наиболее характерных видов клопов для каждой растительной ассоциации выделены следующие фаунистические комплексы.

**Темнохвойные леса (из ели, пихты, кедра)**

В древесном ярусе обнаружены:

*Acomporis alpines*, *Anthocoris nemorum*, *Aradus lugubris*, *A. corticalis*, *A. crenaticollis*.

В травяном ярусе:

на папоротниках обитают *Monalocoris flicis*, *Bryocoris pteridis*, для остального травостоя характерны: *Deraeocoris punctulatus*, *Capsus wagneri*, *Leptopterna dolabrata*, *Lygocoris pabulinus*, *Labops sahlbergi*, *Plagiognatus collaris*.

Поверхность почвы, растительный опад: *Globiceps flavomaculatus*, *Pithanus hrabei*, *Drymus brunneus brunneus*, *D. parvulus*, *Ligyrocoris sylvestris*, *Rhyparochromus pini*.

**Мелколиственные леса (из тополя и осины с участием ив и берёз)**

Древесный ярус:

*Aradus angularis*, *A. betulae*, *Kleidocerys resedae resedae*, *Acanthosoma haemorrhoidalidis angulatum*, *Elasmostethus interstinctus*, *Elasmucha fieberi*, *E. grisea*.

Травяной ярус:

на папоротниках обитают *Monalocoris flicis*, *Bryocoris pteridis*, для остального травостоя характерны: *Nabis flavomarginatus*, *Adelphocoris lineolatus*, *A. quadripunctatus*, *Lygocoris pabulinus*, *Blepharidopterus angulatus*, *Orthops kalmi*, *Labops sahlbergi*, *Orthocephalus vittipennis*, *Myrmus miriformis miriformis*, *Dolycoris baccarum*.

Поверхность почвы, растительный опад:

*Globiceps flavomaculatus*, *Nysius ericae ericae*, *N. helveticus*, *Pachybrachius fracticolis*, *Ligyrocoris sylvestris*.

**Гигрофитные луга и болота**

*Adelphocoris seticornis*, *Capsus cinctus*, *C. wagneri*, *Polymerus palustris*, *Leptopterna dolabrata*, *Stenodema trispinosa*, *S. holsata*, *Trigintylus longitarsis*, *Labops sahlbergi*, *Orthocephalus vittipennis*, *O. saltator*, *Cymus glandicolor*, *Neottiglossa pusilla*, *N. metallica*, *Sciocoris distinctus*.

### Заключение

В результате исследования установлено, что в пределах экопарка «Озёра на Снежной» происходит замена коренного растительного покрова на типичный набор видов нарушенных местообитаний и свойственных населенным пунктам в данном районе. Положительным моментом, установленным в ходе исследования, является факт незначительного влияния освоения территории рекреационной местности на прилегающие сообщества. Общее их состояние оценивается как удовлетворительное, фактов распространения площадей усыхающего кедрового древостоя, по сравнению с 2019 г., не выявлено. Отмечаются единичные сухие экземпляры кедра и пихты, в незначительном проценте содержащиеся в лесном покрове.

В отношении населения полужесткокрылых выявлено, что на территории экопарка, где практически отсутствует растительность, также отсутствуют и полужесткокрылые насекомые. На обочинах дорог и на небольших островках с устойчивыми к вытаптыванию видами растений встречаются отдельные многоядные эвритопные виды клопов (в основном виды родов *Lygus* и *Nysius*). В непосредственной близости к объектам рекреации от антропогенного воздействия больше всего страдает фауна поверхности почвы и растительного опада: рядом с развитой тропиной сетью отсутствуют такие виды, как *Globiceps flavomaculatus*, *Pithanus hrabei*, *Drymus brunneus brunneus*, *D. parvulus*, *Pachybrachius fracticollis*. Там, где остаётся растительность, сохраняются и характерные для неё виды, однако если растительность сильно изрежена, многие виды исчезают. Так, на травяном ярусе около экопарка отсутствуют или встречаются крайне редко следующие виды: *Capsus wagneri*, *Lygocoris pabulinus*, *Labops sahlbergi*, *Blepharidopterus angulatus*, *Plagiognatus collaris*. В силу того что гигрофитные луга и болота менее всего посещаются туристами и практически не имеют сети троп, там сохраняется наиболее полный видовой состав клопов.

Развитие рекреационной деятельности в данном районе должно вестись в максимально щадящем режиме для природных комплексов, роль которых для сохранения экологического и видового многообразия Прибайкалья чрезвычайно велика. Требуется ведение мониторинга состояния природных комплексов района с целью своевременного реагирования на их изменения,

чтобы не допустить деградации и уничтожения ценных объектов биоты Прибайкалья.

*Исследование выполнено при поддержке РФФИ и правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-45-380012 р\_а «Эколого-географические основы управления туристско-рекреационным развитием муниципальных районов центральной экологической зоны Байкальской природной территории», а также при частичной финансовой поддержке государственного задания № АААА-А21-121012190059-5.*

### Список литературы

1. Воронин В.И., Софронов А.П., Морозова Т.И., Осолков В.А., Суховольский В.Г., Ковалёв А.В. Ландшафтная приуроченность бактериальных болезней темнохвойных лесов хребта Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье) // География и природные ресурсы. 2019. № 4 (158). С. 56-65. DOI: 10.21782/GIPRO206-1619-2019-4(56-65).
2. Красная книга Иркутской области / Ред. С.М. Трофимова. Улан-Удэ: Изд-во ПАО «Республиканская типография», 2020. 552 с.
3. Софронова Е.В., Софронов А.П., Дементьева М.К. Комплексы полужесткокрылых (Heteroptera) насекомых Северного макросклона хребта Хамар-Дабан // Байкальский зоологический журнал. 2017. № 1 (20). С. 18-23.
4. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
5. Конспект флоры Иркутской области (сосудистые растения) / Под ред. Л.И. Мальшева. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2008. 327 с.
6. Чепинога В.В., Мишина А.В., Протопопова М.В., Павличенко В.В., Быстров С.О., Вилор М.А. Новые данные о распространении некоторых неморальных реликтовых растений в предгорьях хребта Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье) // Ботанический журнал. 2015. Т. 100. № 5. С. 478-489. DOI 10.1134/S0006813615050063.
7. Чепинога В.В., Протопопова М.В., Павличенко В.В. Выявление вероятных плейстоценовых микрофугиумов на северном макросклоне хребта Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье) // Сибирский экологический журнал. 2017. Т. 24. № 1. С. 44-50. DOI: 10.15372/SEJ20170105.
8. Экологический атлас Байкальского региона. Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2017. 378 с.
9. Казановский С.Г. Флора мохообразных горной страны Хамар-Дабан: итоги и перспективы изучения // Ботаника в современном мире. Труды XIV Съезда Русского ботанического общества и конференции «Ботаника в современном мире» (Махачкала, 18–23 июня 2018 г.). 2018. Т. 3. С. 37-39.
10. Суворов Е.Г., Новицкая Н.И. Организация структуры растительности геосистем юго-западного Прибайкалья // География и природные ресурсы. 2015. № 4. С. 53-67.
11. Шенников А. П. Введение в геоботанику: учебное пособие. Л., 1964. 447 с.
12. Голуб В.Б., Цуриков М.Н., Прокин А.А. Коллекции насекомых: сбор, обработка и хранение материала. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 339 с.
13. Дидоренко С.В., Дидоренко С.И. Материалы по фауне наземных полужесткокрылых (Heteroptera) северо-западного макросклона хребта Хамар-Дабан // Наземные членистоногие Сибири и Дальнего Востока. Иркутск: Изд-во Иркутского гос. ун-та, 1985. С. 80-89.
14. Софронова Е.В. К изучению фауны полужесткокрылых насекомых (Heteroptera) северного макросклона хребта Хамар-Дабан (Восточная Сибирь) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2015. № 2 (30). С. 82-95. DOI: 10.17223/19988591/30/6.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ

Степанова Н.Е.

*ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», Волгоград,  
e-mail: nat\_stepanowa@mail.ru*

В статье представлены показатели деятельности нефтегазовой отрасли РФ. Отмечен уровень опасности предприятий данного направления на всех этапах производственных процессов – от разведки до переработки углеводородов. Обозначено приоритетное направление развития нефтегазового сектора на современном этапе – соблюдение требований по сокращению выбросов парниковых газов в атмосферный воздух, снижение уровня воздействия на климат и рекультивация нарушенных территорий. На примере нефтеперерабатывающего предприятия, расположенного в Южном федеральном округе РФ, с уровнем переработки нефти 3 000 000 т в год показана природоохранная деятельность, направленная на обеспечение экологической безопасности путем учета всех имеющихся источников негативного воздействия в целях минимизации воздействия на компоненты окружающей среды. В работе представлены производственные показатели предприятия по переработке нефти, перечень загрязняющих веществ (ЗВ), выбрасываемых в атмосферный воздух (АВ) источниками выбросов. Отмечено, что при проведении инвентаризации источников выбросов на рассматриваемом предприятии зарегистрировано 189 видов газообразных ЗВ общей массой в среднем 2423,13867127 т в год. Проанализированы мероприятия по обращению с отходами и представлена характеристика мест временного хранения (накопления) отходов. В целом на предприятии образуются 36 видов отходов в количестве 4754,281 т, обращение с отходами на предприятии ведется в строгом соответствии с действующим природоохранным законодательством. Соблюдение требований экологической безопасности отражено в программе производственного экологического контроля предприятия, утвержден график проведения мониторинга состояния атмосферного воздуха, при котором обязательно учитываются метеорологические факторы, определяющие перенос и рассеяние вредных веществ.

**Ключевые слова:** загрязняющие вещества, атмосферный воздух, нефть, рекультивация, отходы, ПДВ

## ENVIRONMENTAL SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION AT AN OIL REFINERY

Stepanova N.E.

*Volgograd state agrarian University, Volgograd, e-mail: nat\_stepanowa@mail.ru*

The article presents the performance of the oil and gas industry of the Russian Federation. The level of danger of the enterprises of this direction at all stages of production processes, from exploration to processing of hydrocarbons is marked. The development of the oil and gas sector at the present stage aimed at compliance with the requirements to reduce greenhouse gases in the atmosphere, reducing the level of impact on climate change and reclamation of disturbed areas is outlined. By the example of the oil refinery located in the Southern Federal District of the Russian Federation, with a refining rate of 3000000 tons per year, the environmental protection activities aimed at ensuring environmental safety by taking into account all the existing sources of negative impact in order to minimize the impact on the components of the environment are shown. The work presents production indicators of the enterprise for oil refining, a list of pollutants (pollutants) discharged into the AB (atmospheric air) from emission sources. It is noted that during the inventory of emission sources at the enterprise under consideration recorded 189 types of gaseous pollutants, the total mass of the average 2423.13867127 tons per year. Waste management measures were analyzed and a characteristic of places of temporary storage (accumulation) of wastes was presented. In general, the company generates thirty-six types of waste amounting to 4754.281 tons, waste management is carried out in strict compliance with the existing environmental legislation. Compliance with environmental safety requirements is reflected in the program of industrial environmental control of the enterprise, which approved the schedule of atmospheric air monitoring, which necessarily takes into account meteorological factors that determine the transfer and dispersion of harmful substances.

**Keywords:** pollutants, atmospheric air, oil, reclamation, waste, PDV

Одной из экологически опасных отраслей производства в России и во всем мире является нефтегазовая отрасль, в которой осуществляются разведка, добыча, транспортировка, переработка углеводородов. Ежегодно на территории РФ добывается более 500 млн т нефти, из которых более половины идет на экспорт. Состояние и развитие нефтегазовой отрасли в настоящее

время определяет уровень развития экономики РФ.

Обеспечение требований экологической безопасности, соблюдения природоохранного законодательства на предприятиях данной отрасли является очень важной и актуальной задачей для минимизации негативного воздействия на компоненты окружающей среды [1].

Развитие нефтегазового сектора на современном этапе для дальнейшего экономического роста должно учитывать сокращение выбросов парниковых газов в целях предотвращения изменения климата, рекультивацию нарушенных ландшафтов. Политика нефтегазовой отрасли направлена на обеспечение экологической безопасности (ЭБ) и охрану окружающей среды (ООС) на всех этапах производственных процессов, от разведки до переработки добытых ресурсов углеводородов, в целях минимизации негативного воздействия на компоненты окружающей среды (НВОС), предупреждения аварийных ситуаций. По уровню загрязнения окружающей среды данная отрасль производства является одной из самых опасных для окружающей среды, это объясняется тем, что источники и характер воздействия отличаются огромными масштабами и многофункциональностью, высокой токсичностью природных углеводородов, нередко происходит превышение воздействия на экосистемы, все это приводит к необратимым негативным последствиям.

Основными загрязняющими веществами, выбрасываемыми в атмосферу предприятиями нефтепереработки, являются: FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (в пересчете на железо), марганец и его соединения (в пересчете на марганца (IV) оксид), натр едкий, олова оксид (в пересчете на олово), свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец), азота диоксид (азот (IV) оксид), аммиак, азот (II) оксид (азота оксид), углерод (сажа), сера диоксид (ангидрид сернистый) и др. На нефтеперерабатывающих предприятиях значительными источниками загрязнения атмосферного воздуха сернистым ангидридом, азота диоксидом (азот (IV) оксид) и иными являются факельные системы. Из технологического оборудования, коммуникаций в результате аварийных ситуаций на факельные установки направляются горючие и горючеготоксичные газы и пары, которые сжигаются на факеле. В среднем объемы сброса на факел на предприятиях нефтепереработки составляют до 1% от перерабатываемой нефти, из которых 90% общей массы суммарных сбросов на факел составляют углеводороды; 1,6% – водород; 2,6% – сероводород; остальное – водяной пар и азот. На территории нефтеперерабатывающих предприятий предусматривается узел утилизации сбросных газов, который состоит из коллектора DN500, сепаратора объемом 80 м<sup>3</sup>, насоса

и свечи сброса газов в атмосферу, который не позволяет полностью утилизировать сбросные газы и допускает их выброс в аварийной ситуации в атмосферу.

Соблюдение на всех этапах производственных процессов в нефтегазовой отрасли мер экологической безопасности и охраны окружающей среды в целях совершенствования природоохранной деятельности является на сегодняшний день самым актуальным вопросом в решении многих экологических проблем [2].

Цель исследования – анализ экологических характеристик (выбросов, сбросов загрязняющих веществ, накопления промышленных отходов) деятельности предприятия по переработке нефти.

### Материалы и методы исследования

Основным материалом для проведения анализа деятельности предприятия нефтегазовой отрасли, направленной на соблюдение действующего природоохранного законодательства, послужили данные одного из нефтеперерабатывающих предприятий, расположенных на территории Южного федерального округа РФ, основным направлением производственной деятельности которого является переработка нефти неполного цикла (отсутствует вторичная переработка нефтепродуктов) с объемом переработки до 3 000 000 т нефти в год. При написании статьи использованы материалы оценки воздействия на окружающую среду (выполненные организацией, имеющей соответствующую аккредитацию).

На исследуемом предприятии утвержден график (программа ПЭК) проведения анализа состояния атмосферного воздуха, при котором обязательно учитываются метеорологические факторы, определяющие перенос и рассеяние вредных веществ. В программе утвержден перечень показателей, по которым ведется контроль со стороны надзорных органов. Отбор проб, измерения параметров, лабораторные физико-химические исследования и обработка результатов измерений и анализов, а также оценка степени загрязненности воздуха выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ 17.2.3.01-86, ГОСТ 17.2.1.03-84, ГОСТ 17.2.4.02-81, ГОСТ 17.2.6.01-85, ГОСТ 17.2.6.02-85, РД52.04.186-89, РД 52.18.595-96 и других государственных стандартов, общегосударственных и ведомственных нормативно-правовых инструктивно-методических

документов. Периодичность и сроки взятия проб компонентов ОС утверждены руководством предприятия, а для проведения анализа привлекаются аккредитованные организации, с которыми заключаются договоры. По всем проведенным замерам обязательно составляются протоколы исследований и измерений [3, 4].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Основными задачами для любой отрасли производства на современном этапе являются разработка и внедрение инновационных технологий, направленных на устойчивое развитие общества.

В углеводородной отрасли в целях повышения конкурентоспособности продукции при применении экологически безопасных технологий на первый план выходит реализация программ по мало- и безотходным технологиям. Как было отмечено, на рассматриваемом предприятии в год перерабатывается до 3 000 000 т нефти (табл. 1).

Площадь земельного участка, занимаемого предприятием по переработке нефти, составляет 635 768 м<sup>2</sup>. В состав предприятия входят следующие производственные подразделения: атмосферно-вакуумная трубчатая установка (АВТ): печи П-1 и П-2, колонки осушки дизтоплива; атмосферная трубчатая установка (АТ-2): печь П-1; узел утилизации сбросных газов (УУСГ): сепараторы сбросных газов АТ-2 и АВТ, сепаратор факельный; установка производства битумов (БУ-3): печь дожига, реакторы Р-1 и Р-2, соляровые сборники № 1 и № 2, емкости – раздаточники битума, стояки налива битума в битумовозы; цех резервуарных парков и коммуникаций (ЦРПиК): насосная для мазута.

По данным исследований, атмосферный воздух местоположения объекта нефтепереработки соответствует установленным гигиеническим нормативам согласно результатам изысканий метеорологической службы данной территории (табл. 2).

**Таблица 1**

Производственные показатели предприятия за год

№ п/п	Наименование выпускаемой продукции, оказанных услуг	Годовой объем, т
1.	Бензин прямой перегонки	75 000
2.	Топливо для реактивных двигателей	480 000
3.	Топливо дизельное	1 110 000
4.	Мазут	76 2700
5.	Топливо нефтяное вакуумной перегонки (ТНВП)	300 000
6.	Битум нефтяной дорожный вязкий	200 000
7.	Нафтенат натрия	60
8.	Топливный газ	60 000
9.	Потери	12300

**Таблица 2**

Концентрация ЗВ в АВ на территории местоположения объекта  
без учета деятельности предприятия

№п/п	Наименование загрязняющих веществ (ЗВ)	Значения фоновых концентраций при скорости ветра 0–2 м/с, мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>мр</sub> , мг/м <sup>3</sup>
1.	Оксид углерода	4,0	5,0
2.	Азота диоксид	0,07	0,2
3.	Азота оксид	0,07	0,4
4.	Серы диоксид	0,004	0,5
5.	Формальдегид	0,014	0,05



Таблица 3

Виды ЗВ нефтеперерабатывающего предприятия

№ п/п	Наименование загрязняющего вещества (ЗВ)	Используемый критерий	Значение критерия, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Сумма выбросов ЗВ по предприятию, т/год
1.	Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	ПДК м/р	0,001	1	0,000012
2.	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	ПДК м/р	0,200	3	328,8
3.	Азот (II) оксид (Азота оксид)	ПДК м/р	0,400	3	53,4
4.	Дигидросульфид (Сероводород)	ПДК м/р	0,008	2	2,241
5.	Метан	ОБУВ	50,0	–	0,1056

Экологическая безопасность эксплуатации узла утилизации сбросных газов на предприятии соблюдается благодаря тому, что предприятие оснащено самыми передовыми технологиями управления и защиты на случай возникновения аварийной ситуации. На объектах, сферой деятельности которых является производство углеводородов, относящихся по вредному воздействию на ОС к I категории негативного воздействия на окружающую среду (НВОС), с целью минимизации воздействия разработана программа производственного экологического контроля (ПЭК), в которую включены все источники выбросов согласно приказу Минприроды России № 74 [5, 6]. При проведении инвентаризации источников выбросов на рассматриваемом предприятии зарегистрировано 189 видов ЗВ, выбрасываемых в атмосферный воздух. Согласно проекту ПДВ с нефтеперерабатывающего предприятия в год выбрасывается 2423,13867127 т ЗВ (табл. 3).

В таблице 3 указаны несколько загрязняющих веществ (ЗВ), выбрасываемых в атмосферный воздух, на которые получено разрешение на выброс согласно проведенным расчетам рассеивания ЗВ. Уровень распространения в зоне влияния предприятия ЗВ на атмосферный воздух определялся по каждому из них, а также по комбинации веществ, обладающих эффектом суммации, в соответствии с приказом № 273 от 06.06.2017 г. Согласно СанПиН 1.2.3685-21, содержание ЗВ на границе санитарно-защитной зоны (1000 м) по всем веществам, выбрасываемым предприятием по переработке нефтепродуктов, не превышает экологически безопасный уровень воздействия для человека и среды обитания.

Территория нефтеперерабатывающего предприятия занята плотной застройкой производственными объектами, коммуника-

циями, проездами для транспорта, поэтому благодаря твердому покрытию воздействие на почвенный покров исключается. На территории функционирует система сбора производственно-дождевых сточных вод, предназначенная для отведения дождевых и талых сточных вод, загрязненных нефтепродуктами, от технологических площадок с твердым покрытием. Сточные воды от приемков поступают в существующую сеть через колодец с гидрозатвором и далее передаются на очистные сооружения. Предприятие оснащено набором сложных очистных сооружений производительностью более 1000 м<sup>3</sup>/ч производственных сточных вод по нефтеловушке, 600 м<sup>3</sup>/ч по флотаторам и 300 м<sup>3</sup>/ч по микрофлотаторам. Весь процесс сбора загрязненных вод представляет собой единый технологический поток, предназначенный для получения очищенной воды для повторного использования в технических целях [7].

На предприятии с мощностью переработки углеводородного сырья до 3 000 000 т образуется в среднем 36 видов отходов в количестве 4754,281 т. Обращение с отходами на предприятии ведется в строгом соответствии с действующим природоохранным законодательством, особое внимание уделяется обустройству площадок накопления отходов (СанПиН 2.1.3684-214 от 01.05.2021 г.). Характеристика мест временного накопления отходов на предприятии представлена в таблице 4.

Все сведения об инвентаризации отходов производства и потребления включены в программу ПЭК (приказ Минприроды России № 74). Паспортизация (компонентный состав отхода и история его происхождения), учет отходов (журнал отходов) являются также главным звеном в обеспечении экологической безопасности и управлении отходами на данном предприятии (приказ Минприроды РФ № 1028).

Таблица 4

Характеристика мест временного хранения (накопления) отходов

№ п/п	Класс опасности отхода	Наименование накопителя	Местонахождение (безопасное хранение (накопление) отходов)	Количество отходов, принимаемых за период, т (м <sup>3</sup> )	Периодичность вывоза
1.	1	Герметичный металлический контейнер с крышкой	Закрытое помещение с ограниченным доступом людей	1	По мере заполнения емкости
2.	3	Герметичный металлический контейнер с крышкой	Площадка с твердым покрытием под навесом вдали от источников возгорания	0,088	По мере накопления партии на вывоз
3.	4	Герметичный контейнер с крышкой	Площадка с твердым покрытием	0,35	В соответствии с графиком, согласованным с МУК (3 раза в неделю)

В целом документирование сведений об отходах на объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, на основании действующего природоохранного законодательства создает безопасную систему управления отходами на предприятии. На предприятии соблюдаются меры экологической безопасности при хранении (накоплении) отходов с учетом класса опасности, агрегатного состояния, тары, которые соответствуют требованиям законодательства в области обращения с отходами.

При проведении анализа деятельности предприятия нефтегазовой отрасли, оценке уровня воздействия технологических процессов на компоненты окружающей среды и соблюдении требований природоохранного законодательства можно сделать вывод, что все проводимые мероприятия снижают уровень воздействия на ОС [8].

Природоохранное законодательство РФ постоянно совершенствуется, и соблюдение требований для предприятий нефтегазовой отрасли является одним из принципов дальнейшего развития. На рассматриваемом предприятии разработана программа производственного экологического контроля (ПЭК), в которой в целях соблюдения требований экологической безопасности ведутся постоянный мониторинг и контроль за основными компонентами окружающей среды. При проведении расчетов согласно приказу № 581 от 11.08.2020 г. [9] при нормировании выбросов в атмосферу (АВ) обязательно учитывается фоновое загрязнение АВ, которое при проводимых натурных

исследованиях должно соответствовать следующему значению (1):

$$q_{m,pr,i} > 0,1 \text{ ПДК}_i \text{ (в долях)}. \quad (1)$$

Согласно приказу Министерства природных ресурсов РФ (№ 581 от 11.08.2020 г.), если в результате деятельности объекта негативного воздействия показатель  $q_{m,pr,j}$  (количество ЗВ от стационарных источников на границе СЗЗ (санитарно-защитной зоны, 1000 м)) не превышает 0,1 ПДК, то в проводимых расчетах не учитывается фоновое содержание ЗВ.

При возникновении аварийных ситуаций вследствие разлива нефтепродуктов замеры уровня загрязнения АВ производятся на поверхности земли, где определяется масса летучих низкомолекулярных углеводородов. Соблюдение требований программы ПЭК в области обращения с отходами основывается на требованиях ФЗ № 89 от 24.06.1998 г. и ФЗ № 7 от 10.01.2002 г. [10, 11].

#### Заключение

Отмечено, что в соответствии с приказом Минприроды России № 74 на предприятии внедрена и действует система ПЭК на всех этапах производственной деятельности. Узел утилизации сбросных газов на предприятии оснащен самыми передовыми технологиями управления и защиты на случай возникновения аварийной ситуации. В работе показано, что при проведении инвентаризации источников выбросов на рассматриваемом предприятии зарегистрировано 189 видов ЗВ. В соответствии с приказом № 273 от 06.06.2017 г. и СанПиН

1.2.3685-21 содержание ЗВ на границе санитарно-защитной зоны (1000 м) по всем веществам, выбрасываемым предприятием по переработке нефтепродуктов, не превышает экологически безопасный уровень воздействия для человека и среды обитания. Указано, что на объекте по переработке нефти объемом до 3 000 000 т в год образуется 36 видов отходов в количестве 4754,281 т. Вся система обращения с отходами основывается на строгом соблюдении требований законодательства в области обращения с отходами. Анализ деятельности предприятия по переработке углеводородов показал, что во всех технологических процессах, оказывающих негативное воздействие на компоненты окружающей среды, обеспечивается соблюдение экологической безопасности в рамках действующего природоохранного законодательства РФ.

#### Список литературы

1. Ишбулатов И.А., Мусина Д.Р. Стратегический анализ нефтедобывающей отрасли // Актуальные вопросы экономики и управления в нефтегазовом бизнесе: сборник научных трудов IV Всероссийской научно-практической конференции. 2020. С. 50-54.
2. Чермошнцев А.Ю., Чалкова Т.А. Современные направления ДЗ для мониторинга состояния объектов нефтедобывающей отрасли // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. 2021. № 3. С. 175-182.
3. Степанова Н.Е. Контроль и основные характеристики состава нефти как загрязнителя геологической среды // Успехи современного естествознания. 2020. № 7. С. 151-156.
4. Трубицина О.П., Башкин В.Н. Динамика экологической ответственности объектов нефтегазовой отрасли в Российской Арктике: рейтинговый подход за 2014-2019 годы // Проблемы анализа риска. 2021. № 6. С. 10-21.
5. Брехов П.Я., Чухлатый М.С. Актуальные пути сокращения объема выбросов парниковых газов в нефтедобывающей отрасли // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Тюмень. 2019. С. 18-20.
6. Гасумов Р.А., Варягов С.А., Гасумов Э.Р., Бекетов С.Б. Способ исследования динамических процессов газовой среды многопластовых газовых месторождений и подземных хранилищ газа // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2017. № 12. С. 38-41.
7. Головина К.В., Шевцов М.Н. Современные технологические схемы для охраны водных ресурсов в нефтедобывающей отрасли // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2020. № 3. С. 316-321.
8. Кузнецова Н.В., Степанова Н.Е. Проблемы рационального природопользования при добыче углеводородов // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции. В 2-х книгах. Барнаул. 2021. С. 328-329.
9. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 11 августа 2020 г. N 581 «Об утверждении методики разработки (расчета) и установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух». [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/400164922/> (дата обращения: 15.05.2022).
10. Зиновьев С., Мифтахов А., Гараев Э. Промышленная безопасность в нефтедобывающей отрасли // Регламент. 2015. № 6(44). С. 51-53.
11. Седрисев К.А. Экологический аспект как ключевое понятие в обеспечении экологической безопасности нефтедобывающей отрасли // Молодой ученый. 2021. № 18(360). С. 150-151.

УДК 551.583

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТРОВА ТЕПЛА ГОРОДА УФЫ ПО ДАННЫМ ПУНКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ

<sup>1</sup>Хайрулина С.Н., <sup>1</sup>Смертин Г.Ю., <sup>1</sup>Васильева Е.А.,  
<sup>1</sup>Насырова Э.С., <sup>1</sup>Елизарьев А.Н., <sup>2</sup>Хамитов А.Р.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,  
Уфа, e-mail: Nasyrova.ES@ugatu.su;  
<sup>2</sup>ГКУ РБ «Информационные технологии», Уфа

Территории городских центров, особенно в городах-миллионерах, характеризуются высокой запечатанностью, что приводит к накоплению тепла (более высокие температуры воздуха, чем на окраинах города). Данное явление названо «городской остров тепла». Исследование городского острова тепла в связи с высокими темпами урбанизации особенно важно для оценки глобального потепления. Среди основных факторов, влияющих на интенсивность городского острова тепла, выделяют городскую планировку. В работе рассмотрена проблема теплового загрязнения в городах. Избыточное тепло может негативно сказываться на здоровье населения и вызвать тепловой удар или гипертермию. При планировке города, как правило, не учитываются возможные изменения микроклимата в пределах микрорайона (квартала). Следствием игнорирования вопросов городского планирования может стать увеличение смертности и заболеваемости, например, во время аномальной жары в Европе в 2003 г. Первоочередным является выявление в городе «островов тепла» для принятия дальнейших решений. Проблема городского острова тепла широко исследуется зарубежными исследователями, а отечественные исследователи в основном рассматривают данное явление только в городах-миллионерах. В работе проанализирован эффект городского острова тепла в г. Уфе и рассмотрены его основные теоретические аспекты. В соответствии с полученными результатами выяснено, что г. Уфа является малоизученным с точки зрения городского острова тепла. Установлено, что в 2000 г. в городе Уфе присутствовал городской остров тепла, характеризующийся высоким значением среднесуточной и максимальной температуры воздуха. Предполагается, что городской остров тепла г. Уфы располагался вокруг ПНЗ № 5.

**Ключевые слова:** городской остров тепла, атмосфера, изменение климата, городское планирование, биоклиматическая архитектура

## RESEARCH OF THE UFA CITY HEAT ISLAND ACCORDING TO OBSERVATION POINTS

<sup>1</sup>Khayrulina S.N., <sup>1</sup>Smertin G.Yu., <sup>1</sup>Vasileva E.A.,  
<sup>1</sup>Nasyrova E.S., <sup>1</sup>Elizarev A.N., <sup>2</sup>Khamitov A.R.

<sup>1</sup>Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: Nasyrova.ES@ugatu.su;  
<sup>2</sup>State institution «Information Technologies», Ufa

The urban centers territories, especially in millionaire cities, are characterized by high sealing, which leads to heat accumulation (higher air temperatures than on the city suburb). This phenomenon is called «urban heat island». The research of the urban heat island in connection with the high rates of urbanization and is especially important for global warming assessment. Among the main factors affecting the urban heat island intensity is the urban planning. The research considers the problem of thermal pollution in cities. Excessive heat can negatively effect on health of the population and cause heat stroke or hyperthermia. When planning a city, as a rule, a possible change in the microclimate within the neighborhood (quarter) is not taken into account. Ignoring urban planning issues can lead for increasing in mortality and morbidity, for example, during the abnormal heat in Europe in 2003. The first priority is to identify «heat islands» in the city for making further decisions. The problem of urban heat island is widely studied by foreign researchers, and Russian researchers mainly consider this phenomenon only in cities with a population of more than a million. The paper analyzes the effect of the urban heat island in Ufa city and considers its main theoretical aspects. In accordance with the obtained results, it was found out that Ufa city is poorly studied from the point of urban heat island. It was established that in 2000 year in Ufa city there was an urban heat island characterized by a high value of the average daily and maximum air temperature. It is assumed that the urban heat island of Ufa city was located around the monitoring station № 5.

**Keywords:** urban heat island, atmosphere, climate change, urban planning, bioclimatic architecture

Запечатанность территории городских центров приводит к накоплению тепла, здесь наблюдаются более высокие температуры воздуха, чем на окраинах города. Данное явление называется «городской остров тепла» (ГОТ). Исследование городского острова тепла из-за увеличения урбанизации особенно важно для оценки глобального потепления. Среди факторов, влияющих

на интенсивность городского острова тепла, выделяют городскую планировку. Она взаимодействует с обменным излучением между землей и атмосферой с последующими явлениями отражения, поглощения и накопления тепла. Геометрическое сочетание горизонтальных и вертикальных внутригородских поверхностей часто называют «городским каньоном» [1–3].

Изменение климатических параметров в городской среде, а именно повышенная температура, сказывается на здоровье человека. В связи с этим забота о комфортном тепловом микроклимате в городской среде является одной из задач градостроительства. Прогнозируемые изменения температуры как в результате глобального потепления, так и в результате формируемого городского острова тепла окажут прямое и косвенное воздействие на здоровье человека. По данным Национальной академии наук США и Королевского научного общества (2014), небольшое повышение глобальной температуры приведет к повсеместным изменениям региональной температуры с увеличением теплового стресса в районах. Региональные изменения температуры повышают риск возникновения аномальной жары и представляют серьезную проблему для здравоохранения. Тепловые волны могут вызвать тепловой удар, гипертермию и увеличить уровень смертности. Однако такие нюансы планировки, связанные с изменением климата, часто игнорируются в городском планировании. Последствия выражаются в ухудшении здоровья и комфорта жителей, особенно в больших городах. Следствием игнорирования вопросов городского планирования может стать увеличение смертности и заболеваемости, особенно в городских районах. Об этом уже сообщалось в 2003 г. во время аномальной жары в Европе. Существует острая необходимость в оценке стратегий, которые могут смягчить дальнейшее повышение температуры в городских районах и связанное с этим негативное воздействие на тепловой комфорт человека с точки зрения городского планирования. Соответственно, первоочередным является выявление в городе островов тепла для принятия дальнейших решений.

Проблема городского острова тепла широко исследуется зарубежными исследователями, а отечественные исследователи в основном рассматривают данное явление только в городах-миллионерах. Например, в работе по исследованию городского острова тепла в Индии [4] обсуждаются методы классификации тепловых островов при их изучении.

Yunfei Li и др. [5] моделировали городской климат различных городов при одинаковых погодных условиях. Изучая различные формы городов, авторы обобщили и предложили сокращенную форму оценки

интенсивности ГОТ, основанную только на структуре городских объектов, а также на их относительных расстояниях.

Для того чтобы понять величину и характеристики ГОТ в Сеуле, Jin Woo Oh и др. [6] разработали две модели городского острова тепла: временную и пространственную. Кроме того, авторы разработали и предложили новую метрику – ГОТ-часы, которая определяет общее количество часов, в течение которых городской остров тепла существует в данной области.

В работе [7] проведено исследование влияния социально-экономических факторов на динамику ГОТ в крупных китайских городах. Авторы использовали обобщенную аддитивную модель для моделирования нелинейных/линейных связей между экономикой, населением, промышленной структурой, географическими особенностями и ГОТ на уровне сезонных и климатических изменений.

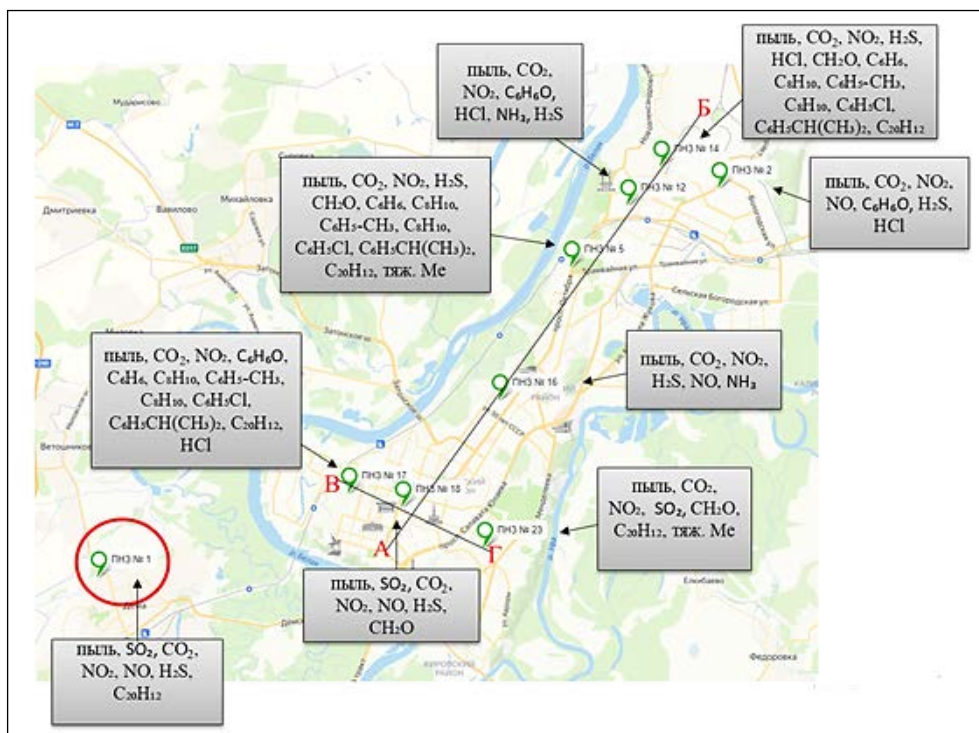
Примером города-миллионера, для которого возможно наличие городского острова тепла, является г. Уфа. В работе [8] рассмотрена проблема теплового загрязнения в городах. Проанализированы основные условия возникновения городского острова тепла в г. Уфе. Эффект городского острова тепла в г. Уфе и его основные теоретические аспекты рассмотрены в работе [9]. В ходе анализа выяснено, что г. Уфа является малоизученным с точки зрения городского острова тепла. В связи с этим целью данной работы является исследование городского острова тепла в городе-миллионере Уфе.

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

Эффект городского острова тепла возможно определить по данным пунктов наблюдения за загрязнением воздуха (ПНЗ). В г. Уфе находится 9 пунктов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха (рисунок).

Как видно из рисунка, 8 станций находятся в основной части г. Уфы, а одна станция – в Демском районе города. Поскольку данная станция расположена за пределами основной части города и за рекой Белая, то она может условно рассматриваться как фоновая для оставшихся 8 станций.

Город Уфа является пятым по протяженности в России, имея длину 54 км. В связи с территориальной особенностью города пункты наблюдения можно объединить в две группы, условно расположенные на отрезках АБ и ВГ (рисунок).



*Пункты наблюдения загрязнения атмосферного воздуха г. Уфы*

ПНЗ № 1 по улице Минская, 64, с одной стороны окружен частным сектором и садоводческими некоммерческими товариществами, с другой располагается многоквартирный жилой комплекс «Белые Росы». За СНТ находятся административные и производственные корпуса научно-производственного объединения «Микроген Иммунопрепарат».

ПНЗ № 2 по улице Свободы, 44, окружают многоквартирные и частные жилые дома. К северо-западу от него располагается большое количество хозяйственных и производственных корпусов.

С одной стороны от ПНЗ № 5 по проспекту Октября, 141, находится Уфимский трамвайно-троллейбусный завод, с другой большая территория парка имени Калинина. К югу – городской дворец культуры и многоквартирные жилые дома.

ПНЗ № 12 по ул. Мира, 11, находится в жилом многоквартирном квартале.

ПНЗ № 14 по ул. Ульяновых, 57, расположен в производственном секторе и окружен производственными и хозяйственными помещениями.

ПНЗ № 16 по проспекту Октября, 65/4, располагается в черте жилых многоквартирных домов.

Рядом с ПНЗ № 17 по улице Гафури, 101, находятся как жилые дома, так и производственные корпуса.

ПНЗ № 18 по улице Достоевского, 102/1, опоясан жилыми домами и бизнес-центром.

ПНЗ № 23 улица Злобина, 11, расположен посреди жилых домов и строящихся многоквартирных объектов.

По данным 9 ПНЗ исследована динамика изменения температуры воздуха в г. Уфе в 2000 г. Учитывались значения температуры, замеренные в 1:00, 7:00, 13:00 и 19:00 на протяжении 365 дней. Проанализировано 12 тыс. данных. Рассчитаны среднесуточные и максимальные значения температур за каждый день 2000 г. ПНЗ № 1 не входит в основной анализ, но данные обработаны так же, как и для других пунктов наблюдения.

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

Поскольку в г. Уфе ранее эффект городского острова тепла непосредственно по суточной температуре воздуха не изучался, и подобное исследование для города проводится впервые, то за начало исследований взят один из пяти самых теплых лет прошедшего столетия, по которому имеются данные, – 2000 год. В 2000 г.

на территории России в целом температура приземного слоя воздуха превышала норму на 1,1° С. Более теплыми годами по сравнению с 2000 г. считались 1995, 1990, 1983, 1989 гг. Среднесезонные температуры для России в целом в 2000 г. превышали норму во все сезоны, кроме осени. Зима в этом году более теплая, чем в 1999 г. Она вошла в число четырех самых теплых зим на территории России. Более теплые зимы в 1914, 1983 и 1995 гг. Особенно теплыми были декабрь и февраль. Весна в России была очень теплой. Положительные аномалии темпера-

туры отмечались на всей территории России. Как и зима, весна вошла в число пяти самых теплых за 100 лет (1990, 1997, 1995, 1967 гг.). Рекордно теплым был апрель.

Среднесуточная динамика изменения температуры воздуха в г. Уфе по данным ПНЗ для января 2000 г. приведена в табл. 1.

Как видно из табл. 1, не на всех ПНЗ в один день измерялась температура, и это не позволяет полноценно проанализировать все дни. Рассчитана повторяемость по средней температуре воздуха за все месяцы 2000 г. (табл. 2).

Таблица 1

Среднесуточная динамика изменения температуры воздуха  
в г. Уфе в январе по данным ПНЗ

Дата	№ 1	№ 2	№ 5	№ 12	№ 14	№ 16	№ 17	№ 18	№ 23
1	-5,67			-3,3	-3,3			-4,5	
2	-11,88			-11,5	-12,2	-12,8			
3	-10,75	-12,7				-12,0			
4	-8,50	-8,7						-5,7	
5	-10,03	-9,7	-8,0	-5,3	-9,0	-9,7	-9,8	-8,4	
6	-9,78	-10,0	-9,2			-11,0	-9,5	-8,5	
7	-7,30		-6,3					-6,7	
8	-14,55	-13,3				-12,7			
9	-5,80			-6,0	-7,7	-7,1			
10	-1,83			-1	-2,2		-2,0		
11	-1,35	-1,7	-0,8	-0,3	-1,3	-1,9	-1,5	-1,0	
12	-2,10	-2,2	-2,4	-0,7	-2,4	-2,5	-2,3	-2,8	
13	-1,85	-2,1	-1,8	-1,3	-1,6	-1,7	-1,5	-1,1	
14	-1,50	-1,5	-1,4	-0,7	-1,5	-1,3	-1,2	-1,6	
15	-2,60			-1,3	-2,0	-3,1		-3,1	
16	-7,48	-4,7	-3,5				-4,2		
17	-9,25	-8,9	-7,9		-8,3	-9,4	-9,4	-8,2	-10,5
18	-7,70	-7,85	-7,475		-7,4	-9,4	-7,5	-7	-9,2
19	-4,55	-5,0	-5,3		-5,5	-4,7	-3,5	-4,9	-6,0
20	-2,13	-2,4	-1,9		-1,8	-5,0	-2,5	-2,1	-3,3
21	-5,65	-4,5	-4,5		-3,7	-5,0	-4,7	-4,4	-5,7
22	-15,10				-12,7	-12,4		-9,9	
23	-11,33	-10,2	-9,0				-9,5		-11,3
24	-15,80	-12,8	-12,4		-15,0	-16,7	-16,2	-12,6	-16,6
25	-21,53	-20	-20,1			-19,6	-18,7	-18,6	-22,4
26	-5,40	-5,13	-4,13			-4,2	-4,1	-4,53	-6,6
27	-9,68	-7,8	-6,3			-7,7	-8,3	-7,1	-7,8
28	-17,98	-16,8	-15,3			-15,3	-11,5	-15,9	-18,6
29	-10,00					-9,53		-8,8	
30	-1,63	-2,0	-1,3				-1,7		-3,7
31	-1,68	-1,525	-1,5			-1,53	-1,7	-0,8	-2,3

Таблица 2

## Повторяемость ПНЗ по среднесуточной температуре

Дата	№ 2	№ 5	№ 12	№ 14	№ 16	№ 17	№ 18	№ 23
Январь	0	7	9	2	2	2	9	0
Февраль	1	9	3	0	1	2	16	0
Март	4	1	8	1	3	10	5	0
Апрель	4	5	6	1	0	9	6	0
Май	5	8	3	0	4	6	7	0
Июнь	1	19	1	0	1	6	2	0
Июль	1	18	1	4	1	6	0	0
Август	1	18	2	0	0	6	3	0
Сентябрь	0	12	2	0	2	8	8	0
Октябрь	0	26	0	0	0	3	2	0
Ноябрь	1	5	10	0	2	3	11	0
Декабрь	2	5	8	0	2	6	8	1
Сумма	20	133	53	8	18	67	77	1
Порядок	5	1	4	7	6	3	2	8

Таблица 3

## Повторяемость ПНЗ по максимальной температуре

Дата	№ 2	№ 5	№ 12	№ 14	№ 16	№ 17	№ 18	№ 23
Январь	5	8	9	6	3	2	9	0
Февраль	4	8	9	5	0	1	11	0
Март	10	1	8	2	1	11	6	0
Апрель	3	11	9	8	0	3	2	1
Май	9	10	6	8	3	2	4	2
Июнь	4	15	4	6	0	3	1	1
Июль	3	21	3	6	0	1	0	0
Август	3	20	4	6	0	2	0	5
Сентябрь	2	15	3	4	1	3	3	8
Октябрь	2	27	2	1	0	2	1	0
Ноябрь	1	10	15	2	1	4	4	0
Декабрь	3	8	13	1	1	6	9	1
Сумма	49	154	85	55	10	40	50	18
Порядок	5	1	2	3	8	6	4	7

По данным табл. 2, наибольшая среднесуточная температура многократно зафиксирована на ПНЗ № 5.

На следующем шаге аналогично проанализирована динамика изменения максимальных значений температуры воздуха в каждом месяце 2000 г. (табл. 3).

Как видно из табл. 3, максимальная температура воздуха также многократно зафиксирована на ПНЗ № 5. Данный ПНЗ распола-

гается в Институте нефтехимии и катализа Российской академии наук по центральной улице Уфы, долгое время считавшейся самой длинной, проспекту Октября. Напротив института простирается большая территория парка имени Калинина, площадью не менее 60 га земли. В настоящее время парк представляет собой неухоженный лесной массив, через который пролегает аллея. С другой стороны, от ПНЗ № 5 находится



Уфимский трамвайно-троллейбусный завод, предприятие по производству троллейбусов, производящее около 100 троллейбусов в год. Ближе к центру идут городской дворец культуры и многоквартирные жилые дома.

Выявление городского острова тепла с практической точки зрения позволит внедрить биоклиматическую архитектуру в выявленном районе. Данное решение в свою очередь снизит тепловой эффект и создаст комфортные условия для жителей. Стратегическими направлениями по развитию биоклиматической архитектуры города являются увеличение альбедо поверхности, озеленение, обводнение и уменьшение запечатанности территорий.

### Заключение

В работе рассмотрены основные теоретические аспекты эффекта городского острова тепла. В соответствии с полученными результатами выяснено, что г. Уфа является малоизученным с точки зрения данной проблемы. 2000 г. в числе пяти самых теплых лет прошедшего столетия и в связи с этим взят за начало исследований. Установлено, что в 2000 г. в г. Уфе присутствовал городской остров тепла, характеризующийся высоким значением среднесуточной и максимальной температуры воздуха. Предполагается, что городской остров тепла г. Уфы располагался вокруг ПНЗ № 5. В дальнейших исследованиях будут проанализированы оставшиеся

годы до настоящего времени и предложены решения для биоклиматической архитектуры города.

### Список литературы

1. Shi Y., Zhang Y. Remote sensing retrieval of urban land surface temperature in hot-humid region. *Urban Climate*. 2018. Vol. 24. P. 299–310. DOI: 10.1016/j.uclim.2017.01.001.
2. Darmanto N.S., Varquez A.C.G., Kawano N., Kanda M. Future urban climate projection in a tropical megacity based on global climate change and local urbanization scenarios. *Urban Climate*. 2019. Vol. 29. P. 100482. DOI: 10.1016/j.uclim.2019.100482.
3. Шукуров И.С., Хонгорова И.В. Теплофизическое моделирование в градостроительстве // *Вестник МГСУ*. 2012. № 1. С. 12–16. DOI: 10.22227/1997-0935.2012.1.12-16.
4. Veena K., Parammasivam K.M., Venkatesh T.N. Urban Heat Island studies: Current status in India and a comparison with the International studies. *Journal of Earth System Science*. 2020. Vol. 129. P. 85. DOI: 10.1007/s12040-020-1351-y.
5. Li Y., Schubert S., Jürgen P.K., Rybski D. On the influence of density and morphology on the Urban Heat Island intensity. *Nature Communications*. 2020. Vol. 11. P. 2647. DOI: 10.1038/s41467-020-16461-9.
6. Woo Oh J., Ngarambe J., Nzivugira Duhirwe P., Young Yun G., Santamouris M. Using deep-learning to forecast the magnitude and characteristics of urban heat island in Seoul Korea. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. P. 3559. DOI: 10.1038/s41598-020-60632-z.
7. Ying L. Sun Y., Li J., Gao C. Socioeconomic drivers of urban heat island effect: Empirical evidence from major Chinese cities. *Sustainable Cities and Society*. 2020. Vol. 63. P. 102425. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102425.
8. Марванов Р.В., Насырова Э.С. Особенности температурного режима крупных городов (на примере г. Уфы) // *Актуальные проблемы науки в студенческих исследованиях: материалы VIII Всероссийской студенческой научно-практической конференции*. 2018. С. 170–172.
9. Насырова Э.С., Новикова Д.О., Хайрулина С.Н. Городской остров тепла // *Современные проблемы пожарной безопасности: теория и практика (FireSafety 2020)*. Уфа: УГАТУ, 2020. С. 235–239.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ НА ПРИМЕРЕ БИРСКОГО ФИЛИАЛА БАШКИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Шинов Р.М., Шахринова Н.В.

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», Бирский филиал, Бирск,  
e-mail: rshinov@gmail.com

В ходе деятельности организаций происходит образование отходов, учет которых является первоочередной задачей для обеспечения безопасности людей и окружающей их среды. Исследования проводились на территории Бирского филиала Башкирского государственного университета, находящегося в г. Бирск (Республика Башкортостан). Климатической особенностью региона являются частые и сильные южные и юго-западные ветры, которые являются причиной засух. Низкий уровень выпадения осадков способствует накоплению летучих загрязняющих веществ. В данной статье рассматривается качественно-количественный анализ образования отходов от высшего учебного заведения в условиях малого города с целью получения данных о категории опасности учреждения и вреда, причиняемого им окружающей среде. Проведена инвентаризация источников загрязнения, в процессе исследования площадок было установлено, что площадка № 1 «административный корпус» образует загрязнители II (высокоопасные отходы) и III (умеренно опасные отходы) класса, что нехарактерно для остальных площадок. В ходе работы был установлен состав и выдан класс опасности отходов. По итогу инвентаризации организации была выдана IV категория опасности, то есть объекты, оказывающие минимальное негативное воздействие на окружающую среду.

**Ключевые слова:** отходы, загрязнители, класс опасности, категории объектов, предприятия, выбросы, нормативы образования, лимиты на размещение, город Бирск, Республика Башкортостан

## THE STUDY OF WASTE GENERATION ON THE EXAMPLE OF THE BIRSK BRANCH OF THE BASHKIR STATE UNIVERSITY

Shinov R.M., Shakhrianova N.V.

*Birsk Branch of Bashkir State University, Birsk, e-mail: rshinov@gmail.com*

In the course of the activities of organizations, waste is generated, accounting for which is a primary task to ensure the safety of people and their environment. The research took place on the territory of the Birsk branch of Bashkir State University, located in the city of Birsk, Republic of Bashkortostan. The climatic feature of the region is the abundance of strong south and south-westerly winds, which cause droughts. Low precipitation contributes to the accumulation of volatile pollutants. This article examines the qualitative and quantitative analysis of waste generation from a higher educational institution in a small city in order to obtain data on the category of danger of the institution and the harm it causes to the environment. An inventory of pollution sources was carried out, during the study of the sites it was found that site No. 1 "administrative building" forms pollutants of class II (highly hazardous waste) and III (moderately hazardous waste), which is not typical for other sites. During the work, the composition was established and the hazard class of waste was issued. As a result of the inventory of the organization, the IV hazard category was issued, that is, objects that have a minimal negative impact on the environment.

**Keywords:** waste, pollutants, hazard class, categories of objects, enterprises, emissions, educational standards, placement limits, the city of Birsk, the Republic of Bashkortostan

Основным фактором развития инфраструктуры малых городов являются предприятия, которые могут обеспечить граждан работой, и высшие учебные заведения, дающие образование молодым специалистам.

В последнее время наблюдается резкий спад количества промышленных организаций в подобных городах, в связи с этим местом скопления большого количества людей становятся учебные заведения, в которых люди проводят достаточно много времени. В связи с этим возникает повышенный интерес к контролю и анализу образования отходов от таких учреждений.

Цель исследования – проведение анализа образования отходов и содержания загряз-

няющих веществ в воздухе от штатного автотранспорта Бирского филиала Башкирского государственного университета.

### Материалы и методы исследования

Исследования проводились в г. Бирск Республики Башкортостан на территории Бирского филиала Башкирского государственного университета. Инвентаризация источников загрязнения проводилась, основываясь на визуальном подсчете и данных, предоставленных юридическим отделом вуза. Нормативы образования отходов были получены с помощью комплексного программного обеспечения «Интеграл», конкретные методики и названия программ указаны над расчетами.

Таблица 1

Отходы организации

№ отхода	Наименование отхода	Код по ФККО	Класс опасности	Процесс образования отхода
1	Лампы ртутные	47110101521	1	Выход из строя вследствие эксплуатации
2	Аккумуляторы свинцованные	92011001532	2	Выход из строя вследствие эксплуатации
3	Минеральные масла моторные	40611001313	3	Непригодность к использованию
4	Минеральные масла трансмиссионные	40615001313	3	Непригодность к использованию
5	Фильтры очистки масла	92130201523	3	Выход из строя вследствие эксплуатации
6	Обтирочный материал, загрязненный нефтью	91920401603	3	Непригодность к использованию
7	Покрышки	92113002504	3	Непригодность к использованию
8	Системный блок	48120101524	4	Непригодность к использованию
9	Мониторы компьютерные	48120503524	4	Непригодность к использованию
10	Картриджи печатающих устройств	48120303524	4	Непригодность к использованию
11	Клавиатура, манипулятор «мышь»	48120401524	4	Непригодность к использованию
12	Отходы из жилищ несортированные	73111001724	4	Сбор отходов
13	Мусор от офисных и бытовых помещений	73310001724	4	Сбор отходов
14	Отходы (мусор) от строительных и ремонтных работ	89000001724	4	Сбор отходов
15	Мусор и смет уличный	73120001724	4	Смет и сбор отходов
16	Отходы бумаги и картона	40512202605	5	Непригодность к использованию
17	Лампы накаливания	48241100525	5	Непригодность к использованию
18	Отходы (мусор) от уборки территорий и помещений учебно-воспитательных учреждений	73710001725	5	Смет и сбор отходов
20	Обрезки и обрывки тканей	30311109235	5	Реставрация и ремонт одежды

По итогам инвентаризации и визуального подсчета были получены исходные данные для проведения расчетов:

Штатная и фактическая численность сотрудников: 205 чел.

Количество ртутных ламп: 56730 шт.

Количество установленных ламп накаливания: 1910 шт.

Количество расходуемой писчей бумаги в год: 600 пачек.

Автотранспорт: 11 единиц.

Обрабатываемая древесина: 1 м<sup>3</sup>.

Обрабатываемый металл: 0,25 кг.

Сварочные электроды: 0,03 т.

Перечень отходов, образуемых в ходе деятельности организации, представлен в табл. 1.

Кодирование и выдача класса опасности отходов производились в соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО) [1].

Наибольшую опасность для среды оказывают отходы 1 класса опасности, нормативы их образования производились расчётным методом, по формуле

$$M = N \cdot m,$$

где  $N$  – количество ламп, утративших потребительские свойства;  $m$  – масса одной лампы.

$N$  находится по следующей формуле:

$$N = (n / q) \cdot t,$$

где  $n$  – количество исправных ламп;

$q$  – срок службы лампы;

$t$  – часы работы одной лампы в год.

Инвентаризация исследуемой организации показала, что на всех площадках используются лампы марки ЛБ–20. Срок службы лампы = 15000 ч в год, вес = 0,00017 т [2], количество часов работы в год = 2376. Расчет образования отходов представлен в табл. 2.

Как видно из таблицы, количество отходов не превышает и 1 т в год, что является весьма благоприятным показателем [3]. Расчет нормативов образования менее опасных веществ велся с помощью программного обеспечения «Интеграл» с игнорированными формулами по каждому веществу.

Исходя из полученных данных, были сформированы нормативы образования и лимиты размещения отходов (табл. 3).

На каждый вид отходов, образующихся в БФ БашГУ, оформлен паспорт отхода. Также осуществляется ежегодная передача отходов другим хозяйствующим субъектам с целью их дальнейшего использования,

утилизации и обезвреживания. Превышение лимитов на размещение не наблюдается [4].

На площадках № 1 и № 5 производятся выбросы загрязняющих веществ в следующем составе (табл. 4).

**Таблица 2**

Количество ламп, подлежащих замене

Кол-во используемых ламп шт.	Кол-во неисправных ламп шт.	Вес неисправных ламп, т/г
Площадка № 1		
4697	744	0,12
Площадка № 2		
160	25	0,004
Площадка № 3		
108	17	0,003
Площадка № 4		
184	29	0,004
Площадка № 5		
231	37	0,006
Площадка № 6		
12	2	0,0003
Итого по организации	854	0,1373

**Таблица 3**

Лимиты на размещение отходов

№	Наименование площадки	Норматив образования отхода по классам опасности, тонн в год					Лимит на размещение отходов (за 5 лет), т	
		I класс	II класс	III класс	IV класс	V класс	IV класс	V класс
1	Административный корпус	0,12	0,1160	0,0994	38,1978	49,3356	190,0300	246,6780
2	Общежитие № 2	0,004	–	–	30,0060	0,0652	150,0300	0,3260
3	Учебный корпус № 4	0,003	–	–	1,4190	1,6483	6,8800	8,2415
4	Учебный корпус № 5	0,004	–	–	1,6031	1,7380	7,6300	8,6900
5	Учебный корпус № 7	0,006	–	–	2,8090	3,2144	13,6300	16,0720
6	Агробиостанция	0,0003	–	–	2,4260	0,0100	12,1300	0,0500

**Таблица 4**

Состав и количество выбросов в атмосферу

Площадка № 1 Административный корпус		
Код загрязняющего вещества	Загрязняющие вещества	Выброшено в атмосферу, т
0337	Оксид углерода	0,055
0012	Оксиды азота (в пересчете на NO <sub>x</sub> )	0,002
2704	Бензин (нефтяной, малосернистый)	0,07
Площадка № 5 Учебный корпус № 7		
0337	Оксид углерода	0,284
0012	Оксиды азота (в пересчете на NO <sub>x</sub> )	0,032
2936	Пыль древесная	0,011
Итого:		0,454

Таблица 5

Состав и количество отходов от автотранспорта.

Загрязняющее вещество		Используемый критерий	Значение критерия мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Суммарный выброс вещества	
Код	Наименование				г/с	т/год
0301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	ПДК м/р	0,20000	3	0,0641580	0,023138
0304	Азота (II) оксид (Азота оксид)	ПДК м/р	0,40000	3	0,0104256	0,003761
0330	Серы диоксид (Ангидрид сернистый)	ПДК м/р	0,50000	3	0,0128958	0,004059
0337	Углерода оксид	ПДК м/р	5,00000	4	0,6428708	0,232380

Таблица 6

Результаты расчета загрязнения атмосферы

Загрязняющее вещество Наименование	Концентрация		Нормы ПДК
	мг/м <sup>3</sup>	д. ПДК	
Азота диоксид (Азота (IV) оксид)	0,103	0,52	0,20000
Азота (II) оксид (Азота оксид)	0,0168	0,042	0,40000
Серы диоксид (Ангидрид сернистый)	0,0207	0,041	0,50000
Углерода оксид	1,034	0,207	5,00000

Согласно классификации отходов и их количеству, данную организацию можно отнести к IV категории объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, данные подтверждаются государственным реестром Росприроднадзора, следовательно, нормативы допустимых выбросов и сбросов не рассчитываются [5].

Автопарк филиала представлен следующими марками техники – Toyota Camry, Renault Logan, Ford Mondeo, Chevrolet Lanos, ПАЗ–32054, ЗИЛ–554, ГАЗ–53, ГАЗ–330202, ГАЗ–322132, ЮМЗ–6АКЛ, КО–440–2. Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу автотранспортом, был получен посредством расчётов в программном обеспечении «АТП эколог» с интегрированной в нем методикой [6] и представлен в табл. 5.

По данным веществам был проведен расчет рассеивания.

Расчёт загрязнения атмосферы выполнен с использованием унифицированной программы расчёта загрязнения атмосферы УПРЗА «ЭКО центр».

Исходные данные для проведения расчета загрязнения атмосферы:

– площадь города (для экстраполяции фона), км<sup>2</sup>: 97,3.

Метеорологические характеристики на территории расчётов по данным на апрель 2022 г.:

- средняя температура окружающей среды, °С: 15,0;
- направление, ветра °: 174–274 (шаг 1);
- скорость, м/с: 3,29–5,4 (шаг 0,1).
- Количество загрязняющих веществ в расчете – 4, групп суммации – 1.

Данные были получены по результатам моделирования с ближайшей точки в жилой зоне, непосредственно прилегающей к учреждению. Результаты расчета представлены в табл. 6. Полученные значения не превышают предельно допустимые концентрации и соответствуют санитарно-гигиеническим нормативам.

Автотранспортом также производятся отходы 2 класса опасности, аккумуляторы свинцовые. Количество образуемого мусора также производилось расчётным методом по формуле

$$Q = (n_i / c_i) \cdot m_i \cdot 10^{-3},$$

где  $Q$  – образование неисправных аккумуляторов, т/г;

$n_i$  – количество используемых аккумуляторов;

$c_i$  – коэффициент срока службы 3 года;

$m_i$  – вес аккумулятора с электролитом.

Таблица 7

## Характеристика аккумуляторов

Марка аккумуляторной батареи	Вес, кг
СТ-60	25,0
СТ-70	18,5
СТ-75	31,3
СТ-80	34,0
СТ-90	36,1

Таблица 8

## Результаты расчета образования отхода

Автомобиль	Количество	Тип аккумулятора	Кол-во аккумуляторов, шт.	Масса аккумулятора	Кол-во образования отхода, т/год
Площадка № 1					
Toyota Camry	1	СТ – 70	1	18,5	0,006
Renault Logan	2	СТ – 70	2	18,5	0,012
Ford Mondeo	1	СТ – 60	1	25,0	0,008
Chevrolet Lanos	1	СТ – 60	1	25,0	0,008
ПАЗ-32054	1	СТ – 90	1	36,1	0,012
ЗИЛ-554	1	СТ – 90	1	36,1	0,012
ГАЗ – 53	1	СТ – 90	1	36,1	0,012
ГАЗ – 330202	1	СТ – 75	1	31,3	0,010
ГАЗ – 322132	1	СТ – 75	1	31,3	0,010
ЮМЗ – 6АКЛ	1	СТ – 80	1	34,0	0,011
КО-440-2	1	СТ – 90	1	36,1	0,012
Итого:					0,116

Справочная информация по характеристикам аккумуляторов представлена в табл. 7. Расчёт приводится в табл. 8.

Образование отхода не превышает 1 т в год, что говорит о правильных условиях эксплуатации техники и минимальном вкладе в общий объем отходов.

### Заключение

Бирский филиал Башкирского государственного университета, осуществляя свою деятельность, не превышает лимитов на размещение отходов. Выбросы загрязняющих веществ от автотранспорта находятся в пределах предельно допустимых концентраций, качественно-количественный анализ отходов показал, что организацию можно отнести к IV категории объектов (минимальное воздействие на окружающую среду), оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. Организация освобождается от плановых проверок и согласно ст. 16.1 Закона № 7-ФЗ отменяется и плата за негативное воздействие на окружающую среду.

### Список литературы

1. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (ред. от 02.11.2018) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» (с изм. и доп., вступ. в силу с 04.10.2021). [Электронный ресурс]. URL: <https://rpn.gov.ru/fkko/> (дата обращения: 08.04.2022).
2. МРО-6-99 Методика расчёта объёмов образования отходов, отработанные ртутьсодержащие лампы. СПб., 1999.
3. Дружакина О.П. Культура ответственного обращения с отходами как условие техносферной безопасности урбанизированных территорий: сборник материалов III открытой Республиканской научно-практической конференции. Минск: УГЗ, 2022. С. 36–38.
4. Приказ Минэкологии РБ от 09.03.2016 № 124п «Об утверждении методических указаний по разработке проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение применительно к хозяйственной и (или) иной деятельности индивидуальных предпринимателей, юридических лиц (за исключением субъектов малого и среднего предпринимательства), в процессе которой образуются отходы на объектах, подлежащих региональному государственному экологическому надзору» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/438877918> (дата обращения: 08.04.2022).
5. Кириллова А.Н., Мусинова Н.Н. Проблемы организации сбора твердых коммунальных отходов в жилой застройке // Вестник университета. 2022. № 2. С. 64–70.
6. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий (расчетным методом). [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=98195> (дата обращения: 08.04.2022).

СТАТЬИ

УДК 622.279.6

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ  
ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ  
НА СКВАЖИНАХ КЫРТАЕЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

<sup>1</sup>Ладенко А.А., <sup>2</sup>Щелканов Д.В., <sup>3</sup>Сафиуллина Е.У., <sup>3</sup>Кусова Л.Г.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар,  
e-mail: saha-ladenko@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», Ухта,  
e-mail: dimasik.krasavchik@mail.ru;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург,  
e-mail: Safiullina\_EU@pers.spmi.ru, kusovalisa@gmail.com

В статье описывается геолого-физическая характеристика Кыртаельского нефтегазоконденсатного месторождения, расположенного в Печорском районе Республики Коми, рассматриваются показатели разработки месторождения, такие как добыча нефти, добыча жидкости, обводнённость продукции. Показано, что на Кыртаельском месторождении в период с января 2016 г. по декабрь 2018 г. было проведено 68 геолого-технических мероприятий, в которые входила обработка скважины кислотными композициями, 8 скважино-операций по гидроразрыву пласта и 35 операций по реперфорации скважин. Малое количество операций по гидроразрыву пласта связано с дороговизной проведения данного мероприятия. Показано, что при применении обоих методов (гидроразрыв пласта и реперфорация скважин) основной причиной неудовлетворительных результатов воздействия на скважину является низкое пластовое давление и плохая гидродинамическая связь с нагнетательными скважинами. Проводится анализ геолого-технических мероприятий на скважинах Кыртаельского месторождения. В статье рассмотрены результаты проведения данных мероприятий. Сделан вывод, что в среднем на скважинах, где проводилась только спиртокислотная обработка, эффективность составляла 55%, а по скважинам, где проводились геолого-технические мероприятия, в которые входили не только спиртокислотные обработки, эффективность составила 64%. Можно предположить, что основную долю эффективности приносят спиртокислотные обработки. Максимальный результат был достигнут при толщине пластов 30–40 м; при толщинах 40–65 м также были достигнуты высокие результаты. В диапазоне 20–30 м и 65–125 м был достигнут положительный эффект, но относительно низкий. Можно предположить, что основную долю эффективности геолого-технических мероприятий, в которых применялись ещё и другие мероприятия, приносят кислотные обработки.

**Ключевые слова:** анализ проведения геолого-технических мероприятий, общие сведения о проведённых ГТМ, гидроразрыв пласта, реперфорация пластов, анализ спиртокислотных обработок скважин, прирост добычи нефти от проведения ГТМ, эффективность применения обработок

**ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF CONDUCTING GEOLOGICAL  
AND TECHNICAL MEASURES ON THE WELLS  
OF THE KYRTAELSKOYE FIELD**

<sup>1</sup>Ladenko A.A., <sup>2</sup>Schelkanov D.V., <sup>3</sup>Safiullina E.U., <sup>3</sup>Kusova L.G.

<sup>1</sup>Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: saha-ladenko@yandex.ru;

<sup>2</sup>Ukhta State Technical University, Ukhta, e-mail: dimasik.krasavchik@mail.ru;

<sup>3</sup>Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, e-mail: Safiullina\_EU@pers.spmi.ru

The article describes the geological and physical characteristics of the Kyrtaelskoye oil and gas condensate field located in the Pechora region of the Komi Republic, considers the indicators of field development, such as oil production, fluid production, water cut. It is shown that on the Kyrtaelskoye field, 68 geological and technical measures were carried out in the period from January 2016 to December 2018, which included treatment of the well with acid compositions, 8 well operations for hydraulic fracturing and 35 operations for reperforation of wells. A small number of hydraulic fracturing operations is associated with the high cost of this event. It is shown that when using both methods (fracturing reperforation of wells), the main reason for unsatisfactory results of the impact on the well is low reservoir pressure and poor hydrodynamic communication with injection wells. An analysis of geological and technical measures at the wells of the Kyrtaelskoye field is carried out. The article discusses the results of these activities. It was concluded that, on average, for wells where only alcoholic acid treatment was carried out, the efficiency was 55%, and for wells where geological and technical measures were carried out, which included not only alcoholic acid treatments, the efficiency was 64%. It can be assumed that the main share of efficiency comes from alcoholic acid treatments. The maximum result was achieved with seam thicknesses of 30–40 m; good results were also achieved at the thickness of 40–65 m. In the range of 20–30 m and 65–125 m, a positive effect was achieved, but relatively low. It can be assumed that the main share of the effectiveness of geological and technical measures, in which other measures were also used, are brought by acid treatments.

**Keywords:** analysis of geological and technical measures, general information about the conducted geological and technical measures, hydraulic fracturing, reperforation of layers, analysis of alcoholic acid treatments of wells, increase in oil production from geological and technical measures, effectiveness of the application of treatments

Кыртаельское нефтегазоконденсатное месторождение расположено в Печорском районе Республики Коми, в 15 км к юго-западу от г. Печора.

Месторождение открыто в 1969 г., разведочные работы завершены в 1976 г., в разработку введено в 1988 г. на основную залежь нефти старооскольского надгоризонта.

На месторождении открыты и в различной степени разведаны три залежи нефти в верхнеэйфельских отложениях (3, 2 и 1 пласты), две залежи нефти и одна газоконденсатнонефтяная (основной объект) в старооскольских отложениях среднего девона, три залежи (нефтяная, нефтегазоконденсатная и газоконденсатная) в песчаниках нижней пачки и две залежи (нефтегазоконденсатная и газоконденсатная) в песчаниках верхней пачки джьерских отложений верхнего девона. Залежи старооскольских отложений являются основным объектом разработки и вмещают большую часть запасов углеводородов месторождения.

На Кыртаельском месторождении в период с января 2016 г. по декабрь 2018 г. было проведено 68 геолого-технических мероприятий, в которые входила обработка скважины кислотными композициями, 8 скважино-операций по гидроразрыву пласта и 35 операций по реперфорации скважин. Ниже проведён анализ эффективности проведения ГТМ на Кыртаельском месторождении [1–3].

В статье будет проведён анализ эффективности проведения геолого-технических мероприятий на Кыртаельском месторождении и рассмотрены технологии проведения солянокислотных обработок

пласта, гидроразрыва пласта и реперфорации скважин.

### Материалы и методы исследования

#### *Гидроразрыв пласта*

В рассматриваемый период было проведено 8 операций по гидроразрыву пласта [4]. Информация о результатах проведения гидроразрыва пласта представлена в табл. 1.

Гидроразрывы проводились в скважинах, пласты которых характеризуются высокими коллекторскими свойствами: по геофизическим исследованиям скважин пористость колеблется от 13 до 22%, проницаемость – от 0,002 до 0,329 мкм<sup>2</sup>. Исключение составили скважины № 4233 и 5123, пласты которых представлены низкопроницаемыми песчаниками. На рис. 1 представлена гистограмма сравнения дебита нефти по скважинам до и после проведения ГРП.

Как видно из рис. 1, по скважинам № 4233 и 5112 прирост добычи нефти незначителен (около 2 т/сут), а по скважине № 1045 наблюдается снижение добычи. Причиной неэффективной операции в скважине № 1045 является низкое пластовое давление. На работе данной скважины не сказывается влияние нагнетательных скважин № 100 и 1037. Из-за наличия на этом участке двух тектонических нарушений гидродинамическая связь с ними, видимо, отсутствует. Специальные исследования (гидропрослушивание) не проводились. По предварительным результатам закачки трассеров в нагнетательную скважину № 1037, выполненную в 2004 г., лишь 2% объёма закачиваемой воды достигает скважины № 1045.

**Таблица 1**

Результаты проведения ГРП

№ скважины	Характеристика работы скважин					
	до ГТМ			после ГТМ		
	дебит нефти, т/сут	дебит жидкости, т/сут	обводнённость, %	дебит нефти, т/сут	дебит жидкости, т/сут	обводнённость, %
4233	10,8	14,8	26,7	14,1	19,3	27,1
48	23,6	25,2	6,6	36,5	40,2	9,4
5112	4,7	4,9	4,0	6,6	7,0	6,4
5123	10,3	10,9	5,2	16,4	17,3	5,3
4223	7,5	8,3	9,0	21,1	23,7	11,0
4228	7,5	8,4	10,3	27,3	91,2	70,1
1045	48,3	49,3	1,9	24,5	28,0	12,5
1537	9,4	15,9	40,9	26,9	28,1	4,2



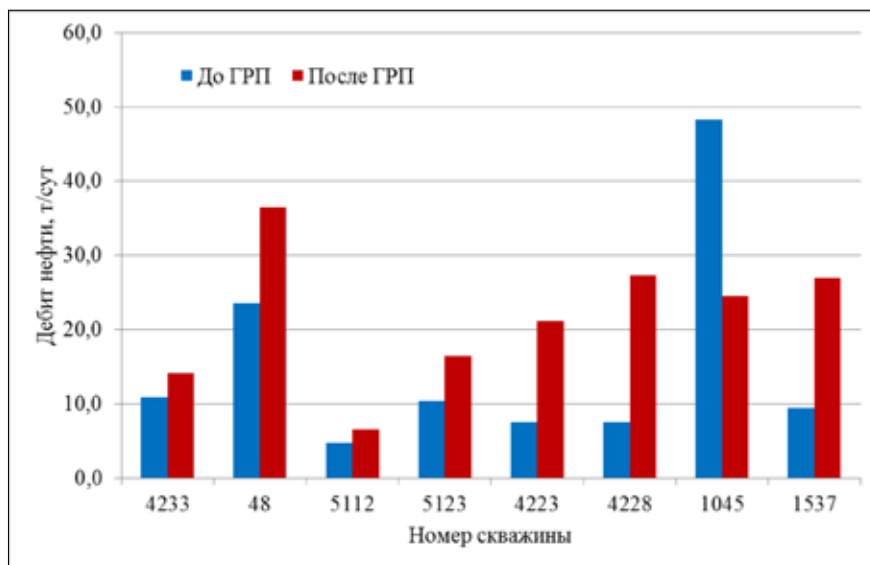


Рис. 1. Распределение добычи нефти до и после проведения ГРП

Невысокие результаты после проведения ГРП получены в скважине № 4233 по причине расположения её в пределах залежи южного купола. Участок пласта к моменту проведения ГРП разрабатывался на естественном режиме, не была сформирована система заводнения. Средневзвешенное пластовое давление составило 10–11 МПа, что ниже начального, которое принято по данному пласту равным 16 МПа.

Дополнительная добыча нефти по всем скважинам составила 80827 т, среднее время продолжительности эффекта – 847 сут., средний прирост дебита за время эффекта 13,6 т/сут.

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1) невысокие показатели эффективности мероприятий в скважинах V объекта и отсутствие эффекта от ГРП на I объекте обусловлены в первую очередь низким уровнем энергетического состояния пластовой системы;

2) оценка эффективности мероприятий по ГРП затруднена в связи с отсутствием геофизических исследований работы скважин до и после воздействия;

3) обобщение опыта работ, проведённых на месторождении, указывает на необходимость строгого отбора скважин-кандидатов на ГРП и применение адаптированных технологий гидроразрывов по совокупности геолого-технологических критериев [5, 6].

#### Реперфорация пластов

Для повышения продуктивности добывающих скважин на Кыртаельском

месторождении используются перфорационные работы, в число которых входит перестрел (или реперфорация) ранее перфорированных интервалов и дострел ранее не вскрывавшихся нефтенасыщенных интервалов.

Кроме использования данных работ в качестве самостоятельного метода повышения продуктивности скважин, перфорационные работы проводятся также в составе мероприятий вторичного освоения скважин, подготовки гидроразрыва пласта и при ремонтно-изоляционных работах [7].

За рассматриваемый период было проведено 35 операций по реперфорации пластов. Обычно реперфорации проводились в сочетании с другими методами обработки призабойной зоны (термобарическими, акустическими и кислотными). Результаты проведения реперфорации скважин представлены в табл. 2.

На рис. 2 показано распределение добычи нефти до и после проведения реперфорации. Дополнительная добыча нефти за счёт проведения реперфорации скважин составляет 240127 т по всем скважинам, средняя продолжительность эффекта 328 сут, прирост добычи составил 20,9 т/сут на скважину.

Таким образом, результаты реперфорации пластов указывают на высокую эффективность в условиях достаточного запаса пластовой энергии и позволяют считать реперфорацию пластов одним из основных методов интенсификации добычи нефти на перспективу [8, 9].

**Таблица 2**

Эффект проведения реперфорации

№ скважины	Характеристика работы скважин					
	до ГТМ			после ГТМ		
	дебит нефти, т/сут	дебит жидкости, т/сут	обводнёность, %	дебит нефти, т/сут	дебит жидкости, т/сут	обводнёность, %
48	23,6	23,6	0	23,6	25,2	6,6
1108	76,7	78,8	2,8	84	85,7	2
4152	3,3	4	16,7	36,1	50	27,8
6066	4,1	4,4	8,2	7,3	7,9	7,6
1035	17,8	21,4	16,8	19,9	33,5	40,7
4163	15,5	16	2,9	22,5	25,7	12,2
1061	55,6	56,6	1,7	64,7	66,7	3
4108	18,6	18,9	1,7	9,1	9,2	1,1
4054	6,3	7,4	13,9	6,4	6,6	2,3
5098	15,5	52,9	70,7	24,7	115,5	78,6
5112	6,6	7	5,8	8,4	9,5	11,4
1125	67,2	73,7	8,9	8,3	18,8	56
6	38,9	89,6	56,6	51,1	96,8	47,2
1045	15,2	20,9	27,4	47,8	58,4	18,1
1062	0	0,0	100	21,5	36,4	41
1121	2,4	27,0	91,1	0,6	10,7	94,4
1060	0	0,0	100	9,9	11,1	11
1118	1,1	10,1	89,1	11,3	29,0	61,1
1090	56,6	64,4	12,1	7,4	19,5	62
1045	10,2	18,9	46	6,2	20,0	69
1069	3,2	20,0	84	43,1	62,6	31,2
1011	0,7	43,8	98,4	36,6	107,6	66
61	11,1	12,2	8,9	9,4	13,6	31
1142	14,2	32,7	56,6	16,1	35,3	54,4
6018	31,8	43,8	27,4	26,6	49,8	46,6
4411	1,4	12,8	89,1	14,1	39,2	64
1020	7,8	8,9	12,1	6,6	8,5	22,2
5110	11,1	14,7	24,4	24,1	27,4	12,1
2210	36	43,9	18	33	48,7	32,2
1313	14	35,9	61	19,9	48,3	58,8
5062	0	0,0	100	0	0,0	100
6421	12,2	18,0	32,2	14,8	21,5	31,1
5220	4,6	11,2	58,8	4	13,3	69,9
44	9,1	25,6	64,4	16,1	32,1	49,9

*Анализ спиртокислотных обработок скважин*

На Кыртаельском месторождении в период с января 2016 г. по декабрь 2018 г. было проведено 33 геолого-технических мероприятий, в которые входила обработка скважины кислотными композициями. Только 11 из них не сопровождались дополнительными мероприятиями. Анализируя полу-

ченные результаты можно прийти к следующим выводам: из 33 обработок скважин на 30 скважинах удалось добиться положительного эффекта, но нужно учесть, что две скважины, на которых добиться положительного эффекта не удалось, находились в бездействии. В скважине № 101 после проведения ГТМ вовсе прекратился приток жидкости.

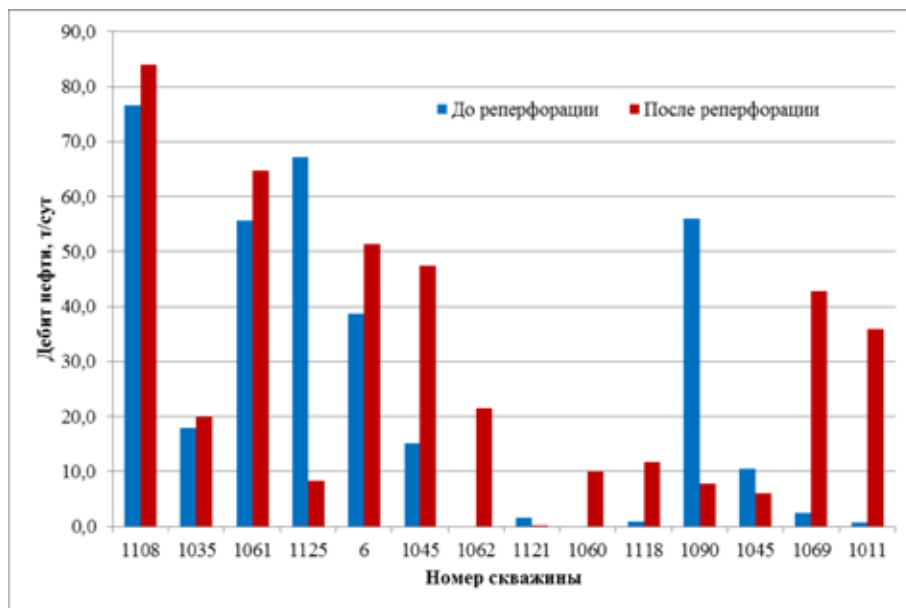


Рис. 2. Распределение добычи нефти до и после проведения реперфорации

В среднем прирост добычи нефти от проведения ГТМ составляет 12,6 т/сут, или 49,7%. Если не учитывать те скважины, по которым эффект от проведения ГТМ был отрицательным, то положительный эффект получается 16,3 т/сут, или 61,6%.

Оценить эффективность применения кислотных обработок призабойной зоны пласта, основываясь на результатах проведения ГТМ на скважинах, где помимо спиртокислотных обработок применялись другие методы, некорректно, так как сложно оценить влияние именно кислотного воздействия. Далее проанализированы дан-

ные по 11 мероприятиям, где проводилась только кислотная обработка [10]. На рис. 3 и 4 приведены сравнительные диаграммы добычи нефти и обводнённости до и после проведения спиртокислотных обработок.

Из рис. 3 видно, что 10 из 11 обработок скважин привели к увеличению дебита скважины. На одной скважине добиться положительного эффекта не удалось. Скважина № 344 находилась в текущем бездействии, что могло повлиять на результаты. Повторное проведение спиртокислотных обработок спустя 3 месяца на этой скважине не дало положительный эффект.

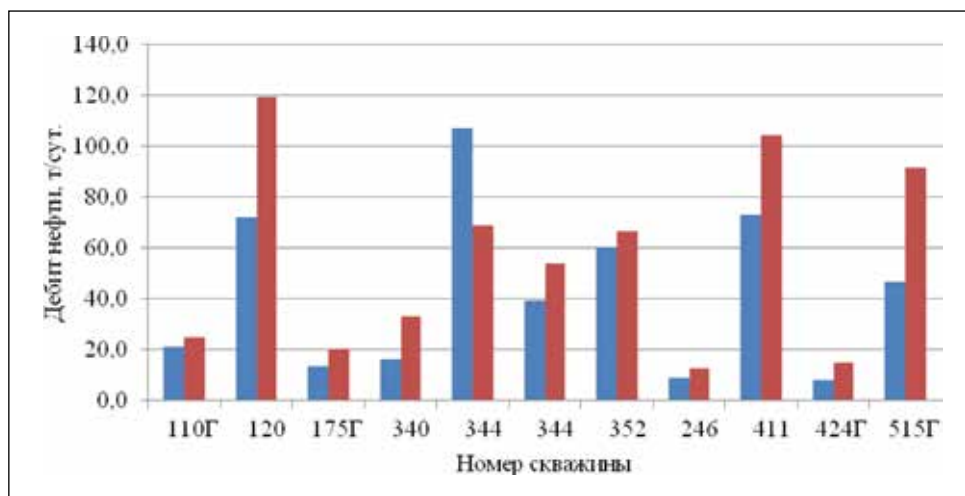


Рис. 3. Сравнительная диаграмма дебита нефти до и после обработки скважин

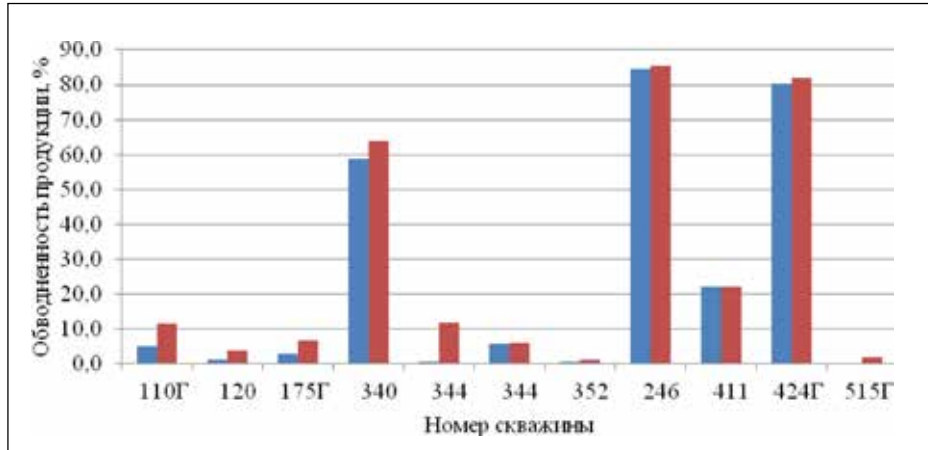


Рис. 4. Сравнительная диаграмма обводнённости продукции до и после обработки скважин

Дополнительная добыча нефти после проведения спиртокислотных обработок в среднем составляет 13,1 т/сут, или 46,8%. Дополнительная добыча по скважинам, где был получен положительный эффект, в среднем 18,3 т/сут, или 55,1%.

Как видно из рис. 4, обводнённость продукции по всем скважинам либо не изменилась, либо увеличилась. На скважинах № 352, 246, 411, 424Г и 515Г и при вторичной обработке скважины № 344 обводнённость увеличилась менее чем на 2%. Максимально обводнённость скважины увеличилась при первичной обработке скважины № 344 на 11%. На это могло повлиять то, что скважина находилась в текущем бездействии. На остальных скважинах обводнённость увеличилась от 2 до 6% [11, 12].

### Результаты исследования и их обсуждение

В связи с тем, что отрицательный эффект при проведении спиртокислотной обработки был получен только при первичной обработке скважины № 344, вероятней всего, это произошло по причине нахождения скважины в текущем бездействии (техрежим скважины считается таким, каким он был до остановки). Также скважина № 344 подвергалась повторной обработке. Поэтому в дальнейшем анализе результаты первичной обработки не учитывались.

Рассмотрим влияние толщины пласта, вскрытого скважиной, на эффективность кислотной обработки ПЗП. График зависимости приведён на рис. 5.

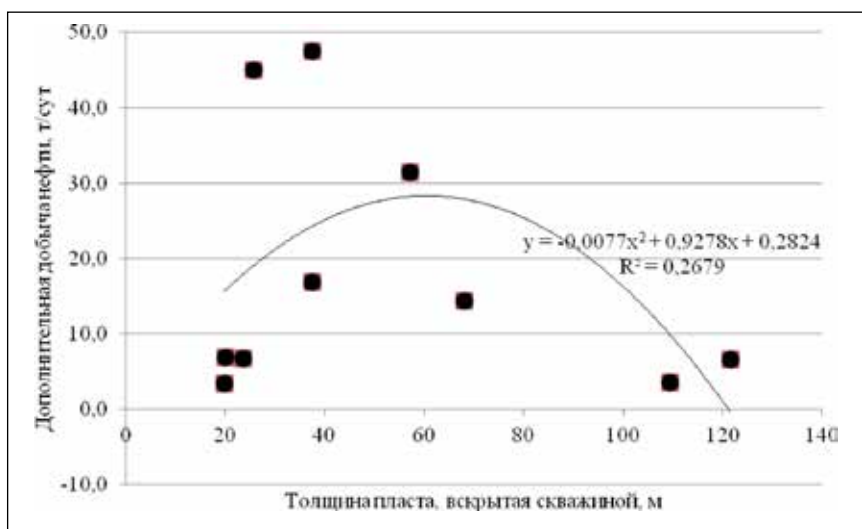


Рис. 5. Зависимость дополнительной добычи нефти от толщины пласта:  $y$  – функция квадратичной зависимости;  $R^2$  – коэффициент детерминации

Как видно из рис. 5, ни прямой, ни обратной зависимости дополнительной добычи нефти от толщины пласта не существует. Видно, что минимальный прирост добычи нефти в среднем 5 т/сут достигается по скважинам с минимальной толщиной (до 25 м) и с максимальной толщиной (более 100 м). Наибольшего эффекта удалось добиться на скважинах с толщиной пласта 30–40 м.

Максимальный коэффициент детерминации был достигнут при построении полиномиальной линии тренда, он равен 0,27. Это говорит о том, что зависимости между этими параметрами практически нет.

Для более объективного сравнения рассмотрим зависимость относительного увеличения дебита скважины в процентах (эффективность ГТМ) от толщины пласта (рис. 6).

Как видно из рис. 6, минимальная эффективность (менее 20%) была достигнута при минимальной (20 м) и максимальной (123 м) толщине пласта. Максимальная эффективность достигнута на скважинах с толщиной пласта 21–39 м.

Максимальный коэффициент детерминации был достигнут при построении полиномиальной линии тренда, он равен 0,31. Это говорит о том, что зависимости между этими параметрами практически нет.

Анализируя рис. 5 и 6, можно сделать вывод, что зависимости какого-либо отношения эффективности спиртокислотных обработок от толщины пласта, вскрываемой скважиной, практически нет, но при этом можно сказать, что максимальный результат был до-

стигнут при толщинах пластов 30–40 м; при толщинах 40–65 м также были достигнуты высокие результаты. В диапазоне 20–30 м и 65–125 м был достигнут положительный эффект, но относительно низкий [13, 14].

Рассмотрим зависимость эффективности спиртокислотных обработок от начального дебита скважин до его обработки. На рис. 7 приведена зависимость дебита нефти скважины до и после обработки.

Как видно из рис. 7, между параметрами дебитов нефти до и после обработки прослеживается определённая линейная зависимость. Если построить линию тренда, получим коэффициент детерминации, равный 0,623, что также говорит о некой зависимости между этими параметрами.

Также стоит сравнить эффективность от проведения спиртокислотных обработок в безразмерных величинах. Для этого сравним зависимость эффективности ГТМ в процентах от начального дебита скважины (рис. 8).

Из рис. 8 видно, что зависимости между этими параметрами не существует, что и подтверждает коэффициент детерминации, равный 0,042.

### Заключение

Исходя из зависимостей, представленных на рис. 7 и 8, можно сделать вывод, что всё-таки прогнозировать эффективность проведения спиртокислотных обработок, исходя из режима работы скважины, не стоит.

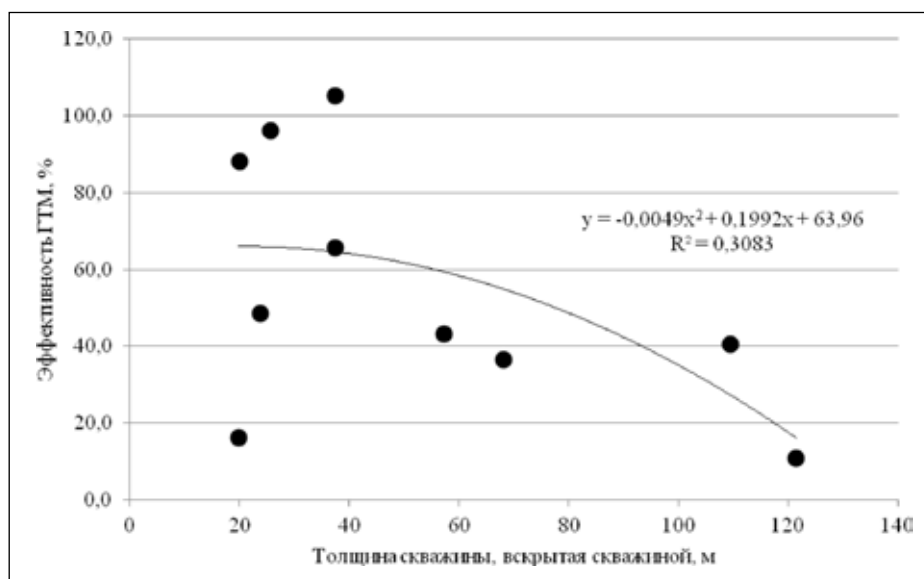


Рис. 6. Зависимость эффективности ГТМ от толщины пласта:  
 $y$  – функция квадратичной зависимости;  $R^2$  – коэффициент детерминации

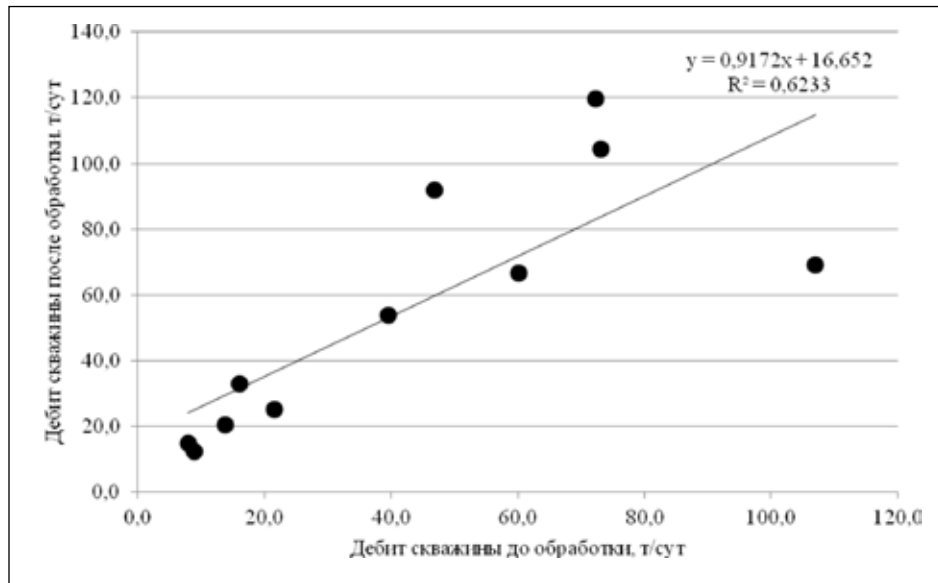


Рис. 7. Зависимость дебита нефти скважины до и после обработки:  $y$  – функция линейной зависимости;  $R^2$  – коэффициент детерминации

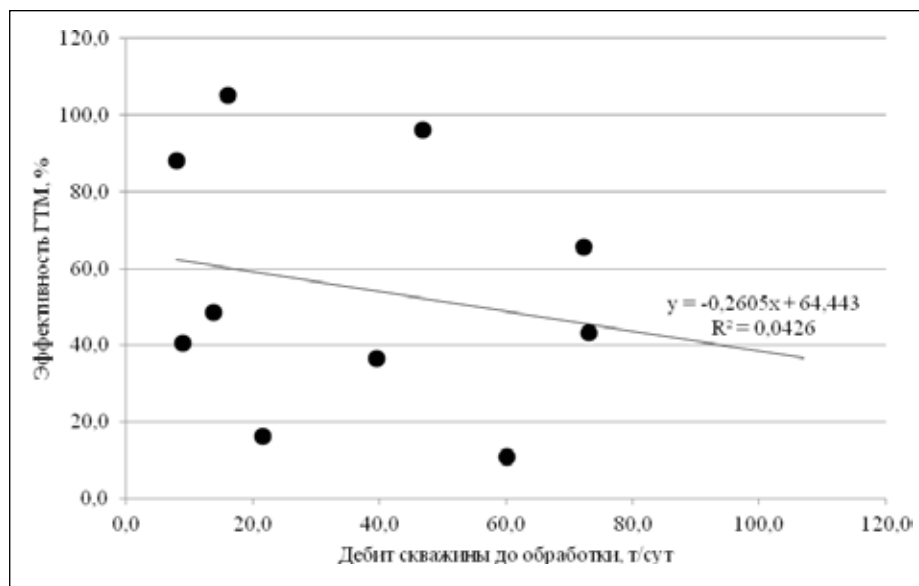


Рис. 8. Зависимость эффективности ГТМ от начального дебита:  $y$  – функция линейной зависимости;  $R^2$  – коэффициент детерминации

Стоит отметить, что в среднем на скважинах, где проводилась только спиртокислотная обработка, эффективность составляла 55%, а по скважинам, где проводились ГТМ, в которые входили не только спиртокислотные обработки, эффективность составила 64%. Можно предположить, что основную долю эффективности приносят спиртокислотные обработки [15, 16].

#### Список литературы

1. Ладенко А.А., Савенок О.В. Теоретические основы разработки нефтяных и газовых месторождений. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 244 с.
2. Савенок О.В., Ладенко А.А. Разработка нефтяных и газовых месторождений. Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2019. 275 с.
3. Ладенко А.А., Савенок О.В. Геофизические исследования скважин на нефтегазовых месторождениях. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 260 с.

4. Никитин Б.А., Григулецкий В.Г. Стационарный приток нефти к одиночной горизонтальной скважине в анизотропном пласте // Нефтяное хозяйство. 1992. № 10. С. 10–12.
5. Булатов А.И., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин. Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2016. 576 с.
6. Савенок О.В., Качмар Ю.Д., Яремийчук Р.С. Нефтегазовая инженерия при освоении скважин. М.: Инфра-Инженерия, 2019. 548 с.
7. Попов В.В., Третьяк А.Я., Савенок О.В., Кусов Г.В., Швец В.В. Геоинформатика нефтегазовых скважин. Новочеркасск: Издательство «Лик», 2018. 292 с.
8. Долингер А.А., Савенок О.В. Анализ эффективности проведения ГТМ механическими методами на Харьягинском месторождении // Булатовские чтения. 2021. Т. 1. С. 151–162.
9. Ладенко А.А., Родионов В.П. Новейшая технология гидроперфорации при бурении нефтяных и газовых скважин // Проблемы прочности в промышленности и строительстве. Механические испытания технических систем и гарантия безопасности в среде обитания человека: материалы Всероссийской научно-практической конференции (Армавир, 20–25 сентября 2000 г.). Армавир: Армавирский механико-технологический институт, 2000. С. 130–132.
10. Дуркин С.М., Павлюк А.В., Меньшикова И.Н. Обоснование методов повышения нефтеотдачи пласта Кыртаельского нефтегазоконденсатного месторождения на основе численного моделирования // Нефтепромысловое дело. 2015. № 10. С. 32–36.
11. Сердитов А.Ю., Кулешов В.Е., Пескишев Н.О. Вопросы сохранения продуктивности скважин во время проведения капитального ремонта в условиях Кыртаельского месторождения // Севергеоэкотех-2012: материалы XIII Международной молодежной научной конференции в 6 ч. (Ухта, 21–23 марта 2012 г.). Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2013. С. 266–270.
12. Шматко Н.В., Савенок О.В. Анализ эффективности проведения ГТМ на Северо-Кожвинском месторождении // «R.E.X. 2021»: материалы Международной научно-практической конференции (Краснодар, 03 июня 2021 г.). Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2021.
13. Савенок О.В., Григулецкий В.Г., Рахматуллин Д.В., Сухоносова А.Н., Рюмина Н.В., Поварова Л.В., Кусов Г.В. Экологические аспекты при строительстве нефтяных и газовых скважин: монография. М. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 652 с.
14. Меньшикова И.Н. Анализ эффективности разработки Кыртаельского нефтегазоконденсатного месторождения // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. 2014. № 1. С. 249–252.
15. Рогачёв М.К., Мухаметшин В.В. Контроль и регулирование процесса солянокислотного воздействия на призабойную зону скважин по геолого-промысловым данным // Записки Горного института. 2018. Т. 231. С. 275–280.
16. Рогачёв М.К., Александров А.Н. Обоснование комплексной технологии предупреждения образования асфальтосмолопарафиновых отложений при добыче высокопарафинистой нефти погружными электроцентробежными насосами из многопластовых залежей // Записки Горного института. 2021. Т. 250. № 4. С. 596–605.

УДК 551.26:552.321.6(470.621)

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЕРПЕНТИНИТОВЫХ МАССИВОВ ЮЖНОГО УРАЛА И ПЕРЕДОВОГО ХРЕБТА БОЛЬШОГО КАВКАЗА

<sup>1</sup>Попов Ю.В., <sup>2</sup>Пустовит О.Е.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: popov@sfedu.ru;

<sup>2</sup>ООО «ГеоБазисПроект», Ростов-на-Дону, e-mail: olupustovit@mail.ru

Альпинотипные апогипербазиты являются важным источником информации об особенностях мантийного субстрата и тектонической эволюции регионов. В случае глубокой серпентинизации, приведшей к утрате особенностей состава протолита и маркеров геодинамической приуроченности, реконструкции основываются на фрагментарных данных о реликтовых минералогическо-петрографических особенностях пород, что требует привлечения методов сравнительного анализа. В работе на основе минералогическо-петрографических признаков (состава аксессуарных хромшпинелей и состава серпентинитовых ассоциаций) приведено сравнение серпентинитовых массивов Южного Урала (из Медногорско-Кракинского, Миасс-Куликовского, Казбаевского гипербазитовых поясов) и менее изученных массивов тектоно-формационной зоны Передового хребта Большого Кавказа (Беденского, Даховского, Кишинского, Нижнетебердинского). Для кавказских аксессуарных хромшпинелей обоснована принадлежность к офиолитовому тренду изменения составов (от хромпикотитов к субферрихромитам), присутствие реликтовых ядер и оторочек, отвечающих «мантийным» составам, преобладание зерен с характерным для гарцбургитов составом. Рассмотренные апогипербазиты Передового хребта Большого Кавказа по составу аксессуарных хромшпинелей и серпентинитовых ассоциаций близки к гарцбургитовым массивам Миасс-Куликовского пояса и сходных с ними массивов восточной ветви Медногорско-Кракинского пояса Южного Урала, образованных за счет деплиторированного верхнемантийного субстрата. Сопоставляемые комплексы отвечают офиолитам супра- и надсубдукционных зон. Для апогипербазитов обоих регионов характерна латеральная смена лизардитовых ассоциаций на существенно антигоритовые в массивах, проявляющих более высокую степень преобразования хромшпинелей (в соответствии с направленностью офиолитового тренда), что, видимо, связано с их положением в герцинском структурном плане – в ходе обдукции удаленные от осей палеосубдукции массивы претерпели меньшую тектоно-метаморфическую переработку в коровых условиях.

**Ключевые слова:** серпентиниты, офиолиты, хромшпинелиды, беденский комплекс, Южный Урал, Передовой хребет

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SERPENTINITE MASSIFS OF THE SOUTHERN URALS AND THE PEREDOVOY RANGE OF THE GREATER CAUCASUS

<sup>1</sup>Popov Yu.V., <sup>2</sup>Pustovit O.E.

<sup>1</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: popov@sfedu.ru;

<sup>2</sup>GeoBasisProect Ltd, Rostov-on-Don, e-mail: olupustovit@mail.ru

Alpinotype apohyperbasites are an important source of information about the features of the mantle substrate and the tectonic evolution of the regions. In the case of deep serpentinization, which led to the loss of protolith compositional features and markers of geodynamic attribution, reconstructions are based on fragmentary data on relict mineralogical-petrographic features of rocks, which requires the use of comparative analysis methods. In this research on the basis of mineralogical-petrographic features (the composition of accessory chrome-spinels and the composition of serpentine associations) a comparison is made of the serpentinite massifs of the Southern Urals (Mednogorsk-Kraskinsky, Miass-Kulikovsky, Kazbaevsky hyperbasite belts) and less studied massifs of the tectono-formational zone of the Peredovoi range of the Greater Caucasus (Bedensky, Dakhovsky, Kishinsky Nizhneteberdinsky). For Caucasian accessory chrome-spinels, the belonging to the ophiolitic trend of compositional changes (from chrompicotites to subferrichromites), the presence of relict cores and rims corresponding to “mantle” compositions, and the predominance of grains with a composition characteristic of harzburgites are justified. In terms of the composition of accessory chrome-spinels and serpentine associations, the considered apohyperbasites of the Peredovoi range of the Greater Caucasus are close to the harzburgite massifs of the Miass-Kulikovsky belt and similar massifs of the eastern branch of the Mednogorsk-Kraskinsky belt of the Southern Urals, which were formed due to the depleted upper-mantle substrate. The compared complexes correspond to ophiolites of supra- and oversubduction zones. Apohyperbasites of both regions are characterized by a lateral change of lizardite associations to essentially antigoritic ones in massifs showing a higher degree of transformation of chrome-spinels (in accordance with the direction of the ophiolitic trend), which, apparently, is associated with their position in the Hercynian structural plan – during obduction, massifs removed from the axes of paleosubduction have undergone less tectono-metamorphic changes in crustal conditions.

**Keywords:** serpentinites, ophiolites, chrome-spinelides, bedensky complex, Southern Urals, Peredovoy Range

Апогипербазитовые массивы, входящие в состав складчато-глыбовых структур подвижных поясов, являются важным источником информации об особенностях мантий-

ного субстрата и тектонической эволюции региона. Однако в условиях глубокой серпентинизации и дислоцированности реконструкция особенностей протолита часто



основывается на фрагментарных данных о реликтовых минералого-петрографических особенностях пород, что требует привлечения методов сравнительного анализа. К числу наиболее хорошо изученных апогипербазитовых комплексов территории России принадлежат массивы Южного Урала. Более дискуссионным является определение формационной и геодинамической приуроченности протолита серпентинитов Большого Кавказа.

В работе приводятся результаты сравнительного анализа комплекса апогипербазитов Южного Урала и тектоно-формационной зоны Передового хребта Большого Кавказа, с герцинской покровно-складчатой структурой которой связана основная масса серпентинитов на Большом Кавказе. Объектом изучения среди кавказских апогипербазитов послужили Беденский, Даховский, Кишинский, Нижнетебердинский

серпентинитовые массивы, ассоциирующие с метапородами блоков кристалликума и относимые к беденскому комплексу (рис. 1); возраст включаемых в него пород проблематичен (условно они отнесены к позднему протерозою). Практическая значимость такого сравнительного анализа определяется необходимостью сопоставления на формационном уровне хорошо охарактеризованных в минерагеническом плане уральских серпентинитовых комплексов с кавказскими массивами, для которых обсуждаются перспективы платиноносности, в пользу которой свидетельствуют литохимическая обогащенность офиокластитов Тоханского тектонического покрова, содержащего продукты экзогенного разрушения серпентинитов, находки в шлиховых пробах из аллювия рек, размывающих Беденский массив, минералов платиновой группы и ряд других признаков.

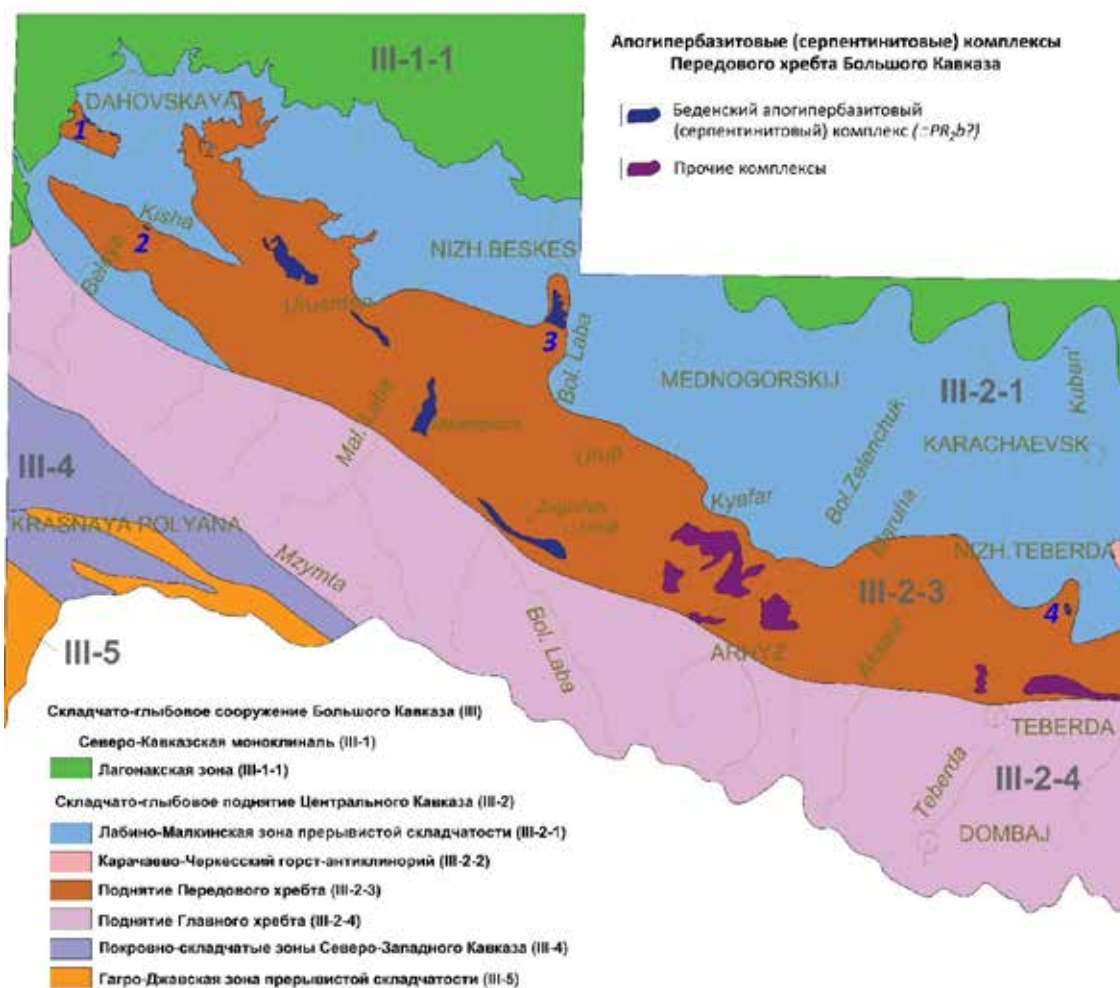


Рис. 1. Схема положения серпентинитовых массивов Передового хребта Большого Кавказа. Рассматриваемые массивы беденского апогипербазитового комплекса: 1 – Даховский, 2 – Кишинский, 3 – Беденский, 4 – Нижнетебердинский

### Материалы и методы исследования

Данные о структурно-текстурных особенностях и минеральном составе серпентинитов, составе и строении зональных аксессуарных хромшпинелей кавказских массивов основываются на ранее опубликованных нами данных, опирающихся на результаты исследований с применением комплекса современных инструментальных методов анализа (электронно-зондовых исследований, синхронного термического, рентгенофазового анализа и др.) [1–3]. Характеристика уральских серпентинитов приведена в многочисленных работах (результаты которых обобщены в монографиях [4, 5 и др.]); использованы преимущественно изложенные в работах [6–8] материалы, полученные на основании близкого к проведенному нами комплексу минералого-петрографических исследований, что обеспечивает сопоставимость данных.

### Результаты исследования и их обсуждение

В герцинской структуре Южного Урала выделяются с запада на восток несколько поясов альпинотипных гипербазитов, связанных с зонами офиолитовых меланжей. На западе, в Магнитогорской мегазоне (в составе Присакмаро-Вознесенской зоны меланжа, продолжающегося на север в зону Главного Уральского разлома), расположен Медногорско-Кракинской гипербазитовый пояс. Офиолиты этой зоны связываются с обстановкой окраинно-континентального рифта, к югу переходящего в спрединг с формированием габбро-гипербазитовых массивов гарцбургитового типа (Хабарнинский, Кемпирсайский). На западе пояса обнажены массивы лерцолитового типа (Кракинские, Узьянский, Меднянский, Нуралинский, Тарлауский и др.), относимые к «щелевым» офиолитам (формирование которых сходно с условиями Афарской депрессии), субстрат которых связан с фрагментами верхней мантии Восточно-Европейского кратона и несет признаки плавления на разных глубинах, в том числе в области в неистощенной мантии [4]. В этих массивах широко проявлена лизардитизация, а хризотилловые разности развиты преимущественно на флангах массивов и в зонах разрывных нарушений. Восточные массивы этого пояса принадлежат гарцбургитовому типу (Аушкульский, Калканский, Байгускаровский, Ишкинин-

ский); в составе Байгускаровского меланжа ассоциируют с островодужными базальтами [4]. Вдоль восточного фланга мегазоны протягивается Восточно-Магнитогорский меланж, включающий массивы гарцбургитового (с присутствием лерцолитов) типа Миасс-Куликовского пояса (Аминевский, Куликовский, Кацбахский), структурно связанные с офиолитами Арамилско-Сухтелинской зоны Восточно-Уральской мегазоны, включающими глубоководные кремнистые сланцы и вулканиты, петрохимически близкие к океаническим. Апогипербазиты несут признаки связи с сильно истощенными реститами, характерными для оснований островных дуг [7]. Серпентинитовые ассоциации включают как преобладающие антигоритовые, так и лизардит-хризотилловые. На востоке, в составе Восточно-Уральской мегазоны, расположен Казбаевский пояс ультрабазитов, объединяющий массивы апогарцбургитовых преимущественно хризотил-антигоритовых серпентинитов (Успенковский, Татищевский, Варшавский, Верблюжьегорский и др.), связываемые с обедненным легкоплавкими петрогенными компонентами субстратом и спрединговой обстановкой, вероятно, задугового бассейна. В составе Миасс-Куликовского и Казбаевского поясов широко развиты антигоритовые серпентиниты [6, 7].

В структуре Передового хребта Большого Кавказа тела серпентинитов беденского комплекса образуют преимущественно небольшие по площади массивы, пластины и линзовидные тела, тектонически ассоциирующие с пластинами раннегерцинских покровов и заключенные между блоками кристалликума. При этом апогипербазиты обычно оторваны от пакетов тектонических покровов и залегают в зонах разломов, нередко являющихся зонами тектонического пододвигания. На северном фланге Передового хребта Беденский серпентинитовый массив (имеющий плитообразную форму) и небольшой Нижнетебердинский массив приурочены к области надвигания комплексов Передового хребта на структуры Карачаево-Черкесской тектоно-формационной зоны, трассируемой зоной крупных разломов. Для массивов характерны вариации состава серпентинитов от лизардит-хризотилловых до хризотил-антигоритовых. Апогипербазиты ассоциируют с Тоханским тектоническим покровом, породы которого относят либо к задуговому, либо к фрон-

тальному бассейну, и блоком догерцинского кристалликума. На западном продолжении зоны разломов, за пределами Передового хребта, на фланге Даховского поднятия кристалликума серпентиниты обнажаются в виде серии сильно дислоцированных линзовидных тел. Их состав изменяется от преобладающего лизардитового до хризотил-антигоритового в зонах циркуляции гидротермальных растворов, связанных с позднегерцинскими гранитоидами. Южнее серпентинитовые массивы

и небольшие тела приурочены к разломам блоков кристалликума и границам пластин тектонических покровов – Кизилкольского островодужного и Марухского океанического. Последний образован офиолитовой ассоциацией, включающей частично серпентинизированные гипербазиты, габброиды, базальтоиды и вулканогенно-осадочные породы; большинством исследователей он отождествляется с фрагментом океанической коры задугового бассейна.

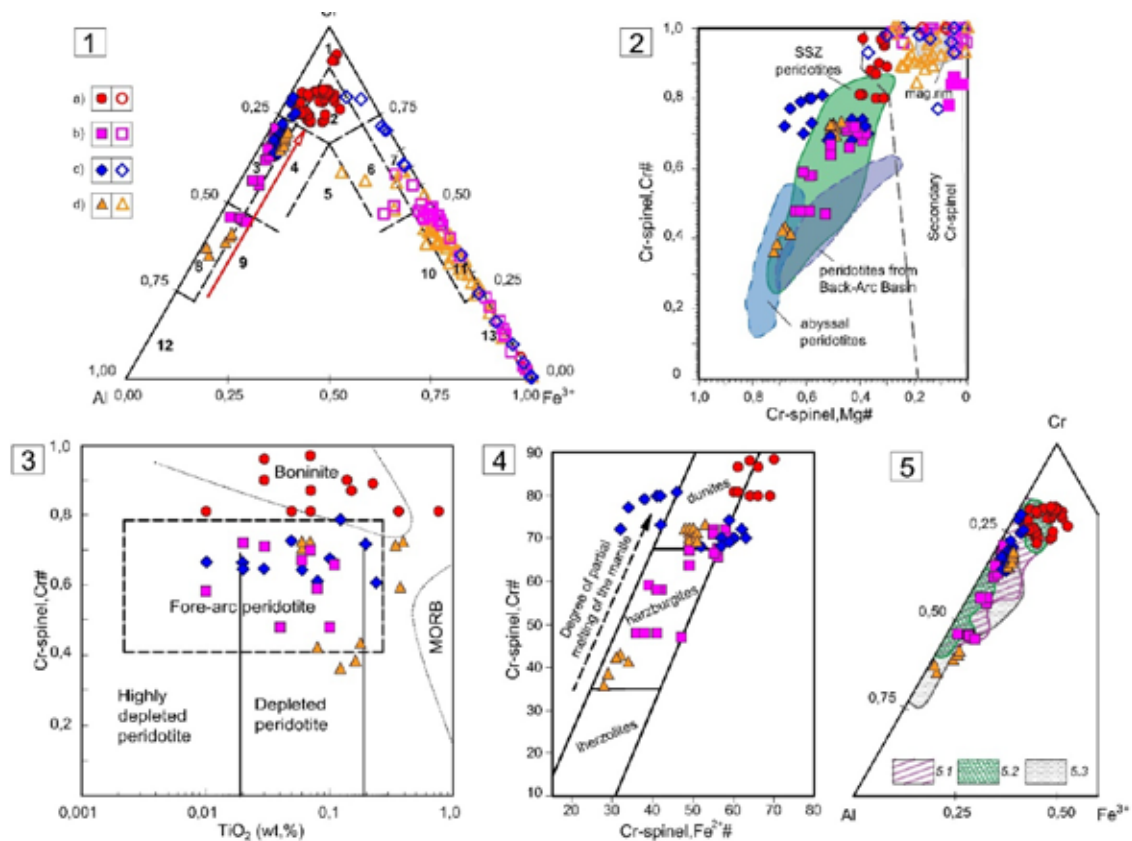


Рис. 2. Положение составов хромшпинелидов на диаграммах  
 Условные обозначения: 1) поля составов на классификационной диаграмме Al – Cr – Fe<sup>3+</sup>, в соответствии с номенклатурой, разработанной Н.В. Павловым: 1 – хромиты, 2 – субферрихромиты, 3 – алюмохромиты, 4 – субферриалюмохромиты, 5 – ферриалюмохромиты, 6 – субалюмоферрихромиты, 7 – феррихромиты, 8 – хромпикотиты, 9 – субферрихромпикотиты, 10 – субалюмохроммагнетиты, 11 – хроммагнетиты, 12 – пикотиты, 13 – магнетиты; стрелкой обозначен первичный тренд дифференциации в верхней мантии;  
 2) поля составов метаморфических хромшпинелидов (по [9]) абиссальных перидотитов, надсубдукционных зон и задуговых бассейнов на классификационной диаграмме Cr# – Mg#;  
 3) классификационная диаграмма Cr# – TiO<sub>2</sub> (по [10]);  
 4) классификационная диаграмма Cr# – Fe<sup>2+</sup># (на примере хромшпинелидов Урала [8]); 5) поля составов акцессорных хромшпинелидов из массивов Южного Урала (по [7]) на диаграмме Al – Cr – Fe<sup>3+</sup>: Центральный пояс: 5.1 – Калканский и Ишкинский массивы, 5.2 – Куликовский массив; Восточный пояс: 5.3 – Варшавский, Верблюжьегогорский, Татищевский, Успеняский, Наследницкий, Могутовский, Караяжный, Дружининский, Гогинский массивы. Составы хромшпинелидов: а) Даховский массив, б) Кишинский массив, в) Беденский массив, д) Нижнетебердинский массив; ядра – залитые значки, оторочки – незалитые

Рассматриваемый в работе Кишинский серпентинитовый массив, сложенный тектонизированными хризотил-антигоритовыми и антигоритовыми серпентинитами, залегает между сложенным метапородами (PR<sub>2</sub>?) Ацгаринском тектоническим покровом и Кизилкольским покровом (PZ<sub>2</sub>) в составе Пшекиш-Бамбакского поднятия, контролируемого Пшекиш-Тырныаузской шовной зоной, отделяющей тектоно-формационную зону Передового хребта от расположенной к югу зоны Главного хребта. Восточнее в составе Ацгаринского покрова известны пластины частично серпентинизированных гарцбургитов.

Состав ядер и их оторочек акцессорных хромшпинелей из кавказских серпентинитов укладывается в общий тренд эволюции составов, свойственный офиолитам (рис. 2.1), и отражает присутствие зерен с «магматическими» составами (рис. 2.2).

Ядра хромшпинелидов хромпикотитового состава (Cr# ~0,4, Mg# ~0,7) отмечены в серпентинитах Нижнетебердинского массива, где они обрамляются феррихромит-хроммагнетитовыми оторочками. Преобладают алюмохромитовые составы: в Нижнетебердинском массиве обычны однородные алюмохромитовые зерна с магнетитовыми каймами обрастания; в Беденском массиве – алюмохромитовые ядра с хромит-феррихромит-хроммагнетитовыми оторочками и магнетитовыми каймами; в Кишинском массиве – алюмохромитовые ядра (с редкими участками хромпикотитового состава) обрамляют широкие каймы феррихромит-хроммагнетитового состава. Для серпентинитов Даховского выступа характерны однородные субферрихромит-хромитовые зерна (Cr# ~0,8, Mg# ~0,4), обрамленные магнетитовыми оторочками.

Сопоставление южноуральских и кавказских серпентинитовых комплексов по одному из наиболее информативных маркеров – составу хромшпинелей – приводит к следующим заключениям. Составы кавказских хромшпинелей уверенно отличаются от присутствующих в лерцолитовых массивах Медногорско-Кракинского пояса отсутствием высокоглиноземистых разновидностей и указывают на связь с деплетированным мантийным гарцбургитовым, а не лерцолитовым, субстратом (рис. 2.3, 2.4). При этом их составы достаточно уверенно укладываются в поля, характерные для гарцбургитовых массивов Миасс-Куликовского пояса и сходных с ними массивов восточной

ветви Медногорско-Кракинского пояса (рис. 2.5) (или Центрального пояса [7]). Сходство прослеживается и в отношении характера серпентинизации: кавказские ультрабазиты нацело серпентинизированы с развитием лизардит-хризотиловых ассоциаций, сменяющихся антигоритовыми в зонах интенсивного рассланцевания и брекчирования.

### Заключение

Рассмотренные апогипербазиты Передового хребта Большого Кавказа по составу акцессорных хромшпинелей и серпентинитовых ассоциаций близки к гарцбургитовым массивам Миасс-Куликовского пояса и сходных с ними массивов восточной ветви Медногорско-Кракинского пояса, образованных за счет деплетированного верхнемантийного гарцбургитового субстрата. Сопоставляемые комплексы отвечают офиолитам супра- и надсубдукционных зон. Для апогипербазитов обоих регионов характерна латеральная смена существенно лизардитовых ассоциаций на существенно антигоритовые в массивах, проявляющих более высокую степень преобразования хромшпинелей (в соответствии с направленностью офиолитового тренда), что, видимо, связано с их положением в герцинском структурном плане – в ходе обдукции удаленные от осей палеосубдукции массивы претерпели меньшую тектоно-метаморфическую переработку в коровых условиях.

Обращает на себя внимание сходство акцессорных хромшпинелей из пород Даховского массива Большого Кавказа и части Куликовского массива Южного Урала (рис. 2.5), для которого (а также Кемпирсайского массива) характерна широкая вариация состава хромшпинелей (в отличие, например, от Кракинских массивов). С учетом соответствия их дунитовым составам (рис. 2.4) и высокой хромистости, связываемой с взаимодействием с расплавами (рис. 2.3), можно предполагать образование вмещающих их аподунитов за счет гарцбургитов в результате реакции последних с проникающими снизу расплавами (как это обосновывается в работе [8]).

### Список литературы

1. Геология и полезные ископаемые России. В 6 т. Т. 1. Запад России и Урал. Кн. 2. Урал / Ред. О.А. Кондияйн. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. 584 с.
2. Попов Ю.В., Жабин А.В., Пустовит О.Е. Минеральный состав серпентинитов тектонического меланжа Даховского кристаллического выступа (Большой Кавказ) // Геология и геофизика Юга России. 2019. Т. 9. № 4. С. 38–48. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44487.

3. Попов Ю.В., Пустовит О.Е., Никулин А.Ю. Минеральный состав серпентинитов Кишинского массива (Большой Кавказ) // Геология и геофизика Юга России. 2021. Т. 11. № 1. С. 38–51. DOI: 10.46698/VNC.2021.91.98.004.
4. Попов Ю.В., Пустовит О.Е., Терещенко В.А. Акцессорные хромшпинелиды серпентинитов тектонического меланжа Даховского поднятия (Большой Кавказ) // Геология и геофизика Юга России. 2020. Т. 10. № 2. С. 38–55. DOI: 10.46698/VNC.2020.21.55.003.
5. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
6. Савельев Д.Е., Сначев В.И., Рыкус М.В. Габбро-гипербазитовые массивы Тогузак-Аятского района (Южный Урал) // Нефтегазовое дело. 2010. Т. 8. № 1. С. 15–28.
7. Савельев Д.Е. Состав акцессорных хромшпинелидов из ультрабазитов Южного Урала как отражение геодинамической обстановки формирования массивов // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. № 1 (18). С. 17–25.
8. Чашухин И.С. О генетических типах дунитов в ультрамафитах складчатых областей (на примере Урала) // Известия Уральского государственного горного университета. 2019. Вып. 2 (54). С. 42–48. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-2-42-48.
9. Grieco G., Merlini A. Chromite alteration processes within Vourinos ophiolite. *International Journal of Earth Sciences*. 2012. Vol. 101 (6). P. 1523–1533.
10. Lasheen E.S.R., Saleh G.M., Khaleal F.M., Alwetashi M. Petrogenesis of Neoproterozoic Ultramafic Rocks, Wadi Ibib – Wadi Shani, South Eastern Desert, Egypt: Constraints from Whole Rock and Mineral Chemistry. *Appl. Sci*. 2021. Vol. 11. DOI: 10.3390/app112210524.

СТАТЬЯ

УДК 528.2:528.8

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАРИАЦИЙ  
 НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СЪЕМОЧНОЙ СИСТЕМЫ  
 (АЭРОФОТОСЪЕМКИ, ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА)  
 НА ТОЧНОСТЬ СОЗДАНИЯ ЦММ С ПОМОЩЬЮ  
 ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Алтынов А.Е., Мохаммад Акель Амин**

*Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва,  
 e-mail: alt010149@yandex.com, akelmohammad999@gmail.com*

Цифровые документы местности можно использовать в бесчисленном количестве областей нашей жизни, как в гражданской и экономической, так и в военной сферах. Тип документов и способ создания отличаются в зависимости области применения, требуемой точности и цели дальнейшего использования. Виды цифровых документов местности: цифровые модели местности (ЦММ), цифровые модели рельефа (ЦМР), цифровые топографические карты (ЦТК), ортофотопланы местности и т.д. Целью данного исследования является использование компьютерного моделирования для имитации аэросъемки посредством аэрофото-съемки и лазерного сканирования с помощью беспилотного летательного аппарата для повышения достоверности и точности создания ЦМР и выбора оптимальных вариантов выполнения задачи в соответствии не только с требуемой точностью, но и со всеми критериями и условиями, которые нужны, чтобы достичь параметров, дающих наилучшие результаты при оптимальных финансовых и временных затратах. Дан краткий обзор топографо-геодезических задач в зонах местности особого характера (таких как пустыни, леса, опасные и труднодоступные места), описаны способ моделирования имеющихся условий, расчетные назначения аэросъемки, особенности и трудности создания ЦМР с использованием цифровых камер, GPS, IMU, воздушного лазерного сканера, оснащенных БВС. При моделировании аэроснимков в 3D с помощью программного обеспечения есть возможность выбрать наиболее подходящие съемочные и навигационные параметры, оказывающие влияние на итоговый результат, что повышает точность цифровых моделей местности. Все это говорит о том, что выполняемая работа посвящена процессу моделирования во всех его деталях, от настройки параметров аэрофото-съемки до обработки данных и получения итоговых моделей, с учетом современных навигационных и геодезических требований.

**Ключевые слова:** цифровые модели рельефа ЦМР, цифровая модель местности ЦМР, беспилотное воздушное судно БВС, аэрофото-съемка, навигационные параметры, воздушный лазерный сканер ВЛС

**STUDY THE NAVIGATION PARAMETERS VARIATIONS INFLUENCE  
 OF IMAGE SYSTEM (AERIAL PHOTOGRAPHY, LASER SCANNER)  
 ON DSM CREATION ACCURACY USING SIMULATION MODELING**

**Altynov A.E., Akel Mohammad Amin**

*Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow,  
 e-mail: alt010149@yandex.com, akelmohammad999@gmail.com*

The current complexity of the cartographic and geodetic industry of the Republic of Syria is limited and does not allow solving high-technical problems of creating 2D and 3D maps for the terrain of large and super-large scales due to the actual hostilities and the partial occupation of large areas. However, in the needed geodetic works for Syria, it is only possible to create a topographic map for the strategic domain using some known methods as DTM, DSM, DEM, orthophoto maps. Furthermore, the aerial photo-topographic for creating a DTM using unmanned aerial systems (UAS) is the better way to solve the previous problems; especially, the finance charge is satisfactory for this method. The purpose of this study is to evaluate the methods for vision-based navigation of UAS to increase reliability and accuracy for creating a DTM model by aerial images. A brief review of the requirements for building DTM models, in some important areas of the Republic of Syria, are presented, and the advantages and shortcomings are investigated. In this research, to stabilize the optical payload, and cover higher resolution in the optimal parameters of the sensor calibration, we have tried to use the most appropriate equipment and professional methods, including UAS, Digital cameras, GPS and IMUs. Simulation of the aerial photography process using graphical three-dimensional modeling programs was proposed in order to create digital terrain models to select the most appropriate aerial photography and navigation parameters that affect the final accuracy and are most suitable for work in Syria. The next article will focus on the modeling process and study the effect of changing each parameter on the accuracy of creating a DTM.

**Keywords:** Digital elevation models DEM, Digital terrain model DTM, Unmanned aerial vehicles UAVs, aerial photography, navigation parameters, airborne laser scanner

Создание цифровых многомерных (2D, 3D и 4D) документов о местности крупных и сверхкрупных масштабов является одной из основных задач топогеодезического обеспечения территорий. Потребность в этих

документах возрастает в силу универсальности их применения – архитектура, градостроительство, ландшафтное проектирование, кадастр недвижимости, прикладной экологии и географии, ландшафтоведения

и т.д. Достаточно широк и круг методов, используемых для получения моделей местности с необходимой точностью и детальностью построения.

В настоящее время для решения подобных задач используются как наземные методы топогеодезической съемки, так и аэрофототопографические методы с применением приборов спутникового позиционирования. В частности, топогеодезическая наземная съемка с использованием спутниковых определений на основе метода RTK обеспечивает получение данных съемки с точностью до 0,1 м. Этот метод достаточно оперативен, но если необходима топографическая съемка больших территорий, то процесс будет достаточно трудоемким и длительным при реализации. Стоит также учитывать высокую стоимость оборудования и технологии в целом [1, 2].

При крупномасштабной съемке (от 1:2 000 и крупнее) существенно более эффективно и результативно применяется аэрофототопографический метод на базе использования БВС. Такой подход позволяет быстро получить ЦММ (ЦМР) с пространственным разрешением на поверхности порядка 0,05–0,2 м в зависимости от высоты фотографирования и класса съемочной аппаратуры. Чтобы получить удовлетворительные результаты при использовании аэрофототопографического метода с возможной его комбинацией с воздушным лазерным сканированием на борту БВС, необходимо использовать навигационные системы, оснащенные интегрированными системами спутниковой и инерциальной навигации четвертого поколения, позволяющие выполнять БВС в роботизированном режиме за пределами прямой видимости с пунктов управления. Ожидаемая точность получения плановых координат – 2–10 см, ожидаемая точность определения высоты – 10–15 см при съемке с высоты до 500 м.

Имитационное моделирование любого научного эксперимента экономит множество

усилий, времени и денег, и нет никаких сомнений в том, что оно дает хорошие, надежные результаты, на которые можно положиться в научной работе, и на их основе можно формулировать подход к получению адекватных параметров в реальных полевых экспериментах при условии выбора значений, соответствующих конкретным условиям съемки.

В данной работе авторами рассматривается комплекс вопросов подбора аппаратуры, планирования и выполнения аэрофотосъемки и (или) лазерно-локационной съемки с борта БВС, а также методов и средств обработки съемочных материалов с целью создания цифровых документов, описывающих местность, с заданными масштабом и точностью. При этом ключевым моментом в этих процедурах является их реализация в среде имитационного цифрового компьютерного 3D-моделирования с привлечением необходимого дополнительного инструментария в виде ГИС, ЦФС и т.д. Предлагаемый в работе подход позволяет перебрать (прокрутить) любое разумное количество вариантов решения поставленной задачи, не прибегая к натурным экспериментам. Это дает возможность сэкономить время и средства для получения оптимальных параметров аэросъемки с учетом изучения влияния таких параметров на качество, прежде всего – на точность конечной продукции – ЦММ, (ЦМР).

*Программное обеспечение  
 для имитационного моделирования*

В настоящее время программы 3D-моделирования реальности достигли такого уровня, что количество задач, решаемых ими, стало огромным. Сегодня в этом секторе рынка имеется очень широкий спектр программного обеспечения для 3D-моделирования, как бесплатных [3], так и коммерческих продуктов разной степени сложности и стоимости. Из значительного количества пакетов для 3D-моделирования можно выделить наиболее популярные и востребованные [4, 5], которые представлены в таблице 1.

**Таблица 1**

Программы трехмерного моделирования

Наименование	Цена (руб./год)	Уровень пользователя	Платформы
Autodesk 3ds Max	От 320 000	Профессионал	Windows
Houdini	От 600 000	Профессионал	Win, MacOS, Linux
Cinema 4D	От 110 000	Профессионал и любитель	Win, MacOS
ArchiCAD	От 240 000	Профессионал и любитель	Win, MacOS
Blender	Бесплатно	Профессионал и любитель	Win, MacOS, Linux



Среди отмеченных программных средств для трехмерного моделирования реальности среда 3D-моделирования Blender выделяется универсальностью применения и уникальными возможностями подключения программных средств для выполнения «внутренних» процедур выполнения необходимых процессов в цепочке моделируемой технологии и доступностью для широкого круга пользователей. Являясь профессиональным свободным и открытым программным обеспечением для создания трехмерных компьютерных моделей, в настоящее время ПО Blender пользуется большой популярностью среди бесплатных 3D-редакторов в связи с его быстрым стабильным развитием и хорошей технической поддержкой.

Так, ПО Blender позволяет спроектировать корректную схему залетов, учесть (изучить) влияние погрешностей фиксируемых координат центров проекций снимков на известные элементы внутреннего ориентирования камеры, включая дисторсию, на точность создаваемой по снимкам ЦММ. Таким способом можно подбирать оптимальные параметры (установки) съемки и выявлять геометрию расположения необходимого количества опорных точек в зависимости от сложности ситуации, что позволит получить ЦММ (ЦМР) высокой точности и качества.

У ПО Blender, как и других программных комплексов из таблицы 1, имеется схожий набор функций, необходимых для имитационного моделирования аэрофототопографических работ. Отметим некоторые функции, важные для моделирования аэрофотосъемки и воздушного лазерно-локационного сканирования:

- импорт трехмерной модели исходной (эталонной) местности для съемки или формирования ее встроенным инструментарием;
- имитация полета БВС в части его движения по заданным маршрутам с определенной высотой и скоростью согласно предварительным расчетам параметров аэрофотосъемки;
- наличие внутренней камеры, которая может отслеживать траектории движения;
- получение массива виртуальных снимков исходной местности с элементами внешнего и внутреннего ориентирования.

Очень важно, что можно моделировать различные условия полета воздушного судна с учетом влияния метеоусловий (ветра, запыленности, облачности) и вносить эти факторы как случайные и систематические погрешности (шум) в определение запланированных координат полета БВС,

погрешности внутреннего и внешнего ориентирования аэрофотоснимков, задавая закон распределения вносимых погрешностей. Моделирование аэрофотосъемки или воздушной лазерно-локационной съемки определенной местности ведется с использованием аэрофототопографического комплекса, включающего воздушное судно (БВС), цифровой аэрофотоаппарат (ЦАФА), воздушный лазерный сканер (ВЛС), спутниковую аппаратуру GPS (ГЛОНАС), инерциальную навигационную систему ИМУ и т.д.

Полученные данные виртуальной съемки далее обрабатываются подключаемым к среде Blender в процессе постобработки одним из фотограмметрических программных средств – Photomod, MetaShape и пр. Полученную вторичную модель местности можно как исследовать в среде Blender, так и экспортировать в различные 2D- и 3D-форматы для дальнейшей работы с моделью.

В работе нами по отмеченным выше причинам была использована среда имитационного моделирования Blender в текущей 3-й версии на платформе Windows 10 совместно с фотограмметрическим комплексом Agisoft Metashape [6–8].

#### *Подготовка исходных данных для имитационного моделирования съемки*

Проведение процедур имитационного моделирования топографической АФС местности предполагает выбор реалистичной модели территории с необходимыми морфологическими и тематическими (объектами на ней) характеристиками и метрической точностью ее описания. Последнее является ключевым, поскольку модель территории нами по замыслу эксперимента является эталоном, с которым мы будем сравнивать производные модели «этой местности», получаемые в процессе ее моделирования по результатам имитации различных вариантов аэрофототопографической съемки.

Для выбора первичной модели в ПО Blender предусмотрено подключение ГИС-инструментов, а также источников данных, которые можно использовать для загрузки исходной модели территории для съемки. В ПО Blender эта задача решается при помощи интернет-ресурса OpenStreetMap, OSM и ГИС. На рисунке 1 приведен интерфейс ПО Blender, в котором стрелками показаны загрузка ГИС инструментария с сайта <https://github.com/domlysz/blenderGIS> (1) и ресурса OSM с сайта <https://prochitecture.gumroad.com/1/blender-osm> (2), лазерный сканер (3), первичная (исходная) модель местности (4).



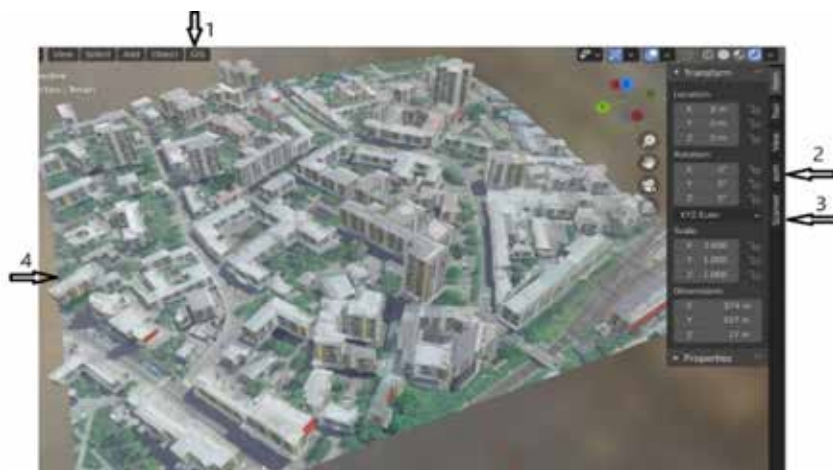


Рис. 1. Интерфейс выбора вспомогательного инструментария в ПО Blender

Таблица 2

Квадрокоптер с мобильной станцией  
 DJI Phantom 4 RTK + D-RTK 2 Mobile Station Combo

Взлетный вес	1391 г
Макс. высота полета	6000 м
Макс. время полета	до 30 мин
Съемочная камера	
Объектив	Угол обзора 84°: 8.8 мм / 24 мм (35-мм эквивалент), f/2.8-f11
Размер изображения	4864×3648 (4:3), 5472×3648 (3:2)
Подвес (аэрофотоустановка)	
Стабилизация	3-осевая (наклон, поворот, сгибание)
Контролируемый диапазон	Наклон: от -90° до +30°
Угловая точность управления	± 0,02°

Выбор системы лазерного сканирования указан на рисунке 1 ниже. Сканер подключается с сайта <https://github.com/ln-12/blainder-range-scanner> <https://github.com/ln-12/blainder-range-scanner>

В частности, нами для имитационного моделирования топографической съемки выбрана территория кампуса Московского университета геодезии и картографии (МИИГАиК) и Государственного университета землеустройства (ГУЗ), расположенных в исторической застройке бывшей Басманной слободы общей площадью порядка 5 га. Диапазон превышений на модели с учетом высоты зданий и сооружений равнялся 63 м. Аналогично подключению модели территории для экспериментальных съемок в интерфейсе ПО Blender предусмотрено подключение технических средств для проведения цифровой аэрофототопографической съемки.

Выбор воздушного судна в целом зависит от конкретной задачи, вида получаемых материалов, размеров, местоположения и типа местности объекта съемки, а также необходимой точности и плотности измерений и, конечно, от метеоусловий [9]. Нашим интересам отвечают малоразмерные БВС, способные нести полезную нагрузку до 2,5 кг. Предпочтение отдавалось моделям вертолетного типа (мультикоптерам) или самолетного типа – летающее крыло. В данном случае нами использован квадрокоптер бюджетного уровня DJI Phantom 4 RTK + D-RTK 2 Mobile Station Combo с пилотажно-навигационным оборудованием четвертого поколения и мобильной станцией для режима съемки RTK. Его основные параметры и основные данные фотосъемочных систем приведены ниже [10]. Для нас важно, что DJI Phantom 4 Pro может снимать до 4 кв. км за один полет (табл. 2).

Далее на основании особенностей участка, выбранного воздушного судна и съемочной аппаратуры, а также требований к точности создаваемой вторичной модели местности рассчитываются параметры съемки в идеальных метеоусловиях. Но среда моделирования ПО Blender примечательна тем, что для имитационного моделирования реальной съемки можно задавать широкий спектр изменений (вариаций) внешних условий съемки и наличие, расположение или отсутствие точек съемочного обоснования, их точность позиционирования, а также задавать текущие погрешности в основные параметры съемки, влияющие на точность построения конечной ЦММ. Причем можно вводить как систематические погрешности, так и случайные, закон распределения которых задается для каждого прогона экспериментального моделирования аэрофототопографической съемки.

#### *Моделирование процесса аэрофототопографической съемки*

На выбранной трехмерной модели можно добавлять эффекты, необходимые для решения требуемой задачи (освещение, направление и силу ветра, растительность, водные объекты, здания и т.д.). Также нужно рассчитать все параметры аэрофотосъемки (журнал расчета, параметры камеры, маршрут, перекрытие, интервал фотографирования, опорные точки, контрольные точки и т.д.) [11, 12].

Дальше можно добавить погрешности на любой параметр съемки, чтобы оценить факторы, влияние на результат конечного моделирования. На рисунке 2 показаны количество маршрутов БВС (6 маршрутов) рис.2 номер 3, на которых индицируются: точки разворота с одного маршрута на дру-

гой, координаты точек фотографирования (БВС), время фотографирования, элементы внешнего ориентирования снимков. Также в интерфейсе задаются характеристики объектива камеры и фотоматрицы.

В условиях имитационного моделирования аэрофотосъемки в «идеальном случае» все параметры указываются без внешних негативных воздействий на процесс и, соответственно, без введения погрешностей как результата этих воздействий. При имитации реальных условий съемки необходимо вводить случайные или систематические погрешности в расчетные параметры аэрофотосъемки, возникающие вследствие различных причин, таких как метеоусловия, погрешности в определении приборных показателей или нестабильные условия работы съемочного оборудования.

На рисунке 3 показан интерфейс программы введения случайных погрешностей в линейные («как случайный шум» с СКО =  $\pm 1$  м) элементы внешнего ориентирования –  $X_c$ ,  $Y_c$  и  $Z_c$ . Аналогично задаются погрешности в угловые элементы внешнего ориентирования снимка –  $\alpha$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$  ( $\pm 10^\circ$ ).

Калибровка съемочной камеры в ПО Blender доступна со всеми параметрами. Алгоритм калибровки в Blender аналогичен известным методам, связанным с фотографированием тест-объекта типа «шахматной доски» (рис. 4). С камеры производятся снимки шахматного изображения с разных положений, углов и расстояний. Полученные изображения обрабатываются в специализированной программе (например, Agisoft Metashape), где добавляются изображения, полученные в Blender, и выбирается опция «Сохранить параметры калибровки». Эти параметры будут использоваться до обработки данных аэрофотосъемки.



Рис. 2. Интерфейс задания параметров аэрофотосъемки. 1) фокусное расстояние ЦАФА; 2) размер матрицы; 3) маршруты и точки фотографирования; 4) размер изображения



Рис. 3. Установки параметров съемки и добавление случайных погрешностей «шума» в линейные и угловые величины элементов внешнего ориентирования

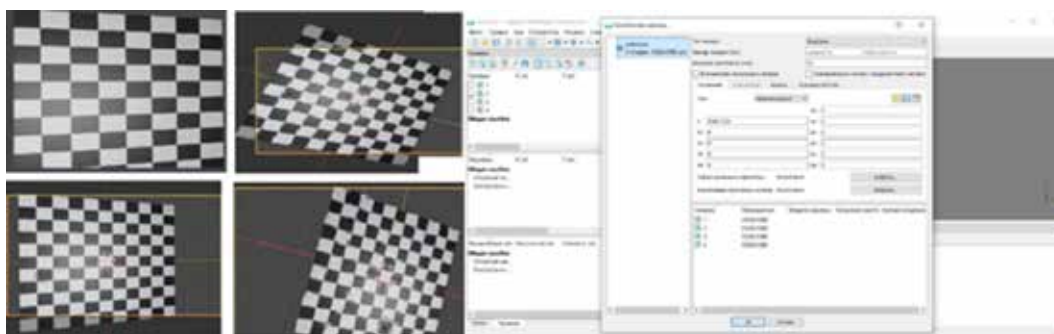


Рис. 4. Шахматное изображение и интерфейс «Добавление параметров калибровки камеры через Agisoft Metashape»

В таблице 3 представлены результаты имитационного моделирования «аэрофототопографической съемки» с данными о внесенных случайных отклонениях в координаты центров проекции для четырех вариантов взаимных перекрытий снимков

и маршрутов при аэрофотографировании эталонной модели с высоты 260 м, что обеспечивало проекцию пикселя снимка на поверхности этой модели порядка 7 см. Обработка данных моделирования съемки осуществлялась в среде Agisoft MetaShape.

Таблица 3

Результаты имитационного моделирования «аэрофототопографической съемки»

Вариант съемки	1	2	3	4
Перекрытие снимков – $P_x / P_y, \%$	70/45	80/60	90/70	90/90
Количество маршрутов	5	5	7	10
Общее количество снимков	85	141	316	451
Время обработки в Metashape (час: минут: секунд)	0: 14: 05	0: 23: 13	0: 57: 24	1: 55: 26
СКО вносимых отклонений в плановые координаты точек фотографирования ( $\delta X_{\phi}, \delta Y_{\phi}$ ), метр	$\pm 5 (15)^*$	$\pm 5 (15)$	$\pm 5 (15)$	$\pm 5 (15)$
СКО вносимых отклонений по высоте точек фотографирования ( $\delta Z_{\phi}$ ), метр	$\pm 5 (30)^*$	$\pm 5 (30)$	$\pm 5 (30)$	$\pm 5 (30)$
СКО угловых элементов внешнего ориентирования – $\alpha, \beta, K$ , град.	$\pm 3 (10)$	$\pm 3 (10)$	$\pm 3 (10)$	$\pm 3 (10)$
СКО на контрольных точках (в плане/высоте), метр	0,24/0,18	0,22/0,19	0,23/0,18	0, 21/0,16

Примечание: в скобках приведено максимальное значение.

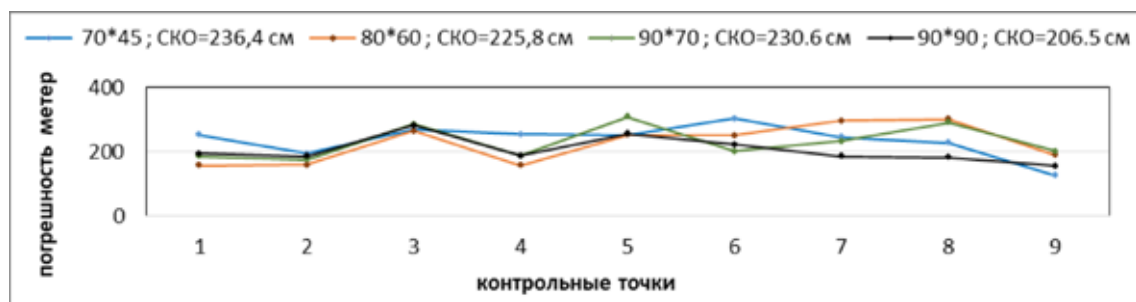


Рис. 5. Влияние изменений перекрытий на точность метрики конечной модели

График, приведенный ниже (рис. 5), показывает распределение ошибок в плановых координатах конечной модели по 9 контрольным точкам для всех вариантов съемочных параметров.

Из данных таблицы и графика следует, что с увеличением перекрытия снимков точность создания конечной модели увеличивается незначительно, что может быть объяснено тем, что при больших введенных колебаниях значений внешнего ориентирования снимков уменьшалась вероятность пропуска перекрытий в целом. Но при этом резко возрастает количество снимков и, как следствие, увеличивается время их фотограмметрической обработки.

Более подробное рассмотрение результатов имитационного моделирования аэрофототопографической съемки с борта квадрокоптера DJI Phantom 4 Pro нами изложено в работе [13]. Далее мы остановимся на имитационном моделировании процесса съемки местности лазерно-локационными средствами, а также на результатах имитационного моделирования при комбинировании аэрофотосъемки с лазерным сканированием.

#### *Моделирование процесса создания ЦММ по данным лазерного сканирования*

Исходными данными для имитации лазерно-локационной съемки является та же территория, которая служила базой для моделирования аэрофототопографической съемки.

Аналогичным образом был привлечен для моделирования лазерный сканер, приспособленный для использования на платформах малогабаритных БВС. Используются параметры российского лазерного сканера АГМ-МС1 от компании «АГМ Системы». Сканер отличается малым весом, что позволяет в зависимости от задач уста-

навливать его на различные летательные аппараты, в том числе БВС любого типа. Основные характеристики представлены в таблице 4 [14].

Таблица 4

#### Характеристики воздушного лазерного сканера АГМ-МС1

Частота сканирования	600 кГц
Максимальная дальность	200 м
Угол поля зрения	360 град
Скорость вращения сканирующего зеркала	20 об/сек
Точность определения дальности	3 см
Точность определения координат	3–5 см
Размеры сенсорного блока	120x116x112 мм
Вес сенсорного блока	1,2 кг
Источник питания	9–18 V, 1,3 A
Температура использования	–10...+50°C

#### *Визуализация и экспорт данных*

Результатом имитационного моделирования аэросъемки и лазерно-локационной съемки является облако точек. Для обработки и визуализации в других программах требуется экспорт в виде сохраняемого файла. Облако точек состоит из записей данных для каждой точки, каждая из которых содержит следующую информацию: положение точки в пространстве (координаты X, Y и Z), семантическую метку, интенсивность измерения точки, спектральную яркость точки, расстояние между датчиком и поверхностью объекта.

Данные ВЛС в ПО Blender можно экспортировать другими программными средствами посредством файлов в формате – \*.ls, \*.hdf, \*.csv.



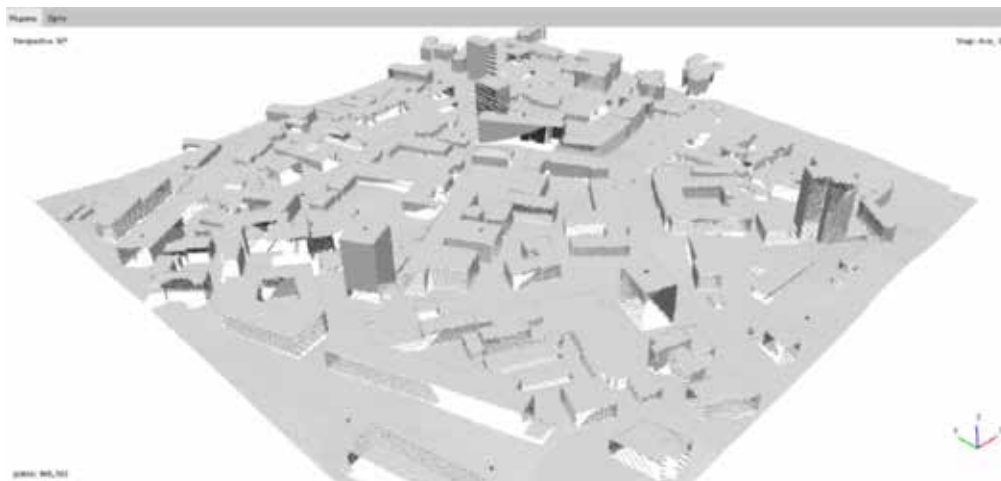


Рис. 6. Облако ТЛО, полученных при моделировании лазерно-локационной съемки кампуса МИИГАиК

На рисунке 6 показан результат имитационного моделирования процесса лазерного сканирования той же области с помощью симулятора лазерного сканера типа АМГ-СМ1, который представляет собой облако точек (кампус МИИГАиК), экспортированное с инструментарием программы Blender в специализированное ПО «CloudCompare» для обработки и визуализации.

В результате моделирования процесса сканирования с высоты, как и при аэрофотосъемке (185 м), было получено облако ТЛО в количестве 9 513 469 точек, среднее расстояние между которыми равно 20 см, то есть порядка 25 точек на 1 кв. м. Оценку точности полученной модели производили по разности двойных измерений расстояний по горизонтали и по высоте между характерными точками на первичной (эталонной) модели и теми же точками на модели,

полученной по данным лазерно-локационной съемки.

Оценка точности измерений по способу разности двойных измерений [15]:

$$\Delta d_i = dL_i - dS_i,$$

где  $dL_i$  – измерения расстояний в модели, полученной лазерным сканером;

$dS_i$  – измерения расстояний в модели, полученной аэрофотосъемкой.

Для оценки точности используется формула Гаусса, средняя квадратическая ошибка рассчитывается как:

$$m_d = \sqrt{\frac{\Delta d^2}{n}},$$

где  $n$  – число двойных разностей.

На рисунке (7) представлены разности в измерениях горизонтальных ( $d_i$ ) и вертикальных ( $h_i$ ) дальностей (лазерным сканером и аэрофотосъемкой).

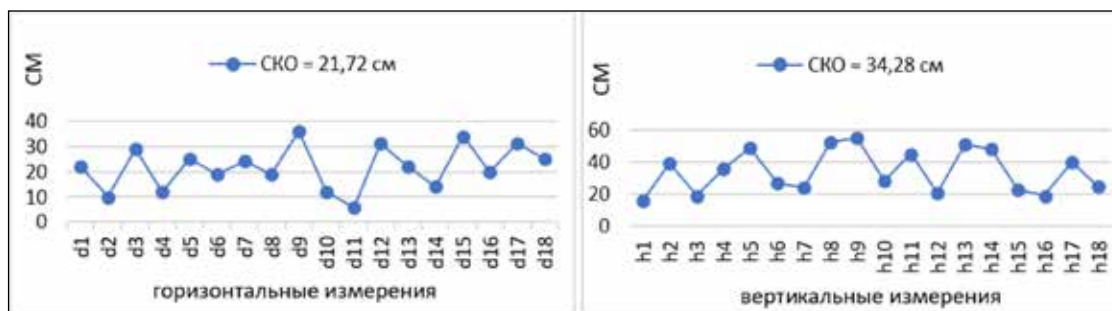


Рис. 7. Разности измерений горизонтальных и вертикальных линий для ЛС и АФС

*Схема технологии имитационного моделирования воздушных съемок*

Для выбора оптимальных аэросъемочных параметров нами проведены эксперименты в рамках имитационного моделирования, в ходе которых фиксировались практически все текущие навигационные и съемочные параметры, а отклонения, возникающие при изменении параметров во время полета, будут учитываться в процессе обработки. На рисунке 8 представлена схема, которая позволяет выявить и учесть влияние изменений каждого навигационного и съемочного параметра на конечную точность и производительность создания ЦММ.

При моделировании аэросъемки значения съемочных навигационных параметров будут изменяться оператором во время моделирования. В реальности точность будет зависеть от типа и состава используемого оборудования, а также от условий съемки и характера местности.

К изменяемым параметрам, которые влияют на точность итоговой модели, относятся:

- координаты центров проекций съемочного прибора ( $X, Y, Z$ );
- высота съемки ( $H_{\phi}$ );
- угловые элементы внешнего ориентирования съемочного прибора ( $\alpha, \omega, \kappa$ );
- фокусное расстояние камеры ( $f$ );

– погодные условия, которые влияют на скорость и устойчивость воздушного средства, а также на искажения лазерного луча и изображения камеры;

– точность ГНСС оборудования на борту БВС, в том числе при использовании дифференциальной системы позиционирования (DGPS) в режиме (RTK);

– количество опорных точек (ОТ), контрольных точек (КТ), их расположение и т.д.

При моделировании процесса аэросъемки точность навигационных параметров изменяется во время эмулирования. В реальности отклонение зависит от типа и состава используемых инструментов, а также от условий съемки, характера застройки и рельефа местности.

Формально каждый имитационный эксперимент удобно описать «статусом состояния»  $\bar{F} = [G, R, I, A, P, OP, H]$ , в котором его составляющие отражают условия моделирования процесса создания ЦММ, как это представлено в таблице 4. Варианты значений или отсутствие одного или нескольких из этих составляющих при записи полетных данных для дальнейшей обработки представлены ниже.

Можно еще добавить некоторые параметры, которые влияют на итоговый результат.

Очевидно, что лучший результат получается, когда все компоненты вектора  $\bar{F}$  равны единице:  $\bar{F} = [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]$ .

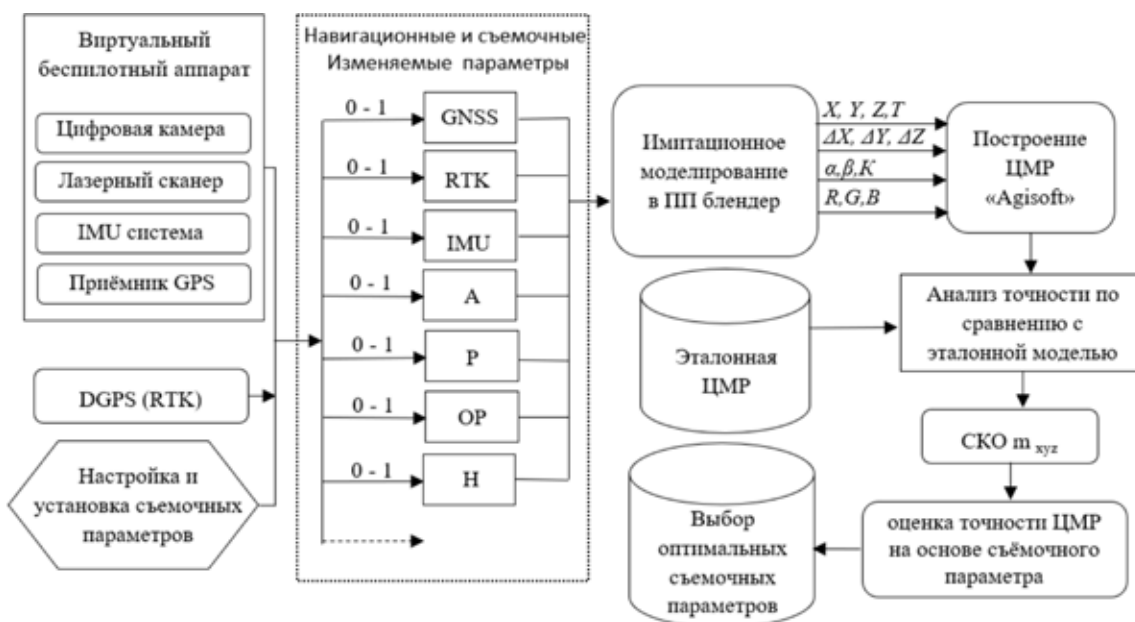


Рис. 8. Общая схема экспериментальных модельных съемок

Таблица 4

Параметры, влияющие на точность создания ЦММ

	GNSS ( $G$ )	RTK ( $R$ )	IMU ( $I$ )	Углы ( $A$ )	Оп. Конт. точки ( $OT$ ) ( $KT$ )	Высота ( $H$ )	GSD ( $P$ )
Да	1	1	1	1	1	1	1
Нет	0	0	0	0	0	0	0

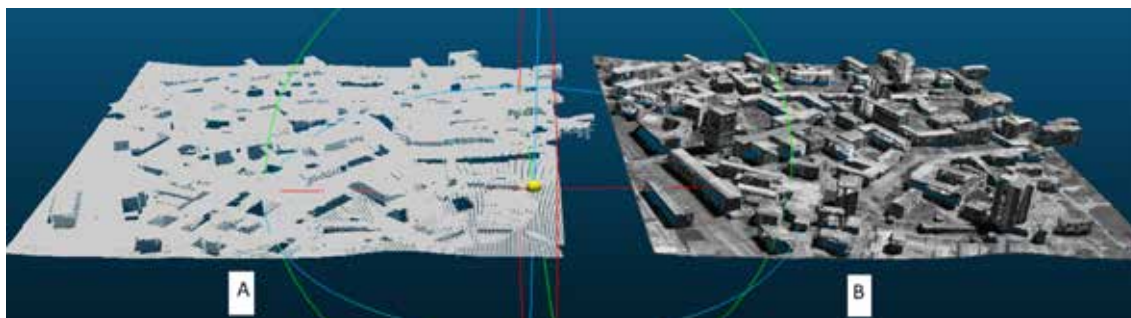


Рис. 9. Облака точек, сделанных с помощью: А) лазерного сканера, В) аэрофотосъемки

Это значит, что сигнал GPS устойчивый и включен режим РТК, инерциальная система (IMU) работает стабильно, угловые элементы внешнего ориентирования точные ( $A$ ), съемка проводится на заданной высоте ( $H$ ) относительно снимаемой поверхности ( $p$ ), количество опорных и контрольных точек (ОП) достаточно. В таком случае ошибки построения конечной модели будут сведены к минимуму.

Если один или несколько составляющих вектора  $\bar{F}$  будут равны нулю, это означает, что некоторые данные, необходимые для обработки, не будут использованы, что повлечет за собой снижение точности конечного продукта.

В условиях полевых съемочных экспериментальных работ варианты комбинаций, настраиваемые съемочные параметры могут оказаться бесконечными, а это потребовало бы много времени и значительных затрат на проведение лётно-съемочных работ. Именно по этой причине предлагается реализация имитационного моделирования процесса съемки в программной среде Blender 3.0 с возможностью получить как модели снимков или облака ТЛЮ, так и результат их обработки – трехмерную модель местности. Оператор при эмулировании аэросъемки в компьютерной среде имеет возможность регулировать и устанавливать изменение навигационных параметров для каждого варианта съемки в пределах одной и той же территории в соответствии с тем

фактором, влияние которого на точность построения ЦММ необходимо изучить.

Приведем пример – две модели облаков точек одного участка на рисунке 9.

Первая модель выполнена на основе аэрофотосъемки с вектором состояния  $\bar{F}_1$ , а вторая – на основе лазерного сканера с вектором состояния  $\bar{F}_2$ ;  $\bar{F}_1 = \bar{F}_2 = [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]$ .

Таким образом, оператор при эмулировании аэросъемки в компьютерной среде имеет возможность регулировать и устанавливать изменение набора навигационных параметров для каждого варианта съемки в пределах одной и той же территории в соответствии с теми факторами, влияние которых на точность построения ЦММ необходимо оценить.

### Выводы

На основании проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы.

Основной вывод исследования заключается в том, что имитационное моделирование аэрофототопографических работ в программных средствах типа Blender-3 дает корректные, предсказуемые (ожидаемые) результаты и позволяет профессионально ставить экспериментальные работы по аэрофотосъемке местности, заменяя натурные сложные эксперименты, экономя время, затраты на оборудование и накладные расходы, как правило, сопровождающие реальные полевые аэрофотосъемочные работы.

Результаты моделирования дают возможность сделать вывод, что различные программные средства для фотограмметрической обработки данных съемки создают весьма близкие по точности цифровые модели местности и могут влиять только на общую производительность аэрофототопографических работ в целом.

Предлагаемая методика имитационного моделирования может быть рекомендована как средство обучения на курсах, связанных с технологиями летно-съемочных работ для целей картографирования территорий в крупных масштабах.

### Список литературы

1. Ключин Е.Б., Киселев М.И., Михелев Д.Ш., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия / Под ред. Д. Ш. Михелева. 9-е изд. М., 2008. 480 с.
2. Анопин С.В. Топографические съемки, инженерно-геодезические изыскания и построения Волгоград: ВолгГТУ, 2018. 41 с.
3. Топ-10 бесплатных программ для 3D-моделирования 2018 года [Электронный ресурс]. URL: <https://3d-expo.ru/ru/article/top-10-besplatnih-programm-dlya-3d-modelirovaniya-2018-goda-92892> (дата обращения: 15.05.2022).
4. Зенг В.А. Обзор и сравнение программ 3D-моделирования // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. XXVII междунар. студ. науч.-практ. конф. 2014. № 12(26).
5. STAFF С.В. The best 3D modelling software. [Электронный ресурс]. URL: <https://c4ddownload.com/the-best-3d-modelling-software-2019/> (дата обращения: 15.05.2022).
6. Reitmann, S., L. Neumann, and B. Jung, BLINDER – A Blender AI Add-On for Generation of Semantically Labeled Depth-Sensing Data. *Sensors*. 2021. V. 21. P. 2144.
7. Rusli N. The Accuracy Assessment of Agisoft PhotoScan and Pix4D Mapper Software in Orthophoto Production. Conference: The 1st Proceeding of Geomatic Research Innovation & Competition. 2018. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.researchgate.net/publication/327200660\\_The\\_Accuracy\\_Assessment\\_of\\_Agisoft\\_PhotoScan\\_and\\_Pix4D\\_Mapper\\_Software\\_in\\_Orthophoto\\_Production](https://www.researchgate.net/publication/327200660_The_Accuracy_Assessment_of_Agisoft_PhotoScan_and_Pix4D_Mapper_Software_in_Orthophoto_Production) (дата обращения: 15.05.2022).
8. Моделирование реальности теперь доступно для всех // CADmaster. 2016. №1(83). С. 80-83.
9. Гутьеррес Г., Гонсалвес А. Обследование прибрежных скал с использованием двух платформ БВС (многооторного и с неподвижным крылом) и трех различных подходов для оценки объемных изменений // Международный журнал дистанционного зондирования. 2020. № 41. С. 8143–8175.
10. Phantom 4 Pro V2.0 технические Характеристики – DJI [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dji.com/ru/phantom-4-pro-v2/specs> (дата обращения: 15.05.2022).
11. Савиных В., Кучко А., Стеценко А. Аэрокосмическая фотосъемка. М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 1997.
12. ОДМ 218.9.017-2019 Методические рекомендации по производству аэрофототопографических работ с использованием беспилотных летательных аппаратов при изысканиях в целях строительства и реконструкции автомобильных дорог. 2019.
13. Мохаммад Акель. Создание крупномасштабных цифровых моделей местности и рельефа в условиях Сирийской Арабской Республики // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2022. Т. 66. № 1. С. 673-679. DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-1-673-679.
14. Воздушный лазерный сканер для БПЛА. Технические характеристики. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agmsys.ru/mscan/ms1> (дата обращения: 15.05.2022).
15. Русяева Е.А. Теория математической обработки геодезических измерений: учебное пособие Часть I. Теория ошибок измерений. М.: МИИГАиК, 2016. 56 с.