

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,736

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,258

Журнал издается с 2001 г.

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

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

Подписной индекс по каталогу «Роспечать» – 70878

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

Чернева Ирина Николаевна, к.с.-х.н.

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

Свидетельство – **ПИ № ФС 77-63398.**

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатен.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,736.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,258.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

Учредитель, издательство и редакция:
ИД «Академия Естествознания»

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

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

Ответственный секретарь редакции –
Бизенкова Мария Николаевна –
+7 (499) 705-72-30
E-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать – 27.09.2019

Дата выхода номера – 27.10.2019

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО «Научно-издательский центр

Академия Естествознания»,

г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка

Байгузова Л.М.

Корректор

Галенкина Е.С.

Способ печати – оперативный.

Распространение по свободной цене.

Усл. п.л. 14

Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/9-2019

Подписной индекс 70878

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

СТАТЬИ

НОВЫЙ ПОДХОД К ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ В ЗОНАХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Гниненко Ю.И., Калнин В.В., Кучук В.А., Марадудин И.И.,
Мартынюк А.А., Радин А.И., Раздайков А.Н. 7

ПОСЛЕДСТВИЯ ГРУППОВО-ВЫБОРОЧНЫХ РУБОК В СОСНЯКАХ ЛЕНТОЧНЫХ БОРОВ АЛТАЯ

Башегуров К.А., Залесова Е.С., Толстиков А.Ю., Усов М.В. 13

ВЛИЯНИЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ХВОЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗАЦИИ

Колтунов Е.В. 19

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ СТЕРИЛИЗАЦИИ ЭКСПЛАНТОВ КАРТОФЕЛЯ ПРИ МИКРОКЛОНАЛЬНОМ РАЗМНОЖЕНИИ

Лебедь М.Б., Берестнева Ю.В., Волков И.В., Бикметова К.Р., Лебедь Н.И. 26

ЭКОЛОГО-ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СУБТРОПИЧЕСКИХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ИСКУССТВЕННЫХ СУХОСТЕПНЫХ НАСАЖДЕНИЙ МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Свинцов И.П., Хужахметова А.Ш., Семенютина В.А., Семенютина А.В. 31

Науки о Земле (25.00.00)

СТАТЬИ

МЕТОДИКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ КОНСОЛИДАЦИИ

Агейкина О.В., Воронцов В.В., Суфьянов Р.Р. 36

ДИНАМИКА ЛЕДНИКОВ И ПРИЛЕДНИКОВЫХ ОЗЕР БАССЕЙНА РЕКИ АЛА-АРЧА

Алейникова А.М., Анацкая Е.Е. 42

ОБОБЩЁННАЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ИНЖИНИРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ ОТВАЛОВ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫХ РУД

Бобков В.И., Дли М.И., Панченко С.В. 48

ОЧИСТКА НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ЗАКАЧКИ В ПЛАСТ

Короткова Т.Г., Ксандопуло С.Ю., Заколюкина А.М., Самофал Д.Ю. 53

ВЛИЯНИЕ КООРДИНАТ БЕРЕЗ У АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ ВЕГЕТАЦИИ И МАКСИМАЛЬНУЮ ШИРИНУ УЧЕТНЫХ ЛИСТЬЕВ

Мазуркин П.М., Кудряшова А.И. 58

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТЬЕВЫХ ЗОН ПРИТОКОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ГОЛОУСТНАЯ)

Макаров С.А., Белозерцева И.А., Власова Н.В.,
Воробьева И.Б., Гагарина О.В., Опекунова М.Ю. 65

ЭКОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА
ИНДУСТРИАЛЬНОГО ГОРОДА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Напрасникова Е.В., Сороковой А.А., Емельянова Н.В. 73

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ БАСЕЙНА РЕКИ ЯНЫ

Николаева Н.А. 79

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В ЗАВОЛЖСКО-УРАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ
В АСПЕКТЕ УСТОЙЧИВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Павлейчик В.М., Сивохин Ж.Т. 85

ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ГОРОДА УССУРИЙСКА
С ПОМОЩЬЮ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)

Родникова И.М., Недоросткова И.Г., Киселёва А.Г. 92

ХАРАКТЕР ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПАЛОВ И РОЛЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
В СОХРАНЕНИИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Рябцов С.Н. 98

ОБЗОРЫ

ФОТОТУРИЗМ: ИСТОРИЯ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Волкова Т.А. 103

CONTENTS

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

ARTICLES

NEW APPROACH TO FOREST-PATHOLOGICAL RESEARCH IN ZONES OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

Gninenko Yu.I., Kalnin V.V., Kuchuk V.A., Maradudin I.I., Martynyuk A.A., Radin A.I., Razdayvodin A.N. 7

CONSEQUENCE OF GROUP-SELECTIVE FELLING IN STRIPE PINE FORESTS OF ALTAY

Bashegurov K.A., Zalesova E.S., Tolstikov A.Yu., Usov M.V. 13

EFFECT OF AEROTECHNOGENIC POLLUTION UPON COMPOSITION AND CONTENT OF PHENOLIC COMPOUNDS IN THE NEEDLE OF *PINUS SYLVESTRIS* L. IN TERMS OF URBANIZATION

Koltunov E.V. 19

STUDY OF VARIOUS METHODS EFFICIENCY FOR STERILIZING POTATO EXPLANTS AT MICROCLONAL REPRODUCTION

Lebed M.B., Berestneva Yu.V., Volkov I.V., Bikmetova K.R., Lebed N.I. 26

ECOLOGICAL AND ECONOMIC POTENTIAL OF SUBTROPICAL PLANTS FOR ARTIFICIAL STEPPE OF MULTIPURPOSE PLANTATIONS

Svintsov I.P., Khuzhakhmetova A.Sh., Semenyutina V.A., Semenyutina A.V. 31

Earth sciences (25.00.00)

ARTICLES

STATISTICAL PROCESSING TECHNIQUE AND INTERPRETATION OF THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF FILTRATION CONSOLIDATION

Ageykina O.V., Vorontsov V.V., Sufyanov R.R. 36

DYNAMICS OF GLACIERS AND GLACIAL LAKES OF THE ALA-ARCH RIVER BASIN

Aleynikova A.M., Anatskaya E.E. 42

THE GENERALIZED STRUCTURALLY FUNCTIONAL MODEL OF ENGINEERING AND MANAGEMENT OF ECOLOGICALLY SAFE PROCESSING OF DUMPS APATITE NEPHELINE ORE MINING AND PROCESSING WORKS

Bobkov V.I., Dli M.I., Panchenko S.V. 48

OILFIELD WASTEWATER TREATMENT FOR INJECTION INTO THE RESERVOIR

Korotkova T.G., Ksandopulo S.Yu., Zakolyukina A.M., Samofal D.Yu. 53

EFFECT OF COORDINATE BIRCH AT AVTOMOBILE ROADS ON THE AVERAGE TIME OF VEGETATION AND MAXIMUM WIDTH OF ACCOUNTING LEAVES

Mazurkin P.M., Kudryashova A.I. 58

RESEARCH OF ESTUARIAL ZONES OF INFLOWS OF THE LAKE BAIKAL (ON THE EXAMPLE OF THE RIVER GOLOUSTNAYA)

Makarov S.A., Belozertseva I.A., Vlasova N.V., Vorobeva I.B., Gagarinova O.V., Opekunova M.Yu. 65

ECOLOGO-BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOIL COVER OF AN INDUSTRIAL CITY IN EASTERN SIBERIA

Naprasnikova E.V., Sorokovoy A.A., Emelyanova N.V. 73

 ASSESSMENT OF THE SUSTAINABILITY OF THE JANA BASIN LANDSCAPES

Nikolaeva N.A.79

 CLIMATE CHANGE TRENDS IN THE ZAVOLZHSKO-URAL REGION
 IN THE ASPECT OF SUSTAINABLE USE OF WATER RESOURCES

Pavleychik V.M., Sivokhip Zh.T.85

 INDICATION OF AIR QUALITY IN THE CITY OF USSURIYSK
 USING EPYPHITIC LICHENS

Rodnikova I.M., Nedorostkova I.G., Kiseleva A.G.92

 THE NATURE OF THE OCCURRENCE OF FOREST BURNING AND THE ROLE
 OF CLIMATE CONDITIONS IN THE PRESERVATION OF FOREST ECOSYSTEMS

Ryabtsov S.N.98

REVIEWS

PHOTOTOURISM: HISTORY AND DEVELOPMENT TRENDS

Volkova T.A.103

СТАТЬИ

УДК 630.181:630.4:551.52:631.438:574.2

**НОВЫЙ ПОДХОД К ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ
В ЗОНАХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

**¹Гниненко Ю.И., ¹Калнин В.В., ²Кучук В.А., ¹Марадудин И.И., ¹Мартынюк А.А.,
¹Радин А.И., ¹Раздайводин А.Н.**

¹ФБУ «Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства», Пушкино,
e-mail: info@roslesrad.ru;

²Филиал ФБУ «Российский центр защиты леса», «Центр защиты леса Калужской области»,
Брянск, e-mail: kychykva@rcfh.ru

В статье рассматривается новый подход к изучению влияния радиоактивного загрязнения на развитие очагов вредных организмов в лесных экосистемах. Дается краткий обзор материалов по исследованиям санитарного состояния загрязненных лесов и воздействия ионизирующих излучений на вредные организмы. Предлагается использование методологического подхода оценки влияния радиоактивного загрязнения на возникновение и развитие очагов вредителей и болезней леса на основе статистического анализа больших выборок с использованием многолетних данных лесопатологических и радиационных обследований. Показано наличие влияния радиационного фактора на возникновение очагов вредных организмов. Установлено, что связь радиоактивного загрязнения с возникновением и развитием очагов может носить нелинейный и разнонаправленный характер в зависимости от вида патогена и уровней радиоактивного загрязнения. Приведены примеры влияния радиоактивного загрязнения цезием-137 чернобыльского происхождения на формирование очагов смоляного рака сосны (*Peridermium pini* (Willd.) Kleb.), корневой губки (*Heterobasidion annosum* Fr.), рыжего соснового пилильщика (*Neodiprion sertifer* Geoffr.). Выдвинуто предположение, что радиационный фактор оказывает значимое влияние на формирование очагов вредных организмов и реализуется через комплексное воздействие, включающее прямое влияние ионизирующего излучения на организм и популяцию патогена; косвенное влияние через воздействие излучения на другие виды лесных экосистем и их связи; влияние через изменения режима хозяйственной деятельности, связанные с условиями радиоактивного загрязнения. Предложено выделить подобные исследования в новое направление радиационной экологии леса – радиационную лесопатологию.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение лесов, радиоэкология, радиационная лесопатология, защита леса, лесозащитные мероприятия, лесопатологический мониторинг, радиационный мониторинг лесов

**NEW APPROACH TO FOREST-PATHOLOGICAL RESEARCH IN ZONES
OF RADIOACTIVE CONTAMINATION**

**¹Gninenko Yu.I., ¹Kalnina V.V., ²Kuchuk V.A., ¹Maradudin I.I., ¹Martynuk A.A.,
¹Radin A.I., ¹Razdayvodin A.N.**

¹Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry,
Pushkino, e-mail: info@roslesrad.ru;

²Branch office FBI «Russian Centre of Forest Health», «Kaluga Centre of Forest Health»,
Bryansk, e-mail: kychykva@rcfh.ru

The article considers a new approach to studying the effect of radioactive contamination upon development of source of harmful organisms in forest ecosystems. A brief review of materials on the research of the sanitary state of contaminated forests and the effects of ionizing radiation on pests is presented. It is proposed that methodological approach is used to assess the impact of radioactive contamination on the occurrence and development of sources of pests and forest diseases based upon statistical analysis of large massives of samples using long-term data of forest pathological and radiation surveys. The influence of radiation factor formation of sources of harmful organisms is shown. It has been established that the association of radioactive contamination with the occurrence and development of these sources may be non-linear and multidirectional, depending on the type of pathogen and levels of radioactive contamination. Examples of the effect of radioactive contamination with cesium-137 of Chernobyl origin on the formation of sources of resin pine cancer (*Peridermium pini* (Willd.) Kleb.), pine fungus (*Heterobasidion annosum* Fr.), red pine sawfly (*Neodiprion sertifer* Geoffr.) are given. It is suggested that the radiation factor has a significant effect on the formation of sources of harmful organisms and is realized through a complex effect, including the direct influence of ionizing radiation upon organisms and pathogen population; indirect influence through the effect of radiation on other types of forest ecosystems and their relationships; influence through changes in the mode of economic activity associated with the conditions of radioactive contamination. It was proposed to highlight such studies in the new direction of forest radiation ecology - radiation forest pathology.

Keywords: radioactive contamination of forests, radioecology, radiation forest pathology, forest protection, forest protection measures, forest pathological monitoring, radiation monitoring of forest

Использование атомной энергии, как в военных, так и в мирных целях, привело к загрязнению окружающей среды радио-

нуклидами искусственного происхождения. Основными источниками поступления радионуклидов в экосистемы послужили

ядерные испытания и радиационные инциденты 3–7 уровней по шкале событий МАГАТЭ [1], связанные с выходом загрязнения за пределы полигонов и промышленных площадок. Наиболее крупными из них являются: взрыв в хранилище высокоактивных жидких радиоактивных отходов на ПО Маяк в 1957 г, аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. и АЭС Фукусима в 2011 г.

Большинство этих аварий носили характер «сельских» [2]. Они привели к значительным загрязнениям агроценозов и лесных экосистем. По состоянию на 2019 г. к зонам радиоактивного загрязнения на территории России отнесено около 1 млн га земель лесного фонда. Основной вклад в загрязнение лесов в настоящее время вносят техногенные изотопы цезий-137 и стронций-90.

В период до чернобыльской аварии проводились лабораторные исследования по воздействию ионизирующих излучений на модельные и некоторые хозяйственно значимые виды патогенных организмов, изучались генетические и популяционные показатели, оценивались дозы подавления, стерилизации и гибели, рассматривалось применение ионизирующих излучений для контроля численности вредителей. Не проводилось комплексных исследований влияния радиоактивного загрязнения на санитарное состояние лесов и развитие очагов вредных организмов.

Наиболее интересными были работы по искусственному облучению лесных участков [3], в которых в том числе оценивалось поведение насекомых-вредителей. Однако условия эксперимента (облучение лесного участка от внешнего мощного источника) значительно отличались от последствий аварийного загрязнения (долговременное облучение от включенных в биологический круговорот и динамически перераспределяемых радионуклидов в лесах, загрязненных в результате аварий), а непосредственное примыкание к неповрежденным насаждениям вносило дополнительные погрешности в результаты.

Авария на Чернобыльской АЭС потребовала срочной разработки нормативных документов по осуществлению защитных мероприятий (контрмер), что привело к необходимости проведения прикладных исследований в полевых условиях. В период с 1986 по начало 2000-х гг. рядом исследователей (Ю.Д. Абатуров, А.М. Жуков, В.В. Жуков, Г.М. Козубов, Д.А. Криволицкий, Н.Д. Кучма, Г.В. Линдеман, А.В. Панфилов, Е.Н. Панфилова, Ф.А. Тихомиров и др.) изучались последствия радиоактивно-

го загрязнения вследствие аварии на ЧАЭС для лесных экосистем. Было оценено санитарное состояние лесов в 30-км зоне отчуждения. Исследован видовой состав дендрофильных насекомых. Установлено, что резкое ухудшение санитарного состояния в сосновых древостоях наступает при плотности радиоактивного загрязнения свыше 600 Ки/км². Выдвинуты предположения о возможном отрицательном воздействии насекомых-вредителей на процесс восстановления ослабленных ионизирующим излучением насаждений. Показано, что принципиальных изменений в видовом составе и популяционных характеристиках, однозначно связанных с радиационным фактором, в зонах загрязнения не отмечается. Установлено значимое влияние на патогенные организмы изменения режимов хозяйственной деятельности [4, 5].

Большинство исследований затрагивали отдельные виды или группы видов, либо санитарное состояние насаждений в зонах радиоактивного загрязнения. После выхода работы А.М. Жукова «Динамика лесопатологического состояния древостоев на загрязненных радионуклидами территориях» [5] крупных системных исследований в области защиты леса в условиях радиоактивного загрязнения не публиковалось.

Материалы и методы исследования

В литературных источниках хорошо описано явление гормезиса – стимулирующего эффекта умеренных доз стрессоров, или, по определению авторов этого термина, «стимулирующего действия субингибирующих концентраций любого токсического вещества любого организма», в том числе радиационного гормезиса при воздействии малых доз радиации [6]. Наши исследования в опытах по искусственному облучению фитопатогенных грибов показали, что может наблюдаться картина общего адаптационного синдрома (ОАС) и изменения стрессовой реакции организма (СРО) по Г. Селье [7].

Осуществляемые в соответствии с Лесным кодексом РФ лесопатологические обследования предусматривают выявление очагов вредных организмов [8, 9]. В процессе основной деятельности филиалов ФБУ «Рослесозащита» накапливаются многолетние данные о выявленных очагах. Это позволило ФБУ ВНИИЛМ совместно с Центром защиты леса Калужской области объединить данные об очагах вредных организмов и радиоактивном загрязнении

лесных участков на примере лесов Брянской области. Объем базы данных составил более 80 000 записей с глубиной наблюдения более 10 лет.

Большое количество наблюдений позволяет использовать широкий диапазон статистических методов и получать высокую достоверность результатов.

Результаты исследования и их обсуждение

Для предварительного анализа массива объединенных данных лесопатологических и радиологических обследований были использованы непараметрические методы. Полученные значения рангового (непараметрического) гамма-коэффициента корреляции между плотностью радиоактивного загрязнения и повреждающими факторами для основных лесообразующих пород показали, что многие выявленные связи с большой вероятностью могут рассматриваться как реально существующие. Дальнейший анализ позволил впервые выявить достоверные связи и устойчивые тренды между возникновением очагов ряда хозяйственно значимых видов насекомых-вредителей и болезней с плотностью загрязнения почвы лесных участков цезием-137.

Были получены зависимости частоты встречаемости очагов вредных организмов (относительно общего количества обследованных участков, на которых присутствовала повреждаемая древесная порода), от плотности загрязнения почв лесных участков цезием-137. Некоторые результаты поведения вредных организмов, поражающих сосну обыкновенную (*Pinus sylvestris* L.), приведены далее.

Смоляной рак сосны (*Peridermium pini* (Willd.) Kleb.) демонстрирует устойчивую отрицательную зависимость возникновения очагов с плотностью загрязнения почвы, хорошо описываемую кривой двухкомпонентной зависимости доза – эффект (рис. 1, А):

$$S_1 = 554,31 * 0,99 / (1 + 10^{((-364,35 - v_1) * (-0,01))}),$$

$$S_2 = 554,31 * (1 - 0,99) / (1 + 10^{((751,84 - v_1) * (-0,09))}),$$

$$S = 8,99E + S_1 + S_2,$$

где v_1 – плотность загрязнения почвы цезием-137, кБк/м²;

S – частота встречаемости очагов *Peridermium pini* (Willd.) Kleb. относительно к общему количеству обследованных участков, на которых присутствует повреждаемая порода.

Как видно из рис. 1, Б, полученная кривая хорошо описывает экспериментальные данные. Корреляция между ожидаемой (расчетной) и фактической вероятностью возникновения очагов очень высока – коэффициент детерминации $r^2 = 0,9477$, уровень значимости $p < 1 * 10^{-4}$.

На графике (рис. 1, А) хорошо выделяются две ступени, при плотности загрязнения почвы около 100 кБк/м² (2,7 Ки/км²) и свыше 800 кБк/м² (21,6 Ки/км²), позволяющие сделать вывод о значимом влиянии радиационного фактора уже вблизи нижней границы официально выделяемой зоны радиоактивного загрязнения – 37 кБк/м² (1 Ки/км²).

Корневая губка на сосне демонстрирует устойчивую положительную связь возникновения очагов с плотностью радиоактивного загрязнения лесных участков (рис. 2).

Рыжий сосновый пилильщик показывает устойчивый обратный тренд. Поскольку линейный тренд не достигает порога достоверности (рис. 3), дополнительно был проведен расчет с использованием натурального логарифма почвенного загрязнения:

$$y = 0,122 - 0,0191 * \ln(x);$$

$$r = -0,5821; p = 0,0089; r^2 = 0,3389$$

Звездчатый ткач пилильщик не выявлен в условиях радиоактивного загрязнения. Сосновая губка демонстрирует индифферентность к фактору загрязнения.

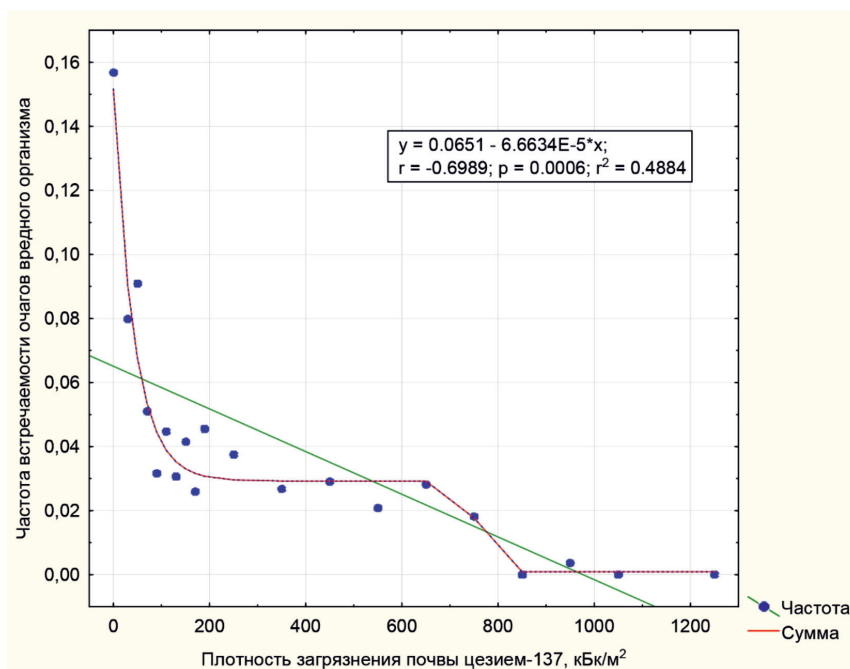
Полученные результаты согласуются с отмечаемой многими исследователями нелинейностью зависимости доза – эффект, подтвержденной нами в экспериментах по искусственному облучению семян и патогенных грибов [7]. К аналогичным выводам позволяют прийти результаты морфогенетических исследований, показавшие наибольшую чувствительность в области низких и средних уровней загрязнения [10].

Установлено наличие связей между плотностью загрязнения цезием-137 почв лесных участков и развитием патогенных организмов. Эти связи могут носить нелинейный и разнонаправленный характер в зависимости от уровня загрязнения. Анализ литературных данных, результаты наших полевых наблюдений и характер выявленных связей позволяет предположить, что радиационный фактор оказывает значимое влияние на формирование очагов вредных организмов и реализуется через комплексное воздействие, включающее:

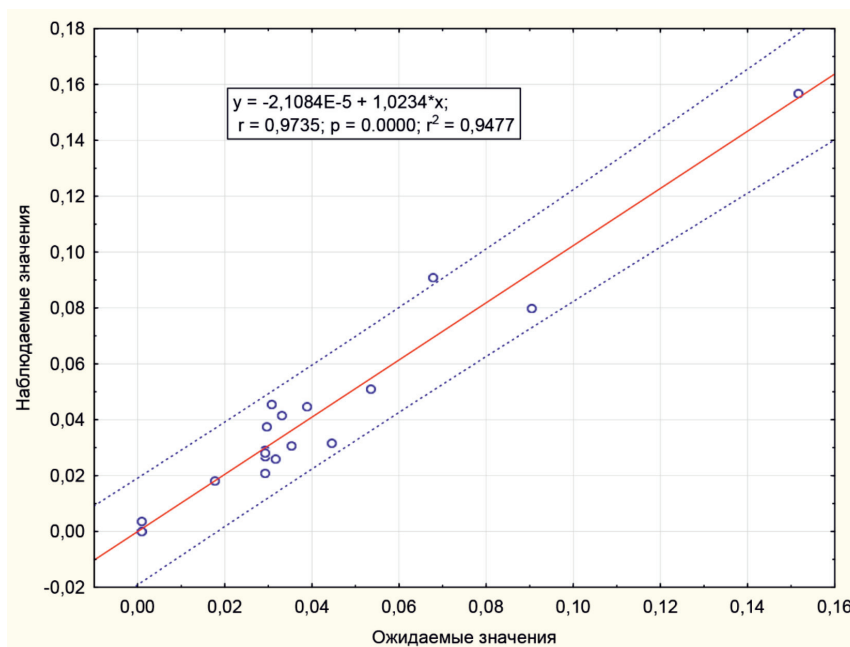
– прямое влияние ионизирующего излучения на организм и популяцию патогена;

– косвенное влияние через воздействие излучения на другие виды лесных экосистем и их связи;

– влияние через изменения режима хозяйственной деятельности, связанные с условиями радиоактивного загрязнения.



A



B

Рис. 1. Распределение частот встречаемости очагов смоляного рака сосны (*Peridermium pinii* (Willd.) Kleb.) в зависимости от плотности радиоактивного загрязнения почвы:

A – Кривая двухкомпонентной зависимости доза – эффект;

B – Корреляция между ожидаемой (расчетной) и фактической вероятностью

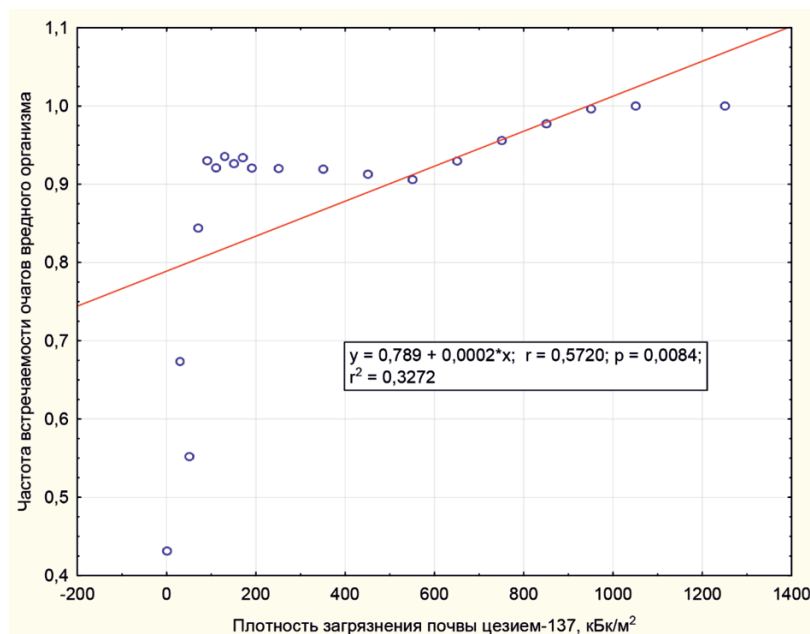


Рис. 2. Зависимость формирования очагов корневой губки (*Heterobasidion annosum* Fr.) на территории Брянской области от плотности загрязнения почвы цезием-137

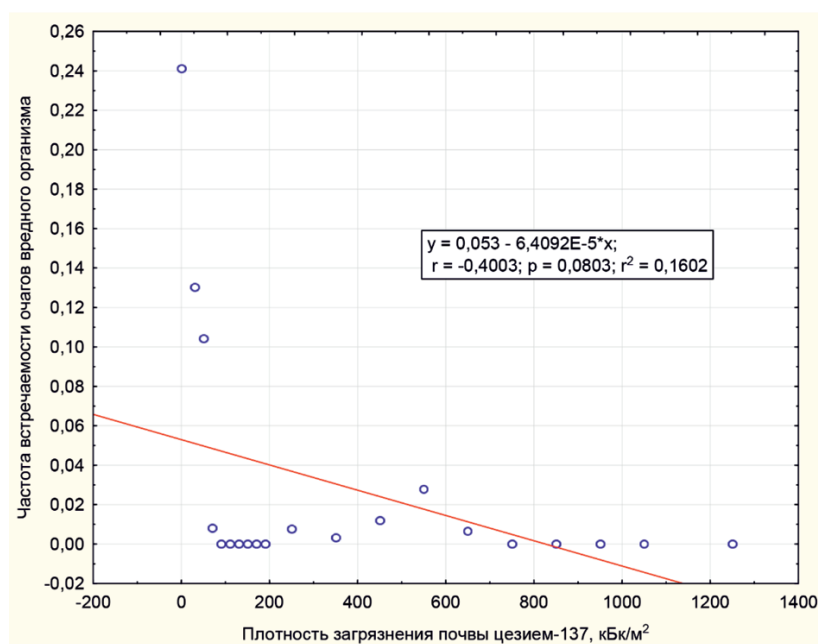


Рис. 3. Зависимость формирования очагов рыжего соснового пилильщика (*Neodiprion sertifer* Geoffr.) на территории Брянской области от плотности загрязнения почвы цезием-137

Таким образом, влияние радиоактивного загрязнения должно учитываться при осуществлении лесохозяйственной деятельности в загрязненных лесах, в том числе при лесопатологических обследованиях и осуществлении санитарно-оздоровительных мероприятий.

Выводы

Предложенный методический подход основывается на большом количестве (десятки тысяч) данных многолетних наблюдений, осуществляемых в ходе лесопатологических и радиационных обследований лесов. Он по-

звояет оценить влияние и значимость радиационного и других факторов на возникновение очагов патогенных организмов.

Полученные результаты позволяют установить наличие связей между плотностью загрязнения цезием-137 почв лесных участков и развитием патогенных организмов. Выявленные связи с большой вероятностью (95%) могут рассматриваться как реально существующий факт (уровень р-значимости менее 5% (0,05)). Исследуемая выборка хорошо отражает генеральную совокупность, и обнаруженные связи не могут быть подвергнуты сомнению.

Полученные результаты позволяют по-новому взглянуть на взаимодействие живых организмов лесных экосистем между собой и с окружающей средой в условиях техногенного радиоактивного загрязнения (долговременного хронического облучения). Они позволяют выделить новое направление лесной радиоэкологии, изучающее влияние радиоактивного загрязнения и ионизирующих излучений на санитарное состояние лесных экосистем и развитие очагов патогенных организмов – радиационную лесопатологию. Дальнейшее углубленное исследование влияния радиоактивного загрязнения на основные хозяйственно значимые виды вредителей и болезней необходимо для повышения эффективности защитных мероприятий и предотвращения негативных тенденций трансформации лесных экосистем.

Список литературы / References

1. INES. The international nuclear and radiological event scale. IATA 2008 Edition. Vienna, 2013. [Electronic resource]. URL: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/INES2013web.pdf> (date of access: 01.08.2019).
2. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Вывод из эксплуатации / Под общ. ред. Л.А. Большова, Н.П. Лаверова, И.И. Линге. Т. 3. М., 2015. 316 с.
Nuclear legacy problems and solutions. Removal from operation / Pod obshchey redaktsiyey L.A. Bol'shova, N.P. Laverova, I.I. Linge. T. 3. M., 2015. 316 p. (in Russian).
3. Криволицкий Д.А., Тихомиров Ф.А., Фёдоров Е.А., Покаржевский А.Д., Таскаев А.И. Действие ионизирующей радиации на биогеоценоз. М.: Наука, 1988. 240 с.
Krivolutskiy D.A., Tikhomirov F.A., Fedorov E.A., Pokarzhevskiy A.D., Taskaev A.I. The effect of ionizing radiation on biogeocenosis. M.: Nauka, 1988. 240 p. (in Russian).
4. Панфилов А.В. Майские хрущи и сопутствующие вредители корней в условиях радиоактивного загрязнения: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 1998. 24 с.
Panfilov A.V. Cockchafer and concomitant root pests in conditions of radioactive contamination: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Moskva, 1998. 24 p. (in Russian).
5. Жуков А.М. Динамика лесопатологического состояния древостоев на загрязненных радионуклидами территориях // В книге: Вопросы лесной радиоэкологии / Под ред. А.И. Чилимова. М., 2000. С. 137–169.
Zhukov A.M. Dynamics of the forest pathological state of forest stands in territories contaminated with radionuclides // V knige: Voprosy lesnoy radioekologii / Pod red. A.I. Chilimova. M., 2000. P. 137–169 (in Russian).
6. Вайсерман А.М., Кошель Н.М., Мехова Л.В., Войтенко В.П. Радиационный гормезис в экспериментальных исследованиях // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2011. Т. 56. № 4. С. 5–16.
Vaiserman A.M., Koshel N.M., Mechova L.V., Voitenko V.P. Radiation Hormesis in Experimental Studies // Medical Radiology and Radiation Safety. 2011.V. 56. № 4. P. 5–16 (in Russian).
7. Раздайков А.Н., Радин А.И., Калнин В.В., Павлов А.Н., Рябинков А.П., Карпов А.Д., Пророков А.А. Влияние ионизирующего излучения на развитие патогенных грибов рода *Alternaria* на семенах ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior* L.) // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы: сборник докладов международной научно-практической конференции (Обнинск, 26–28 сентября 2018 г.). Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. С. 114–117.
Razdaykov A.N., Radin A.I., Kalnin V.V., Pavlov A.N., Ryabinkov A.P., Karpov A.D., Prorokov A.A. Influence of ionizing radiation on the development of pathogenic mushrooms of the genus *Alternaria* on seeds of *Fraxinus excelsior* L. // Radiatsionnye tekhnologii v sel'skom khozyaystve i pishchevoy promyshlennosti: sostoyaniye i perspektivy: sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Obninsk, 26–28 sentyabrya 2018 g.). Obninsk: FGBNU VNIIRAE, 2018. P. 114–117 (in Russian).
8. ГОСТ Р 57973-2017 Санитарная безопасность в лесах. Термины и определения. Применяется с 01.06.2018. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200157752> (дата обращения: 02.08.2019).
9. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 16.09.2016 № 480 «Об утверждении порядка проведения лесопатологических обследований и формы акта лесопатологического обследования» (с изменениями на 22 августа 2017 года). [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/71586766/> (дата обращения: 02.08.2019).
10. The order of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Russian Federation from 09/16/2016 of No. 480 «On approval of the procedure for conducting forest pathological surveys and the form of the act of forest pathological survey» (as amended on August 22, 2017). [Electronic resource]. URL: <https://base.garant.ru/71586766/> (date of access: 02.08.2019) (in Russian).
11. Ромашкин Д.Ю., Ромашкина И.В., Калнин В.В., Пророков А.А., Карпов А.Д. Морфогенетическая оценка биологической устойчивости лесных насаждений в условиях радиоактивного загрязнения // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2019. Т. 23. № 2. С. 84–91. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-2-84-91.
Romashkin D.Yu., Romashkina I.V., Kalnin V.V., Prorokov A.A., Karpov A.D. Morphogenetic evaluation of biological tolerance of forest stands under the conditions of radioactive contamination // Forestry Bulletin. 2019. V. 23. № 2. P. 84–91 (in Russian).

УДК 630*244:633.877.3(571.15)

ПОСЛЕДСТВИЯ ГРУППОВО-ВЫБОРОЧНЫХ РУБОК В СОСНЯКАХ ЛЕНТОЧНЫХ БОРОВ АЛТАЯ

Башегуров К.А., Залесова Е.С., Толстиков А.Ю., Усов М.В.

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

Проанализированы показатели обеспеченности подростом сосновых насаждений ленточных боров Алтайского края, пройденных группово-выборочными рубками. В основу исследований положен метод определения количества подроста на учетных площадках размером 2*2 м. В процессе исследований учетные площадки закладывались в окнах древесного полога, сформированных группово-выборочными рубками, и под пологом древостоя. Количество учетных площадок при этом варьировалось от 100 до 125 штук на каждый из указанных элементов лесосеки. Исследованиями охвачены сосновые насаждения типов леса сухой бор пологих всхолмлений (СБП) и свежий бор (СВБ). Все обследованные насаждения до рубки были представлены древостоями сосны из 2–4 поколений. Последнее свидетельствует о часто повторяющихся ранее низовых пожарах. Группово-выборочные рубки выполнялись по безопасной технологии. В процессе их проведения удалялись биогруппы деревьев наиболее старых поколений. Исследованиями установлено, что количество подроста сосны обыкновенной спустя семь лет после проведения группово-выборочной рубки в вырубленных окнах значительно меньше, чем под пологом древостоя. При этом отсутствие всходов исключает надежду на его накопление в будущем. Другими словами, проведение группово-выборочных рубок не решает главной лесоводственной задачи – замены спелых и перестойных насаждений молодыми, не прибегая к искусственному лесовосстановлению. Логично предположить, что увеличение количества подроста сосны обыкновенной можно обеспечить за счет содействия естественному лесовозобновлению путем минерализации почвы. Учитывая специфику лесорастительных условий ленточных боров Алтайского края, считаем возможным рекомендовать разработку региональных нормативных документов для данного региона по вопросам лесовосстановления, лесоразведения, а также их омоложения и противопожарного устройства.

Ключевые слова: сосняки, группово-выборочные рубки, подрост, густота, встречаемость, Алтайский край

CONSEQUENCE OF GROUP-SELECTIVE FELLING IN STRIPE PINE FORESTS OF ALTAY

Bashegurov K.A., Zalesova E.S., Tolstikov A.Yu., Usov M.V.

Ural State Forestry Engineering University, Ekaterinburg, e-mail: rector@usfeu.ru

The article studies indices of analysing pine-stripes stands provision with undergrowth in Altay region, particularly those that suffered from group-selective felling. The research was based upon the method of undergrowth number determination on accounting plots of 2*2 meters in size. While researching the accounting plots that formed in the windows of canopy formed by group-selective felling under the canopy of forest stands. The number of accounted grounds varied from 100 to 125 per each of the mentioned elements of felling areas. The research embraced pine tree standings of the type «dry forest of slightly sloping hills» (DFH) and «fresh forest» (FF). All studied stands before felling were represented with pine standings of 2-4 generations. This fact testifies for repeated career ground fires. Group-selective fellings were carried out via apiary technology. During the process biogroups of trees that belonged to oldest generations, were removed. Researchers have established that number of ordinary pine undergrowth in 7 years after undertaking group-selective felling in significantly smaller in cutting windows than it is under the canopy of tree standing. At the same time, lack of seedlings makes it impossible to accumulate it in the future. In other words, carrying out group-selective fellings does not solve the main problem of forestry – replacement of ripe and overgrown plantations with young trees without referring to artificial forest replenishment. It is logical to suggest that increase in number of ordinary pine tree undergrowth is possible through assisting natural forest replenishment via mineralization of soil. Considering specific nature of forest-vegetative conditions of stripe forests in Altay region, we consider possible to recommend developing regional normative documents for this region on topic of forest replenishment, forest development, as well as rejuvenation and fire protection.

Keywords: pine forest, group-selective felling, density, occurrence, Altay region

Основной задачей научно обоснованного лесопользования служит оптимизация рубок спелых и перестойных насаждений с целью обеспечения лесовосстановления вырубленных площадей, не прибегая к созданию лесных культур. В этом случае обеспечивается сохранение генофонда древесных растений и формируются высокопроизводительные устойчивые насаждения, адаптированные к местным природным условиям.

Лесоводственная наука, для достижения указанной цели, с учетом специфики природных условий и таксационных показателей древостоев, разработала более 140 видов рубок спелых и перестойных насаждений [1]. При этом действующими Правилами заготовки древесины [2] на территории РФ предусмотрена возможность применения двух видов сплошных рубок спелых и перестойных насаждений и семи видов выборочных рубок. Последние реко-

мендуются для проведения как в защитных, так и в эксплуатационных лесах, а их проведение не связано с искусственным лесовосстановлением, поскольку ориентируется на естественное лесовосстановление за счет подроста предварительной и сопутствующей генерации.

Не умаляя достоинств выборочных рубок, ряд ученых отдает предпочтение сплошно-лесосечным рубкам с последующим искусственным лесовосстановлением. Последнее обосновывается тем, что создание лесных культур обеспечивает лесоразведение даже там, где ранее лес не произрастал [3–6], кроме того, формируются древостои нужного породного состава, чаще всего более производительные, чем естественные насаждения, произрастающие в местных условиях [7, 8]. Немаловажно, что создание искусственных насаждений позволяет увеличить биологическое разнообразие лесов за счет внедрения интродуцентов [9, 10].

К недостаткам искусственного лесовосстановления следует отнести прежде всего значительно большие трудовые и финансовые затраты на формирование молодняков до перевода их в покрытую лесной растительностью площадь. В защитных лесах проблема искусственного лесовосстановления осложняется тем, что здесь допускаются только выборочные рубки, которые по своей природе сориентированы на естественное лесовосстановление. Вопросы накопления подроста в аридных лесах защитного назначения изучаются уже давно [11, 12]. Однако многие вопросы влияния конкретных видов рубок на естественное возобновление изучены недостаточно. Не является в этом плане исключением и Алтайский край. Последнее предопределило направление наших исследований.

Цель работ: изучение накопления подроста после проведения первого приема группово-выборочных рубок в сосняках ленточных боров Алтайского края и разработка на этой основе предложений по повышению их лесоводственной эффективности.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований служили спелые и перестойные естественные сосновые насаждения типов леса сухой бор пологих всхолмлений (СБП) и свежий бор (СВБ), произрастающие на территории Степно-Михайловского лесничества. Согласно действующим нормативным документам территория указанного лесничества относится к степной зоне, сухостепной подзоне, Западно-Сибирскому подтаёжно-лесостепному лесному району.

Во всех обследованных сосновых насаждениях семь лет назад проведены опытно-производственные группово-выборочные рубки. Проведение указанных рубок объясняется тем, что исследованные сосновые насаждения до рубки были представлены древостоями из 2–4 поколений сосны (табл. 1). Последнее объясняется, на наш взгляд, часто повторяющимися в прошлом лесными пожарами. Согласно определению группово-выборочная рубка [13] проводится в разновозрастных насаждениях при биогрупповом размещении деревьев разных возрастных поколений.

Валка деревьев, обрезка сучьев и разделка стволов на сортименты осуществлялась бензомоторными пилами. Трелевка сортиментов тракторами МТЗ-81 с приспособлением «Муравей». Технология проведения лесосечных работ безопасная, то есть при трелевке заготовленных сортиментов использовались имеющиеся лесные дороги, прогалыны между деревьями.

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев до проведения группово-выборочных рубок

Показатель	№ пробной площади				
	1	2	3	4	5
Состав (Возраст, лет)	4 С (120) 4 С (60) 2 С (85) +С (105)	6 С (130) 4 С (85)	5 С (125) 3 С (95) 2 С (50)	8 С (110) 2 С (80)	5 С (110) 3 С (80) 2 С (55) +С (130)
Ярус	1	1	1	1	1
Высота яруса, м	24	23	23	24	21
Класс возраста	7	7	7	6	6
Класс бонитета	III	II	II	II	II
Тип леса	СБП	СВБ	СВБ	СВБ	СВБ
Полнота, ед	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6
Запас м ³ /га	230	220	190	230	200

Учет подроста спустя семь лет после проведения группово-выборочных рубок проводился на учетных площадках размером 2*2 м. При этом учетные площадки закладывались через равное расстояние на диагоналях лесосеки. Отдельно выделялись учетные площадки, заложенные в «окнах» и под пологом древостоя. Количество учетных площадок в том и другом случае варьировалось от 100 до 125 штук. Согласно общепринятым, апробированным методикам [14] на учетных площадках устанавливалось количество всходов и подроста с подразделением последнего по видам, группам высот, жизненному состоянию, возрасту.

В камеральных условиях количество сомнительного подроста делилось пополам с отнесением одной половины к жизнеспособному, второй – к нежизнеспособному. Для установления обеспеченности подростом он пересчитывался на крупный с использованием коэффициентов 0,5 для мелкого, 0,8 для среднего и 1,0 для крупного подроста. Кроме того, определялась встречаемость подроста, как выраженное в процентах отношение количества учетных площадок с наличием жизнеспособного подроста сосны к общему количеству учетных площадок.

Результаты исследования и их обсуждение

Выполненные исследования показали, что на всех лесосеках группово-выборочной рубки доминирует жизнеспособный подрост сосны обыкновенной (табл. 2).

Материалы табл. 2 свидетельствуют, что количество жизнеспособного подроста под пологом леса на всех опытно-производственных участках превышает таковые в вырубленных окнах, несмотря на то, что доля жизнеспособного подроста в окнах выше, чем под пологом древостоев. Особо следует отметить, что, несмотря на лучшие условия освещенности в окнах древостоя, созданных группово-выборочными рубками, количество подроста всех категорий крупности, как правило, меньше, чем под пологом древостоя. Другими словами, спустя семь лет после проведения группово-выборочных рубок в сосновых насаждениях типов леса сухой бор пологих всхолмлений и свежий бор не зафиксировано существенного изменения в количестве подроста сосны обыкновенной, а также увеличения доли жизнеспособного крупного подроста.

При анализе естественного возобновления важное значение имеет возрастная структура подроста (табл. 3).

Таблица 2

Распределение подроста сосны на лесосеках группово-выборочной рубки по категориям состояния, шт/га

№ п/п	Тип леса	Элемент лесосеки	Количество подроста по категориям крупности							
			Мелкий		Средний		Крупный		Итого	
			ж	н.ж.	ж	н.ж.	ж	н.ж.	ж	н.ж.
1	СБП	Окно	260 9,3	0 0	1260 45,0	80 100	1280 45,7	0 0	2800 100	80 100
		Полог	800 9,0	0 0	2550 31,7	750 35,7	4700 58,4	1350 64,3	8050 100	2100 100
2	СВБ	Окно	600 44,4	0 0	650 48,2	0 0	100 7,4	0 0	1350 100	0 0
		Полог	500 26,3	50 9,1	900 47,4	100 18,2	500 26,3	400 72,7	1900 100	550 100
3	СВБ	Окно	375 18,5	0 0	900 44,4	0 0	750 37,1	50 100	2025 100	50 100
		Полог	800 15,0	0 0	2750 51,4	50 25,0	1800 33,6	150 75,0	5350 100	200 100
4	СВБ	Окно	567 36,2	0 0	867 55,3	0 0	133 8,5	0 0	1567 100	0 0
		Полог	267 8,8	0 0	1167 38,5	100 59,9	1600 52,7	67 40,1	3034 100	167 100
5	СВБ	Окно	1260 28,0	20 50	2820 62,7	20 50	420 9,3	0 0	4500 100	40 100
		Полог	4900 51,0	0 0	3250 33,9	0 0	1450 15,1	200 100	9600 100	200 100

Примечание: ж – жизнеспособный; н.ж. – нежизнеспособный.

Таблица 3

Возрастная структура жизнеспособного подростка сосны обыкновенной
на участках группово-выборочной рубки

№ п/п	Тип леса	Элемент лесосеки	Количество подростка по группам возраста, шт/га/%				
			Группы возраста, лет				Всего
			2–5	6–10	11–15	>16	
1	СБП	Окно	<u>100</u> 3,6	<u>950</u> 33,9	<u>1000</u> 35,7	<u>780</u> 26,8	<u>2800</u> 100
		Полог	<u>0</u> 0	<u>750</u> 93	<u>1950</u> 24,2	<u>5350</u> 66,5	<u>8050</u> 100
2	СВБ	Окно	<u>450</u> 33,4	<u>500</u> 37,0	<u>300</u> 22,2	<u>100</u> 7,4	<u>1350</u> 100
		Полог	<u>50</u> 2,6	<u>600</u> 31,6	<u>400</u> 21,1	<u>850</u> 44,7	<u>1900</u> 100
3	СВБ	Окно	<u>80</u> 4,0	<u>920</u> 45,4	<u>120</u> 5,9	<u>905</u> 44,7	<u>2025</u> 100
		Полог	<u>90</u> 1,7	<u>1960</u> 36,6	<u>520</u> 9,7	<u>2780</u> 52,0	<u>5350</u> 100
4	СВБ	Окно	<u>430</u> 27,4	<u>740</u> 47,2	<u>320</u> 20,4	<u>77</u> 5,0	<u>1567</u> 100
		Полог	<u>40</u> 1,3	<u>460</u> 15,2	<u>1080</u> 35,6	<u>1454</u> 47,9	<u>3034</u> 100
5	СВБ	Окно	<u>505</u> 11,2	<u>2370</u> 52,7	<u>1380</u> 30,7	<u>245</u> 5,4	<u>4500</u> 100
		Полог	<u>1930</u> 20,1	<u>4400</u> 45,8	<u>270</u> 2,8	<u>3000</u> 31,3	<u>9600</u> 100

Материалы исследований (табл. 3) свидетельствуют, что основная доля подростка приходится на экземпляры, произрастающие на опытно-производственном участке до проведения рубки. Последнее вполне объяснимо, поскольку относительная полнота до проведения группово-выборочных рубок варьировалась от 0,5 до 0,6. Так, в частности, на подрост в возрасте от двух до пяти лет в окнах сформированных группово-выборочными рубками приходится только от 3,6 до 33,4% от общего количества подростка. При этом в абсолютном выражении указанный показатель составляет от 80 до 505 шт/га.

При этом доля подростка аналогичного возраста под пологом древостоя достигает 20,1% при густоте 1930 шт/га.

Особо следует отметить наличие подростка старше 16 лет. Известно, что по причине высокого светолюбия подрост сосны в большинстве своем выдерживает затенение материнским пологом до 10–15 лет. Нами установлено, что в окнах, образовавшихся при проведении группово-выборочных рубок, доля подростка старше 16 лет составляет от 5 до 44,7% при изменении значений густоты от 77 до 905 шт/га. При

этом доля подростка старше 16 лет под пологом древостоя варьируется от 31,3 до 66,5% при густоте от 850 до 5350 шт/га. Другими словами, разубка окон в процессе группово-выборочных рубок не приводит к накоплению подростка старших возрастов. На наш взгляд, установленная закономерность объясняется тем, что в процессе рубок при разубке окон в древостое часть подростка предварительной генерации погибает. Под пологом древостоя влияние рубок проявляется в значительно меньшей степени, поэтому здесь насчитывается и большее количество подростка спустя семь лет после рубки.

Обобщающие данные по обеспеченности подростом на различных элементах лесосек после проведения группово-выборочных рубок приведены в табл. 4.

Согласно материалам табл. 4, количество жизнеспособного подростка сосны обыкновенной в пересчете на крупный в окнах, сформированных группово-выборочными рубками, варьируется от 920 до 3306 шт/га при показателе встречаемости жизнеспособного подростка от 23 до 39%. При этом, под пологом древостоев аналогичные показатели составляют от 1479 до 7140 шт/га и от 44 до 58% соответственно.

Таблица 4

Обеспеченность жизнеспособным подростом насаждений, пройденных группово-выборочной рубкой

№ п/п	Тип леса	Элемент лесосеки	Густота подроста в пересчете на крупный, шт/га	Встречаемость, %	Обеспеченность подростом для естественного способа лесовосстановления
1	СБП	Окно	2418	34	Достаточно
		Полог	7140	52	Достаточно
2	СВБ	Окно	920	24	Недостаточно
		Полог	1470	44	Недостаточно
3	СВБ	Окно	1658	32	Недостаточно
		Полог	4400	58	Достаточно
4	СВБ	Окно	1115	23	Недостаточно
		Полог	2668	50	Достаточно
5	СВБ	Окно	3306	39	Достаточно
		Полог	6500	56	Достаточно

Согласно действующим нормативным документам [15] естественное лесовосстановление путем сохранения подроста и ухода за ним рекомендуется при его количестве в пересчете на крупный более 1,5 тыс. шт/га в сухих типах леса и более 2,0 тыс. шт/га в свежих и влажных типах леса. Приведенные в табл. 4 данные свидетельствуют, что на трех пробных площадках из четырех заложенных в сосняке типа леса свежий бор в окнах, созданных в процессе проведения группово-выборочных рубок, подрост недостаточно для естественного способа лесовосстановления. Кроме того, низкие показатели встречаемости жизнеспособного подроста сосны и отсутствие всходов ставят под сомнение успешность формирования в окнах древесного полога молодого поколения сосны.

Особо следует отметить, что группово-выборочные рубки не позволяют снижать относительную полноту древостоя ниже 0,5. Следовательно, при отсутствии второго яруса из подроста в окнах подрост под пологом древостоя отомрет с увеличением возраста. Другими словами сложно ожидать положительного эффекта от группово-выборочных рубок.

Выводы

1. Сосновые насаждения ленточных боров Алтайского края формируются в специфических жестких лесорастительных условиях.

2. Наличие нескольких поколений деревьев сосны в большинстве сосновых насаждений свидетельствует о часто повторяющихся низовых лесных пожарах.

3. Сложное возрастное строение сосновых древостоев вызывает необходи-

мость поиска оптимальных видов выборочных рубок.

4. Группово-выборочные рубки, широко практикуемые в ленточных борах до настоящего времени, не позволяют добиться формирования второго яруса из подрост сосны.

5. Количество подроста, как в вырубленных в процессе группово-выборочных рубок окнах, так и под пологом древостоев зависит от его количества до рубки. Спустя семь лет после изреживания всходы отсутствуют как под пологом древостоев, так и в окнах.

6. Учитывая низкую лесоводственную эффективность группово-выборочных рубок, считаем целесообразным заменить их равномерно-постепенными или группово-постепенными рубками в большей степени соответствующими природе сосновых лесов.

7. Учитывая специфику ленточных боров Алтайского края, для них должны быть разработаны региональные нормативные документы по вопросам лесопользования.

Список литературы / References

1. Луганский Н.А., Залесов С.В., Азаренок В.А. Лесоводство. Екатеринбург, 2001. 320 с.

Lugansky N.A., Zalesov S.V., Azarenok V.A. Forestry. Ekaterinburg, 2001. 320 p. (in Russian).

2. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 474 от 13.09.2016 г. «Правила заготовки древесины и особенности заготовки древесины в лесничествах, лесопарках, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации». [Электронный ресурс]. URL: <https://rulings.ru/prikaz-minprirody-rossii-ot-13.09.2016-n-474/> (дата обращения: 9.08.2019).

The Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation No. 474 dated 13.08.2019. «Rules for the harvesting of wood and features of harvesting wood in forestries, forest parks specified in Article 23 of the Forest Code of the Russian Federation» [Electronic resource]. URL: <https://rulings.ru/prikaz-minprirody-rossii-ot-13.09.2016-n-474/>

rules.ru/acts/Prikaz-Minprirody-Rossii-ot-13.09.2016-N-474/ (date of access: 08.09.2019) (in Russian).

3. Фрейберг И.А., Залесов С.В., Толкач О.В. Опыт создания искусственных насаждений в лесостепи Зауралья. Екатеринбург, 2012. 121 с.

Freiberg I.A., Zalesov S.V., Tolkach O.V. Experience of planted forests in the forest-steppe transurals. Yekaterinburg, 2012. 121 p. (in Russian).

4. Залесов С.В., Азбаев Б.О., Данчева А.В., Рахимжанов А.Н., Ражанов М.Р., Суюндюков Ж.О. Искусственное лесоразведение вокруг г. Астаны // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13438> (дата обращения: 9.08.2019).

Zalesov S.V., Abaev B.O., Doncheva A.V., Rakhimzhanov A.N., Roganov M.R., Suyundukov J.O. Artificial afforestation around Astana // Modern problems of science and education. 2014. № 4. [Electronic resource]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13438> (date of access: 9.08.2019) (in Russian).

5. Залесов С.В., Толкач О.В., Фрейберг И.А., Черноусова Н.Ф. Опыт создания лесных культур на солончаках хвойной лесопригодности // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 9. С. 42–47. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-9-42-47.

Zalesov S.V., Tolkach O.V., Freiberg I.A., Chernousova N.F. Experience of Forest Culture Creations on Solonchets of Good Quality for Forest Suitability // Ecology and industry of Russia. 2017. V. 21. № 9. P. 42–47 (in Russian).

6. Залесов С.В., Залесова Е.С., Зверев А.А., Оплетев А.С., Терин А.А. Формирование искусственных насаждений на золоотвале Рефтинский ГРЭС // ИВУЗ. Лесной журнал. 2013. № 2. С. 66–73.

Zalesov S.V., Zalesova E.S., Zverev A.A., Opletaev A.S., Therin A.A. The Method of Growing Artificial Pine Stands at the Ash Dumps of the Reftinskaya Power Plant // IVUZ. Lesnoi Zhurnal. 2013. № 2. P. 66–73 (in Russian).

7. Залесов С.В., Лобанов А.Н., Луганский Н.А. Рост и продуктивность сосняков искусственного и естественного происхождения. Екатеринбург, 2002. 112 с.

Zalesov S.V., Lobanov A.N., Lugansky N.A. Growth and productivity of artificial and natural pine forests. Yekaterinburg, 2002. 112 p. (in Russian).

8. Осипенко А.Е., Залесов С.В. Производительность искусственных сосняков в ленточных борах Алтайского края // ИВУЗ. «Лесной журнал», 2018. № 2. С. 33–39. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.33.

Osipenko E.A., Zalesov S.V. Productivity of Artificial Pine Stands in Ribbon Forests of the Altai Territory // IVUZ. Lesnoi Zhurnal. 2018. № 2. P. 33–39 (in Russian).

9. Оплетев А.С., Залесов С.В., Кожевников А.П. Новая декоративная форма ели сибирской (*Picea obovata* Ledes) // Аграрный вестник Урала. 2016. № 6 (148). С. 40–44.

Opletaev A.S., Zalesov S.V., Kozhevnikov A.P. New decorative form of Siberian spruce (*Picea obovata* Ledes) // Agrarian Bulletin of the Urals. 2016. № 6 (148). P. 40–44 (in Russian).

10. Суюндюков Ж.О., Данчева А.В., Залесов С.В., Ражанов М.Р., Рахимжанов А.Н. Арборетум лесного питомника «Ак Кайын» РГП «Жасыл Аймак». Екатеринбург, 2017. 92 с.

Suyundukov J.O., Gancheva A.V., Zalesov S.V., Roganov M.R., Rakhimzhanov A.N. The arboretum of the forest nursery «AK Kayyn» of RSE «Zhasyl Aimak». Yekaterinburg, 2017. 92 p. (in Russian).

11. Луганский Н.А., Залесов С.В., Абрамова Л.П., Степанов А.С. Естественное лесовозобновление в Джабык-Карагайском бору // ИВУЗ. Лесной журнал. 2005. № 3. С. 13–20.

Lugansky N.A., Zalesov S.V., Abramova L.P., Stepanov A.S. Natural Reforestation in Dzhabuk-Karagajsk Forest // IVUZ. Lesnoi Zhurnal. 2005. № 3. P. 13–20 (in Russian).

12. Данчева А.В., Залесов С.В. Динамика естественного возобновления под пологом сосновых насаждений Казахского мелкосопочника // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2013. № 3 (27). С. 126–128.

Danchev A.V., Zalesov S.V. Dynamics of natural regeneration of pine plantations under the cover of Kazakh hills // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. № 3 (27). P. 126–128 (in Russian).

13. Луганский Н.А., Залесов С.В. Лесоведение и лесоводство. Термины, понятия, определения. Екатеринбург, 1997. 101 с.

Lugansky N.A., Zalesov S.V. Forestry. Terms, concepts, definitions. Yekaterinburg, 1997. 101 p. (in Russian).

14. Данчева А.В., Залесов С.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения. Екатеринбург, 2015. 152 с.

Dancheva A.V., Zalesov S.V. Ecological monitoring of forest plantations for recreational purposes. Yekaterinburg, 2015. 152 p. (in Russian).

15. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 188 от 25.03.2019 г. Правила лесовосстановления. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/554151577/> (дата обращения: 9.08.2019).

The Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation № 188 dated 03.25.2019. Rules for reforestation. [Electronic resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/554151577/> (date of access: 08.09.2019) (in Russian).

УДК 630*181:633.877.3:632.15

ВЛИЯНИЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ХВОЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗАЦИИ

Колтунов Е.В.

ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения Российской Академии наук, Екатеринбург,
e-mail: evg_koltunov@mail.ru

Изучено влияние аэротехногенного загрязнения на состав и содержание фенольных соединений в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) вблизи городских автомагистралей с интенсивным потоком автотранспорта. Состав и содержание соединений изучали методом градиентной жидкостной хроматографии. Несмотря на значительный интерес к исследованию биохимических аспектов взаимоотношений в системе: «аэротехногенное загрязнение – сосна обыкновенная – фенольные соединения», многие аспекты остаются недостаточно изученными, а полученные результаты – противоречивыми. Как показали результаты, аэротехногенное загрязнение вызывает разнонаправленные реакции низкомолекулярных химических соединений в клетках хвои сосны обыкновенной. Преобладает реакция снижения содержания химических соединений в хвое. В составе этой подгруппы было 47,17% от всех химических соединений. Возрастание содержания химических соединений отмечалось у 28,3%, отсутствие реакции – у 24,53%. У идентифицированным химических соединений (у 56%) содержание также заметно снижается в условиях аэротехногенного загрязнения, по сравнению с контролем, у 32% соединений возрастает, у 12% – не изменяется. В составе первой подгруппы были в одинаковом количестве флавоноиды и гидроксикоричные кислоты (по 35,7%). Полученные нами результаты показали, что у 75% флавоноидов преобладающей реакцией в хвое сосны обыкновенной в условиях загрязнения вблизи автомагистралей является возрастание их содержания. Это: рутин, лютеолин, кверцетин, изорамнетин, апигенин, кемпферол. Это обусловлено высоким уровнем антиоксидантной и антирадикальной активности флавоноидов и активной реакцией на воздействие факторов среды (аэротехногенное загрязнение), а также – сформировавшимся в динамике эволюции вида уровнем, типом и характером реакции на стресс. Важную роль выполняет и стратегия адаптации к изменению условий среды.

Ключевые слова: аэротехногенное загрязнение, фенольные соединения, хвоя сосны обыкновенной, городские автомагистрали

EFFECT OF AEROTECHNOGENIC POLLUTION UPON COMPOSITION AND CONTENT OF PHENOLIC COMPOUNDS IN THE NEEDLE OF *PINUS SYLVESTRIS* L. IN TERMS OF URBANIZATION

Koltunov E.V.

Federal State Budgetary Institution of Science Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, e-mail: evg_koltunov@mail.ru

Effect of aerotechnogenic pollution upon composition and content of phenolic compounds in pine needles of *Pinus sylvestris* L. near urban highways with heavy traffic has been studied. The composition and content of the compounds was studied by gradient liquid chromatography. Despite the considerable interest in the study of biochemical aspects of relationships in the system: «aerotechnogenic pollution – *Pinus sylvestris* – phenolic compounds», many aspects remain insufficiently studied, and the results obtained are contradictory. According to the results, aerotechnogenic pollution causes multidirectional reactions of low molecular weight chemical compounds in cells of the *Pinus sylvestris* needles. Mostly the reaction is reduction in content of chemical compounds in the needles. The composition of this subgroup formed 47.17% of all chemical compounds. An increase in content of chemical compounds was registered among 28.3% of the compounds, the absence of reaction – among 24.53%. In chemical compounds, identified by us (56%), the content also decreased noticeably under conditions of aerotechnogenic pollution, in comparison to the control, 32% of the compounds increased, and 12% did not change. In the first subgroup, flavonoids and hydroxycinnamic acids were in the same amount (for 35.7%). Our results showed that in 75% of flavonoids, the prevailing reaction in the needles of *Pinus sylvestris* under conditions of aerotechnogenic pollution near highways is an increase in their content. These are: rutin, luteolin, quercetin, isoramnnetin, apigenin, kaempferol. This took place due to the high level of antioxidant and antiradical activity of flavonoids and their active reaction to environmental factors (aerotechnogenic pollution), as well as the level, formed in the dynamics of evolution of a type, nature of stress response. An important role is played by the strategy of adapting to changing environmental conditions.

Keywords: aerotechnogenic pollution, phenolic compounds, pine needles, urban highways

Уровень и масштабы техногенного загрязнения городских лесонасаждений, особенно в промышленно развитых регионах, постоянно возрастают. Это сопровождается снижением устойчивости лесонасаждений, ростом пораженности древесного

яруса насекомыми-вредителями и болезнями и постепенной деградацией древесных растений, особенно хвойных. В условиях урбанизации городские древесные насаждения в основном подвергаются воздействию аэротехногенных выбросов, особенно вблизи

зи автомагистралей с интенсивным потоком автотранспорта. По данным ряда авторов, в составе аэротехногенных выбросов автотранспорта преобладают оксид углерода (70%), углеводороды (19%), оксиды азота (9%) [1]. Они вызывают повреждение ассимиляционного аппарата городских лесонасаждений [2]. Ранее нами было обнаружено заметное содержание свинца (валовых форм) в почвах некоторых городских лесопарков г. Екатеринбурга вблизи автомагистралей, приближающееся к 1 ПДК (30 мг/кг) [3]. Очевидно, что аэротехногенное загрязнение от автотранспорта сочетается с общим загрязнением атмосферы городов от промышленных объектов. В частности, среднегодовая концентрация SO_2 в атмосфере г. Екатеринбурга составляла 6,7 мкг/м³ [4]. Несмотря на значительный интерес к исследованию биохимических аспектов взаимоотношений в системе: «аэротехногенное загрязнение – сосна обыкновенная – фенольные соединения», многие аспекты остаются недостаточно изученными, а полученные результаты – противоречивыми [5, 6]. Низкомолекулярные фенольные соединения выполняют важную роль в защите древесных растений от воздействия факторов биотического и абиотического стресса [7, 8]. Одним из основных негативных последствий сорбции и аккумуляции древесными растениями химических компонентов загрязнения является оксидативный стресс, который сопровождается генерацией активных форм кислорода [9, 10]. Основным фактором снижения отрицательных последствий оксидативного стресса служит активизация клеточной биохимической системы антиоксидантной защиты, включающей как высокомолекулярные соединения (ферменты: супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза и др.), так и низкомолекулярные химические соединения, особенно флавоноиды [7, 11]. Установлено, что именно ферменты выполняют основную роль в антиоксидантной защите древесных растений [7, 11]. Но и низкомолекулярные фенольные и другие химические соединения также выполняют немаловажную роль в антиоксидантной защите [7]. Известно, что в условиях техногенного загрязнения фенольные соединения обладают способностью к связыванию тяжелых металлов в устойчивые комплексы [12]. Несмотря на интенсивные исследования реакций фенольных соединений на аэротехногенное загрязнение, многие вопросы остаются недостаточно изученными. Остается не-

ясным, как реагируют на этот фактор различные фенольные соединения в клетках хвои в условиях аэротехногенного загрязнения среды. Одни авторы отмечают возрастание содержания фенольных соединений в условиях аэротехногенного загрязнения, другие – снижение [5, 6]. Вообще, фенольные соединения очень активно реагируют на условия обитания растений и факторы внешней среды [8]. На содержание фенольных соединений в хвое заметное воздействие оказывают и условия произрастания хвойных древесных растений. При высокой густоте произрастания содержание фенольных соединений снижалось [13].

Цель исследования: изучение вклада фенольных соединений в биохимические механизмы антиоксидантной защиты и адаптации сосны к аэротехногенному загрязнению в условиях городской среды (вблизи городских магистралей с наиболее интенсивным движением). Исходя из этого основными задачами исследования было изучение методами ВЭЖХ состава и содержания химических соединений в хвое сосны обыкновенной в условиях аэротехногенного загрязнения и в контроле, а также – влияния аэротехногенного загрязнения на состав и содержание химических соединений и идентификация флавоноидов с наиболее высоким уровнем антиоксидантной активности. Особенное внимание уделено изучению флавоноидов, которые отличаются высокой антиоксидантной и антирадикальной активностью, способностью к хелатированию тяжелых металлов и выполняют важную роль в адаптации к условиям среды [6–8].

Материалы и методы исследования

Для хроматографического анализа проводился сбор хвои сосны обыкновенной 25-летнего возраста, растущей вблизи наиболее загруженных автотранспортом городских автомагистралей г. Екатеринбурга (5 м) (пр. Ленина). Контрольные пробы взяты в лесопосадках сосны 25-летнего возраста в 68 км от города (Каменск-Уральский р-н) в сходных лесорастительных условиях. Взятие каждой пробы осуществлялось от 3 деревьев одинакового возраста. Затем пробы смешивались для получения средней пробы. Сразу после сбора хвою высушивали при 60 °С и размалывали. Навеску с 2 г хвои смешивали с 20 мл 95 % этанола. Экстракцию фенольных соединений из хвои проводили в водяной бане с обратным холодильником в течение 30 мин при кипении

раствора. Затем суспензию центрифугировали при 10000 g в течение 10 мин. Супернатант фильтровали через шприцевой фильтр с диаметром пор 0,2 мкм. Хроматографический анализ проводили на жидкостном хроматографе Shimadzu LC-20 со спектрофотометрическим УФ-детектором. Каждая проба анализировалась в трехкратной повторности. Общее количество проб – 18. Детектирование элюента осуществляли одновременно на двух полосах поглощения: 254 и 360 нм на хроматографической колонке PerfectSil Target ODS-3 5 мкм с обращенной фазой, размерами: 250х4,6 мм. Затем вычислялось спектральное отношение параметров абсорбции ($\lambda_{360}/\lambda_{254}$). Градиентное элюирование проводилось в диапазоне 10–50% со скоростью 1 мл в мин при температуре 40 °С. Элюент А: ацетонитрил – 0,05 М фосфатный буферный раствор (рН = 3,0); элюент В: ацетонитрил – вода (9:1). Продолжительность хроматографического анализа – 45 мин. Из них от 0 до 30 мин проводилось градиентное элюирование в диапазоне 10–50%, затем в течение 15 мин – при концентрации 50%. Для идентификации фенольных соединений использовали вещества-свидетели фирмы Sigma, Aldrich, Fluka (25 соединений (рисунок)).

Результаты исследования и их обсуждение

Градиентный хроматографический анализ проб хвои сосны обыкновенной выявил от 63 до 67 химических соединений (рисунок). Как показали результаты сравнительного попарного анализа влияния аэротехногенного загрязнения от автотранспорта на состав и содержание всех химических соединений в хвое сосны, доминирующей реакцией на этот фактор было снижение их содержания. При этом качественный состав соединений не изменялся. В составе этой подгруппы было 47,17% химических соединений. Возрастание содержания химических соединений отмечалось у 28,3% соединений, нейтральная реакция – у 24,53% (рисунок, таблица).

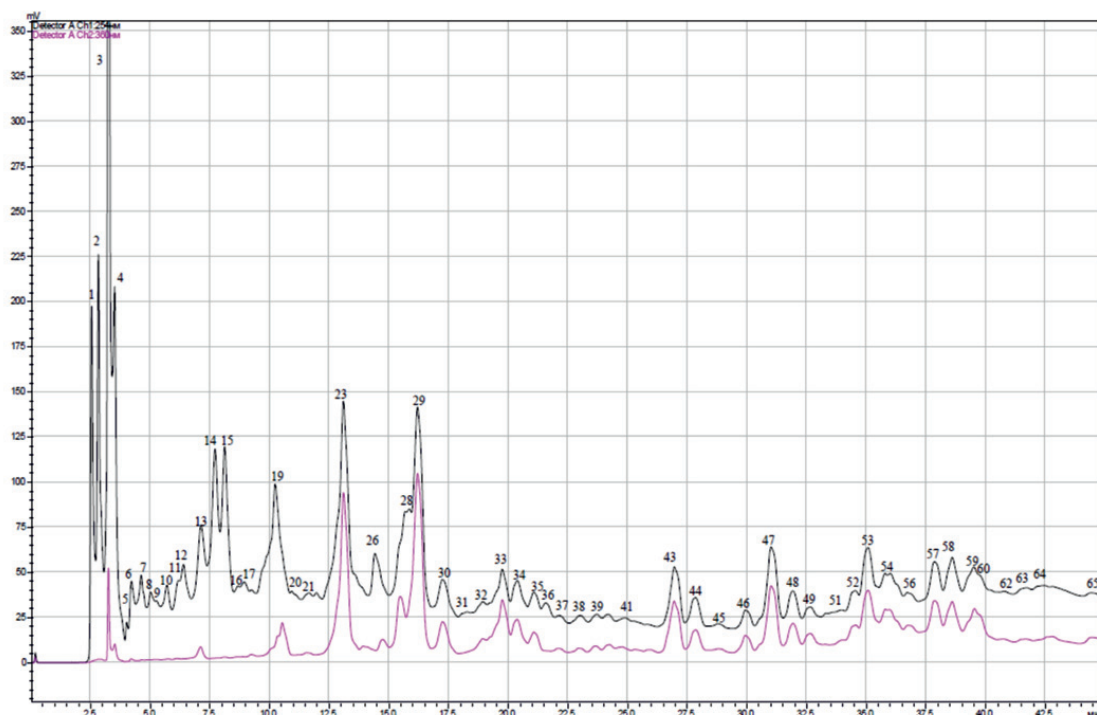
По идентифицированным химическим соединениям нами получены сходные результаты. У 56% химических соединений их содержание также заметно снижается в условиях аэротехногенного загрязнения, по сравнению с контролем, у 32% соединений их содержание возрастает, у 12% – не изменяется (таблица).

Сравнительный анализ идентифицированных химических соединений показал,

что в составе этой группы соединений, содержание которых снижается в условиях аэротехногенного загрязнения, в одинаковом количестве представлены флавоноиды и гидроксикоричные кислоты (по 35,7%). В первой из них были флавоноиды: катехин, гиперозид, феникулин, мирицетин, акацетин. Все они обладают антиоксидантной активностью. Гидроксикоричные кислоты включали: феруловую кислоту, каftarовую кислоту, 3-кофеилхинную кислоту, 5-кофеилхинную кислоту, кофейную кислоту (рисунок, таблица). Следующую подгруппу составляют фенолгликозиды (21,45%): арбутин, салицин, салидрозид. Последнюю подгруппу составляют витамины (7,15%): аскорбиновая кислота. Она, как известно, обладает высокой антиоксидантной активностью [7].

В составе подгруппы идентифицированных химических соединений, содержание которых возрастало в условиях загрязнения, нами было выявлено значительное преобладание флавоноидов (75%). Это рутин, лютеолин, кверцетин, изорамнетин, апигенин, кемпферол. Все эти флавоноиды обладают антиоксидантной активностью. Остальные 25% соединений – органические кислоты (галловая кислота) и фенольные соединения (гидрохинон). Наиболее интенсивное возрастание содержания в условиях аэротехногенного загрязнения из флавоноидов выявлено у апигенина (в 2,45 раза) и кемпферола (в 2,23 раза), у остальных оно также заметно возрастало (в 1,47–1,53 раза). Из других химических соединений наиболее значительно в условиях загрязнения содержание возрастало у гидрохинона (в 2,39 раза) (таблица).

Как показали результаты сравнительного анализа состава химических соединений в условиях интенсивного техногенного загрязнения, у части гидроксикоричных кислот, флавоноидов и всех фенолгликозидов содержание не изменялось. В составе неидентифицированных химических соединений преобладающей реакцией на аэротехногенное воздействие у сосны обыкновенной было также снижение содержания химических соединений (68,97%). В этой подгруппе содержание химических соединений в условиях аэротехногенного воздействия возрастало лишь у пяти соединений, что составляло 17,23% от их общего количества в подгруппе. Отсутствовало статистически достоверное изменение содержания химических соединений у 13,8% (таблица). У отдельных неидентифицированных соединений их изменение содержания было двух-трехкратным.



Градиентная хроматография экстракта хвои сосны обыкновенной. Контроль. По горизонтали: T_r (время удерживания (мин)), по вертикали: абсорбция, mV : 1 – аскорбиновая кислота; 2 – арбутин; 3 – галловая кислота; 5 – кафтаровая кислота; 6 – 3-кофеоилхинная кислота; 7 – салицин; 8 – гидрохинон; 10 – кофейная кислота; 12 – салидрозид; 13 – катехин; 17 – рутин; 19 – 5-кофеоилхинная кислота; 21 – изокверцетин; 22 – феруловая кислота; 23 – гиперозид; 24 – бензойная кислота; 26 – дигидрокверцетин; 28 – феникулин; 30 – мирицетин; 38 – лютеолин; 41 – кверцетин; 44 – изорамнетин; 45 – апигенин; 46 – кемпферол; 62 – акацетин

Влияние аэротехногенного загрязнения на содержание химических соединений
в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.)

Наименование химического соединения	Сосна. Контроль				Сосна. Загрязнение				
	№ пика	T_r	λ ($\frac{S_{360}}{S_{254}}$)	Абсорбция (mV)	T_r	λ ($\frac{S_{360}}{S_{254}}$)	Абсорбция (mV)	T_{St}	P
Аскорбиновая кислота	1	2,51	0,007	$180,0 \pm 25,35$	2,51	0,007	$120,87 \pm 16,6$	2,83	0,05
Арбутин	2	2,89	0,013	$210,5 \pm 9,81$	2,76	0,009	$178,26 \pm 7,01$	3,75	0,05
Галловая к-та	3	3,31	0,18	$286,5 \pm 8,16$	3,23	0,137	$308,26 \pm 8,12$	3,64	0,05
Кафтаровая к-та	5	4,05	0,095	$41,33 \pm 2,83$	4,05	0,095	$27,28 \pm 2,12$	5,62	0,03
3-кофеоилхинная к-та	6	4,25	0,044	$32,69 \pm 1,98$	4,25	0,08	$23,83 \pm 1,55$	4,97	0,038
Салицин	7	4,68	0,024	$44,6 \pm 6,18$	4,55	0,021	$25,48 \pm 2,91$	3,96	0,051
Гидрохинон	8	5,0	0,029	$35,0 \pm 3,53$	5,15	0,0046	$83,74 \pm 11,73$	5,62	0,03
НС*	9	5,25	0,034	$29,35 \pm 1,86$	5,50	0,046	$23,36 \pm 1,48$	4,52	0,05
Кофейная к-та	10	5,75	0,37	$28,16 \pm 2,97$	5,75	0,39	$13,89 \pm 1,27$	6,24	0,024
Салидрозид	12	6,2	0,029	$38,65 \pm 4,38$	6,25	0,236	$18,09 \pm 1,84$	6,11	0,025
НС*		6,45	0,023	$47,5 \pm 3,24$	6,65	0,0109	$36,83 \pm 1,91$	3,95	0,05
Катехин	13	7,12	0,105	$67,85 \pm 8,06$	7,35	0,024	$25,52 \pm 2,54$	7,08	0,019
НС*	14	7,74	0,013	$109,1 \pm 11,59$	7,75	0,03	$57,41 \pm 5,79$	5,64	0,03
НС*	15	8,13	0,013	$110,5 \pm 10,04$	8,21	0,0107	$59,86 \pm 6,08$	6,1	0,025
Рутин	17	9,25	0,103	$29,32 \pm 3,05$	9,28	0,228	$44,76 \pm 5,21$	3,98	0,05
5-Кофеоилхинная к-та	19	10,25	0,44	$62,86 \pm 7,01$	9,81	0,308	$41,66 \pm 4,22$	3,97	0,05
НС*	20	11,0	0,04	$25,0 \pm 2,20$	10,72	0,041	$18,88 \pm 0,82$	3,87	0,051
Изокверцетин**	21	11,75	0,98	$3,47 \pm 0,24$	11,71	0,77	$3,13 \pm 0,19$	1,54	0,26

Окончание таблицы									
Наименование химического соединения	Сосна. Контроль				Сосна. Загрязнение				
	№ пика	T _г	λ ($\frac{S_{360}}{S_{254}}$)	Абсорбция (mv)	T _г	λ ($\frac{S_{360}}{S_{254}}$)	Абсорбция (mv)	T _{st}	P
Феруловая к-та	22	11,99	0,209	22,60 ± 2,82	11,77	0,21	13,67 ± 1,41	3,99	0,05
Гиперозид	23	13,0	0,717	109,18 ± 12,86	12,56	0,671	63,27 ± 7,35	4,38	0,048
Бензойная к-та**	24	13,55	0,194	31,0 ± 2,26	13,0	0,09	27,69 ± 1,97	1,55	0,25
Дигидрокверцетин**	26	14,5	0,421	24,5 ± 1,55	14,28	0,411	22,38 ± 1,27	1,49	0,27
Феникулин	28	15,75	0,525	51,59 ± 5,65	15,07	0,835	33,22 ± 1,69	4,39	0,047
НС*	29	16,25	0,838	118,95 ± 10,18	15,77	0,680	74,78 ± 5,79	5,32	0,033
Мирицетин	30	17,3	0,914	21,73 ± 2,40	16,87	0,89	11,19 ± 1,13	5,60	0,03
НС*	33	18,32	0,323	3,25 ± 0,424	18,56	0,324	9,72 ± 1,273	6,82	0,021
НС**	34	19,0	1,018	8,5 ± 0,56	19,0	0,925	8,67 ± 0,57	0,30	0,79
НС**	35	19,8	1,11	27,0 ± 1,98	19,5	0,925	23,43 ± 1,56	2,00	0,18
НС**	36	20,48	0,905	21,0 ± 2,83	20,12	0,767	20,98 ± 2,69	0,07	0,99
НС*		21,11	0,755	15,7 ± 1,69	20,88	0,617	8,39 ± 0,84	5,45	0,032
НС*	37	21,62	0,20	10,0 ± 1,13	21,5	0,176	5,94 ± 0,565	4,54	0,045
Лютеолин	38	23,0	0,724	3,8 ± 0,282	22,85	0,525	5,59 ± 0,233	6,38	0,023
НС*	39	23,25	0,545	5,5 ± 0,495	23,46	0,428	10,14 ± 0,91	6,29	0,024
НС**	40	24,21	1,05	5,25 ± 0,424	24,21	1,05	5,43 ± 0,422	0,42	0,712
Кверцетин	41	24,9	0,92	4,17 ± 0,354	24,7	0,82	6,39 ± 0,438	5,57	0,03
НС*	43	27,0	0,872	32,75 ± 0,42	26,85	0,814	50,69 ± 6,15	3,96	0,05
Изорамнетин	44	27,9	0,768	15,87 ± 1,66	27,73	0,75	24,33 ± 2,14	3,98	0,05
Апигенин	45	28,8	0,80	2,5 ± 0,212	28,75	0,82	6,137 ± 0,56	8,51	0,013
Кемпферол	46	30,0	0,878	10,25 ± 0,15	29,85	0,857	22,83 ± 0,32	8,51	0,0004
НС*	48	31,0	0,828	43,5 ± 2,16	30,87	0,823	34,42 ± 1,85	3,89	0,05
НС*	49	31,95	0,857	17,5 ± 1,34	31,9	0,80	12,88 ± 0,82	3,97	0,05
НС**	51	32,65	0,983	9,0 ± 0,565	32,51	0,821	10,3 ± 0,636	2,15	0,163
НС*	53	34,0	1,00	5,75 ± 0,705	33,9	0,37	9,61 ± 1,13	0,05	4,09
НС**		34,61	0,83	15,5 ± 1,13	34,49	0,45	16,95 ± 1,27	1,20	0,35
НС**	54	35,11	0,818	39,0 ± 3,535	35,0	0,683	43,004 ± 3,8	1,08	0,390
НС*		35,81	0,898	24,5 ± 2,121	35,91	0,75	35,62 ± 2,82	4,44	0,047
НС**		36,13	0,892	23,55 ± 2,82	36,25	0,674	22,92 ± 2,54	0,23	0,836
НС**	55	36,75	0,991	11,6 ± 1,131	36,75	0,705	9,61 ± 0,988	1,87	0,202
НС*	56	38,0	0,849	29,8 ± 2,828	38,7	0,756	109,0 ± 9,89	10,8	0,008
НС*	57	39,62	0,9	24,0 ± 2,828	39,42	0,707	60,09 ± 7,07	6,68	0,021
НС**	59	40,81	0,355	8,6 ± 0,848	40,85	0,888	10,73 ± 1,13	2,13	0,166
Акацетин	62	42,5	0,351	10,4 ± 0,848	42,75	0,988	6,87 ± 0,565	4,89	0,0392
НС*	63	44,5	0,85	5,0 ± 0,424	44,5	1,05	3,35 ± 0,283	4,57	0,0445

Примечание: НС* – неидентифицированное химическое соединение, НС** – различия статистически недостоверны.

Таким образом, в целом реакция разных химических соединений в клетках хвои сосны в условиях аэротехногенного загрязнения была различной. Доминирующей реакцией было снижение содержания этих соединений. Это противоречит полученным нами ранее результатам исследования [14]. Это может быть обусловлено тем, что в год предыдущего исследования наблюдалось воздействие фактора абиотического стресса (майской засухи), которая могла повлиять на реакцию химических соединений в хвое сосны, так и тем, что в данном исследовании коли-

чество идентифицированных химических соединений было значительно больше, чем в предыдущем. Кроме того, важным фактором, результатов экспериментов ряда других авторов, было исследование содержания фенольных соединений вблизи крупных промышленных предприятий, продуцирующих значительное количество аэротехногенных выбросов (особенно соединений серы, негативно влияющих на хвойные древесные растения), а не аэротехногенных выбросов автотранспорта, где эти соединения почти отсутствуют, что и повлияло на характер реакции феноль-

ных соединений в хвое. Кроме того, анализ уровня, типа и характера реакций различных растений на содержание свинца в почве показал, что у разных групп растений существуют разные стратегии отношения к воздействию этого фактора и разные уровни, характер и направление реакций полифенолов [15]. Учитывая это, сравнение реакций фенольных соединений у разных по стратегии отклика групп растений, вероятно, не всегда целесообразно.

Выводы

1. В целом результаты показали, что аэротехногенное загрязнение вызывает разнонаправленные реакции низкомолекулярных химических соединений в клетках хвои сосны обыкновенной, но преобладает реакция снижения содержания химических соединений в хвое.

2. У флавоноидов доминирующей реакцией в хвое сосны обыкновенной в условиях аэротехногенного загрязнения вблизи автомагистралей является возрастание их содержания (у 75%). Это, очевидно, обусловлено высоким уровнем антиоксидантной активности флавоноидов и уровнем стрессовой реакции на воздействие факторов среды, а также – сформировавшимся в динамике эволюции вида уровнем, типом и характером реакции на стресс.

3. Идентифицированы флавоноиды с наиболее высоким уровнем антиоксидантной активности.

4. Учитывая то, что одним из основных негативных последствий аккумуляции клетками хвои сосны обыкновенной химических компонентов загрязнения является окислительный стресс, а главным фактором снижения отрицательных последствий – активизация клеточной биохимической системы антиоксидантной защиты, включающей и фенольные соединения, можно предполагать, что их вклад в борьбу с антиоксидантным стрессом является существенным, особенно у флавоноидов. Это служит важным компонентом механизма биохимической адаптации сосны обыкновенной к аэротехногенному загрязнению в условиях урбанизации.

Список литературы / References

1. Гурьев Г.А., Тутыгин Г.С. Оценка загрязнённости придорожной полосы автомобильных дорог // Экологические проблемы Европейского Севера: сборник научных трудов. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. С. 90–96.
2. Гурьев Г.А., Тутыгин Г.С. Assessment of roadside roadside pollution // *Ekologicheskiye problemy Yevropeyskogo Severa: sbornik nauchnykh trudov*. Yekaterinburg: Izd-vo UrO RAN, 1996. P. 90–96 (in Russian).
3. Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжёлые металлы и растения. Петрозаводск, 2014. 194 с.
4. Titov A.F., Kaznina N.M., Talanova V.V. Heavy Metals and Plants. Petrozavodsk, 2014. 194 p. (in Russian).
5. Залесов С.В., Колтунов Е.В. Содержание тяжёлых металлов в почвах лесопарков г. Екатеринбурга // *Аграрный вестник Урала*. 2009. № 6 (60). С. 71–72.
6. Zalesov S.V., Koltunov E.V. The maintenance of heavy metals in soil of city forest parks of ekaterinburg // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2009. № 6 (60). P. 71–72 (in Russian).
7. Безуглая Э.Ю., Завадская Е.К., Ивлева Т.П., Смирнова И.В., Воробьева И.А. Качество воздуха в крупнейших городах России за десять лет 1998–2007 гг. М.: Росгидромет, 2009. 133 с.
8. Bezuglaya E.U., Zavadskaya E.K., Ivleva T.P., Smirnova I.V., Vorobyeva I.A. Air quality in the largest cities of Russia for ten years 1998–2007. M.: Roshydromet, 2009. 133 p. (in Russian).
9. Иванова Е.Ю. Оценка состояния атмосферного воздуха города Нововоронежа биологическими методами // *Вестник ВГУ. Серия: География, геоэкология*. 2013. № 1. С. 157–162.
10. Ivanova E.Yu. Assessment of the state of atmospheric air of the city of Novovoronezh by biological methods // *Vestnik VGU. Seriya: Geografiya, geoekologiya*. 2013. № 1. P. 157–162 (in Russian).
11. Луговская А.Ю., Храмова Е.П., Трубина Л.К. Оценка влияния транспортно-промышленного загрязнения на морфологические и биохимические показатели *Potentilla Fruticosa* (Rosaceae) // *Растительный мир Азиатской России*. 2014. № 1 (13). С. 71–76.
12. Lugovskaya A.Yu., Khramova E.P., Trubina L.K. Assessment of the impact of transport pollution on the morphological and biochemical parameters *Potentilla Fruticosa* (Rosaceae) // *Plant Life of Asian Russia*. 2014. № 1 (13). P. 71–76 (in Russian).
13. Запрометов М.Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях. М.: Наука, 1993. 272 с.
14. Zaprometov M.N. Phenolic compounds: distribution, metabolism and function in plants. M.: Nauka, 1993. 272 p. (in Russian).
15. Щербakov А.В. Особенности состава флавоноидов популяций растений как проявление адаптаций в геохимических условиях южного Зауралья: дис. ... докт. биол. наук. Оренбург, 2014. 288 с.
16. Shcherbakov A.V. Features of the composition of flavonoids of plant populations as a manifestation of adaptations in the geochemical conditions of the southern Trans-Urals: dis. ... dokt. biol. nauk. Orenburg, 2014. 288 p. (in Russian).
17. Гарифзянов А.Р., Ермакова И.А., Пантюхин Ю.О., Иванищев В.В. Окислительный стресс и уровень антиоксидантных ферментов в органах × TRITICOSECALE при действии кадмия // *Фундаментальные исследования*. 2012. № 4–1. С. 190–195.
18. Garifzyanov A.R., Ermakova I.A., Pantyukhin Yu.O., Ivanishchev V.V. Oxidative stress and the level of antioxidant enzymes in organs × TRITICOSECALE under the action of cadmium // *Fundamental research*. 2012. № 4–1. P. 190–195 (in Russian).
19. Blokhina O., Virolainen E., Fagerstedt K.V. Antioxidants, Oxidative Damage and Oxygen Deprivation Stress: a Review. *Annals of Botany*. 2003. V. 91. P. 179–194. DOI: 10.1093/aob/mcf118.
20. Иванов Ю.В., Савочкин Ю.В., Кузнецов В.В., Сосна обыкновенная как модельный объект для изучения механизмов адаптации хвойных к действию тяжёлых металлов. 2. Функционирование антиоксидантных ферментов в сеянцах сосны в условиях хронического действия цинка // *Физиология растений*. 2012. Т. 59. № 1. С. 57–66.
21. Ivanov Y.V., Savochkin Y.V., Kuznetsov V.V. Scots pine as a model plant for studying the mechanisms of conifers adaptation to heavy metal action: 2. Functioning of antioxidant

enzymes in pine seedlings under chronic zinc action // Russian Journal of Plant Physiology. 2012. V. 59. № 1. P. 50–58. DOI: 10.1134/S1021443712010098.

12. Gill S.S., Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiol. Biochem. 2010. V. 48. P. 909–930.

13. Плаксина И.В., Судачкова Н.Е., Романова Л.И., Милутина И.Л. Сезонная динамика фенольных соединений в лубе и хвое сосны обыкновенной и кедра сибирского в посадках различной густоты // Химия растительного сырья. 2009. № 1. С. 103–108.

Plaksina I.V., Sudachkova N.E., Romanova L.I., Milyutina I.L. Phenolic compounds seasonal dynamics in pinus sylvestris l. And pinus sibirica du tour inner bark and needles at different planting densities // Khimija Rastitel'nogo Syr'ja. 2009. № 1. P. 103–108 (in Russian).

14. Шавнин С.А., Колтунов Е.В., Яковлева М.И. Влияние урбанизации на состав и содержание фенольных соединений в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) //

Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=17151> (дата обращения: 12.07.2019).

Shavnin S.A., Koltunov E.V., Yakovleva M.I. Influence of urbanization on the composition and content of phenolic compounds in the needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // Modern problems of science and education. 2014. № 6. [Electronic resource]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=17151> (date of access: 12.07.2019) (in Russian).

15. Масленников П.В., Чупахина Г.Н., Скрыпник Л.Н., Федурев П.В., Мельник А.С. Оценка антиоксидантного потенциала растений урбоэкосистем в условиях антропогенного загрязнения почв // Экология. 2018. № 5. С. 342–355. DOI: 10.1134/S0367059718050062.

Maslennikov P.V., Chupakhina G.N., Skrypnik L.N., Feduraev P.V., Melnik A.S. Assessment of the Antioxidant Potential of Plants in Urban Ecosystems under Conditions of Anthropogenic Pollution of Soils // Russian Journal of Ecology. 2018. T. 49. № 5. P. 384–394. DOI: 10.1134/S1067413618050065.

УДК 635.21:631.53.01:58.085

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ СТЕРИЛИЗАЦИИ ЭКСПЛАНТОВ КАРТОФЕЛЯ ПРИ МИКРОКЛОНАЛЬНОМ РАЗМНОЖЕНИИ

Лебедь М.Б., Берестнева Ю.В., Волков И.В., Бикметова К.Р., Лебедь Н.И.

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного
лесоразведения» Российской академии наук, Волгоград, e-mail: info@vifanc.ru

Авторами приведены результаты исследования влияния различных стерилизующих агентов, а также времени их обработки на жизнеспособность растительных эксплантов при микроклональном размножении картофеля сортов Импала и Ред Скарлетт. Исследования проводились на базе лаборатории биотехнологий ФНЦ агроэкологии РАН, а также ФГАОУ ВО ВолГУ. Исходным материалом являлись этилированные ростки, полученные путем проращивания предварительно обработанных клубней картофеля в контролируемых условиях. Использованы такие стерилизующие агенты, как перексид водорода, перманганат калия, этанол, в совокупности с перексидом водорода, а также разбавленный раствор коммерческого препарата «Белизна» (активное вещество – гипохлорит натрия). Этилированные ростки в условиях бокса биологической безопасности БМБ-II «Ламинар-С» NEOTERIC после химической стерилизации промывали в трех порциях стерильной дистиллированной воды. Экспланты, прошедшие стерилизацию, помещали в пробирки на питательную среду, приготовленную по прописи Мурасиге-Скуга, с добавлением регуляторов роста в количестве: 6-бензиламинопурин (6-БАП) – 1 мг/л, β -индолил-3-масляная кислота (ИМК) – 0,5 мг/л. Проанализировано влияние рассматриваемых веществ, а также времени их обработки на жизнеспособность эксплантов и их контаминацию. Кроме этого, было исследовано влияние антибиотика «Цефотаксим» на бактериальную контаминацию эксплантов при использовании тех же способов химической стерилизации. Установлено, что наилучшим режимом деконтаминации из рассмотренных способов является добавление в питательную среду антибиотика «Цефотаксим» в концентрации 350 мг/л с последующей обработкой 2,5 % раствором коммерческого препарата «Белизна» в течение 30 мин, обеспечивающим высокий выход стерильных жизнеспособных эксплантов (80 %).

Ключевые слова: микроклональное размножение, *in vitro*, стерилизация эксплантов, введение в культуру, картофель

STUDY OF VARIOUS METHODS EFFICIENCY FOR STERILIZING POTATO EXPLANTS AT MICROCLONAL REPRODUCTION

Lebed M.B., Berestneva Yu.V., Volkov I.V., Bikmetova K.R., Lebed N.I.

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center for Agroecology,
Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences»,
Volgograd, e-mail: info@vifanc.ru

The authors present the study results of the effect of various sterilizing agents, as well as their processing time on the plant explants viability during microclonal propagation of potato varieties Impala and Red Scarlett. The studies were carried out in the biotechnological laboratory of the Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences», as well as the Volgograd State University. Etiolated seedlings obtained by pre-treated potato tubers germinating under controlled conditions were used as starting material. Hydrogen peroxide, potassium permanganate, ethanol in combination with hydrogen peroxide, as well as diluted solution of the commercial preparation «Belizna» (active ingredient is sodium hypochlorite) were selected as sterilizing agents. Etiolated seedlings after chemical sterilization were washed in three portions of sterile distilled water under the conditions of the biological safety cabinet BMB-II Laminar-S NEOTERIC. The sterilized explants were placed in test tubes on Murasige-Skoog nutrient medium with addition of growth regulators – 6-benzylaminopurine (6-BAP) (1 mg/l), β -indole-3-butyric acid (IBA) (0.5 mg/l). The effect of the growth regulators, as well as the time of seedlings processing on the viability of explants and their contamination was analyzed. In addition, the Cefotaxime antibiotic effect on the explants bacterial contamination under using the same chemical sterilization methods was investigated. It was established that the addition of the Cefotaxime antibiotic in concentration of 350 mg/l to the nutrient medium with subsequent treatment with 2.5 % solution of the commercial preparation «Belizna» for 30 minutes, was the best decontamination regimen of the considered methods, which provided a high yield of sterile viable explants (80 %).

Keywords: microclonal propagation, *in vitro*, explants sterilization, introduction to culture, potato

Картофель имеет большое значение в решении глобальной продовольственной проблемы, являясь важнейшей продовольственной культурой. Большое внимание уделяется оздоровлению семенного картофеля от вирусных болезней, снижающих урожайность культуры. Основным направ-

лением получения оздоровленного посадочного материала является микроклональное размножение [1, 2], преимуществами которого также являются возможность получать высококачественный семенной картофель в условиях лаборатории круглый год в гораздо больших объемах. В настоящее время

в литературе имеются данные по микроклональному размножению картофеля [3], однако поиск эффективного способа стерилизации эксплантов всё ещё ведётся. Соблюдение условий стерильности в процессе микроклонального размножения культур, в том числе картофеля, является важнейшим фактором его успешного проведения. Растения обладают высокой восприимчивостью к микроорганизмам, подавляющим их рост, и не способны сопротивляться инфекциям. А поскольку питательная среда [4], на которой выращиваются экспланты, является идеальной средой для роста микроорганизмов, необходимо не только исключить возможность контаминации из внешней среды, но и обеспечить эффективную стерилизацию растительного материала, так как на его поверхности и внутри тканей почти всегда присутствует посторонняя микрофлора. Для этих целей применяют широкий спектр химических препаратов, однако стерилизующие агенты очень видоспецифичны и их выбор зависит от множества факторов: размер экспланта, наличие кожуры, плотность покровных тканей и др. Необходимо подобрать такие способы и режимы обработки экспланта, которые бы обеспечили его полную стерилизацию, не повредив при этом клеток и тканей растения. Целесообразно выбирать препараты, обладающие не только бактерицидной, но и фунгицидной, а также спороцидной активностью, что увеличивает эффективность стерилизации.

Цель исследования: подбор стерилизующего агента, а также оптимизация режимов стерилизации растительного материала (эксплантов картофеля сортов Импала и Ред Скарлетт).

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории биотехнологий ФНЦ агроэкологии РАН, а также в ФГАОУ ВО ВолГУ. Для проведения исследований были выбраны районированные и рекомендованные для выращивания в Волгоградской области сорта картофеля Импала и Ред Скарлетт, имеющие высокое продовольственное значение, благодаря низкому количеству в мякоти редуцирующих сахаров, что необходимо для производства чипсов и фри-продукции.

Целями данного исследования являлись подбор стерилизующего агента, а также оптимизация режимов стерилизации растительного материала по плану исследования, представленному в табл. 1. В качестве

первичных эксплантов использовали этиолированные ростки картофеля изучаемых сортов. Для получения этиолированных проростков клубни картофеля тщательно промывали под проточной водой, удаляя поверхностные загрязнения мыльным раствором. Затем клубни обрабатывали слабым раствором перманганата калия в течение 20 мин, помещали в картонные коробки с перфорацией, дно которых было выстлано влажной фильтровальной бумагой, и проращивали при 25 °С в течение 7–14 дней.

Таблица 1
Исследуемые способы и режимы стерилизации эксплантов

Стерилизующий агент	Содержание активного вещества	Время выдержки
«Белизна»	3%	10 мин
		20 мин
	2,5%	20 мин
		30 мин
Этанол + перексид водорода	95% (C ₂ H ₅ OH), 3% (H ₂ O ₂)	15 с (C ₂ H ₅ OH), 15 мин (H ₂ O ₂)
		15 с (C ₂ H ₅ OH), 20 мин (H ₂ O ₂)
Пероксид водорода	3%	20 мин
		30 мин
Перманганат калия	10%	30 с
		60 с

От проросшего картофеля отламывали ростки длиной 2...4 см, промывали под проточной водой с использованием хозяйственного мыла в течение 10 мин, освобождая материал от огрубевших наружных тканей и загрязнений, затем проводили химическую стерилизацию погружением в следующие агенты: 2,5...3% раствор коммерческого препарата «Белизна» – 10...30 мин; 3% перексид водорода – 15 и 20 мин с предварительным погружением в 95%-ный этанол на 15 с; 3% перексид водорода – 20 и 30 мин; 10% раствор перманганата калия – 30 и 60 с.

Далее, в условиях бокса биологической безопасности БМБ-II «Ламинар-С» NEOTERIC растительный материал промывали в трех порциях стерильной дистиллированной воды. Экспланты, прошедшие стерилизацию, помещали в пробирки на питательную среду, приготовленную по прописи Мурасиге-Скуга, с добавлением регуляторов роста в количестве: 6-бензиламинопурин (6-БАП) – 1 мг/л, β-индолил-3-масляная кислота (ИМК) – 0,5 мг/л. По окончании процесса пробирки с эксплан-

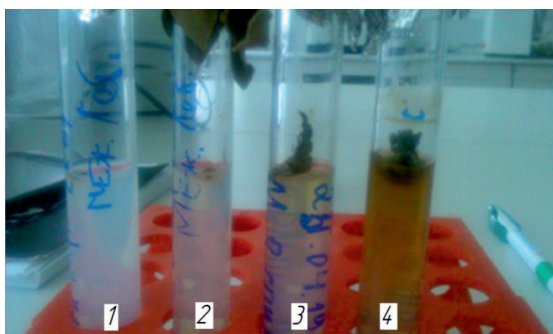
тами размещали на полках климатической установки (КС-200) лаборатории биотехнологий ФГАОУ ВО ВолГУ, работающей в следующем режиме: освещенность – 3000 лк, температура +25 °С, относительная влажность воздуха – 70 %.

Работа в условиях ламинар-бокса, а также приготовление и автоклавирование питательных сред, подготовка посуды, обработка помещения, стерилизация посуды и инструментов проводились согласно общепринятым стандартам и методикам работы в асептических условиях [5]. Параллельно проводилась проверка стерильности условий проведения опыта: пробирку с питательной средой выдерживали в термостате при температуре 37 °С в течение 48 ч. Учет количества асептических жизнеспособных, асептических нежизнеспособных, инфицированных растений проводился ежедневно на протяжении 14 дней.

Все эксперименты по определению эффективности влияния способа стерилизации эксплантов проводили в 100-кратной повторности. Статистический анализ проводили по общепринятым методикам [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка состояния исследуемых растений проводилась в течение двух недель со дня начала эксперимента посредством визуального осмотра. Для наглядного представления полученных результатов были отобраны 4 пробирки, внешний вид которых представлен на рисунке.



Общий вид эксплантов на 7 день культивирования:

- 1 – стерильный жизнеспособный эксплант, признаки заражения отсутствуют;*
- 2 – стерильный нежизнеспособный эксплант, отмечено отмирание внешних тканей;*
- 3 – нежизнеспособный эксплант с признаками бактериальной инфекции;*
- 4 – нежизнеспособный эксплант, присутствует бактериальная и грибковая инфекция, фенольное окисление питательной среды*

Стерильные жизнеспособные экспланты отличались отсутствием признаков грибковых и бактериальных инфекций, а также активным ростом. Большинство таких образцов было получено при стерилизации раствором «Белизна» с концентрацией активного вещества (гипохлорит натрия) 2,5 % в течение 30 мин. Стерильные нежизнеспособные экспланты также характеризовались отсутствием контаминации, однако ткани такого образца приобретали темно-коричневый цвет уже на вторые сутки культивирования, рост останавливался, эксплант утрачивал жизнеспособность. Остальная часть образцов была контаминирована бактериями и грибами, изначально присутствовавшими в тканях экспланта ввиду недостаточно эффективной стерилизации. Грибковые и бактериальные культуры очень быстро подавляли рост экспланта, растение не могло справиться с инфекцией самостоятельно.

Стерильность условий проведения эксперимента была подтверждена экспериментально – при термостатировании пробы с питательной средой роста микроорганизмов обнаружено не было. В целом нами не установлено существенного влияния сорта картофеля на эффективность стерилизации эксплантов.

Учетным методом было подсчитано количество стерильных и инфицированных растений, а также тех эксплантов, что утратили жизнеспособность в результате химического ожога стерилизирующим агентом. Результаты исследования приведены в табл. 2.

Наиболее мягким, но при этом эффективным способом стерилизации из рассматриваемых оказалось погружение в раствор «Белизна» с концентрацией активного вещества (гипохлорит натрия) 2,5 % на 30 мин, при этом доля асептических жизнеспособных эксплантов составляет 70 %, в то время как применение Белизны с большей концентрацией активного вещества (3 %) в течение 20 мин характеризуется меньшим процентом выживаемости растений – 65 % и отмиранием части эксплантов, что связано с гибелью растительных клеток под воздействием гипохлорита натрия.

Таким образом, применяя раствор коммерческого препарата «Белизна», целесообразно стремиться к снижению концентрации раствора, компенсируя это увеличением продолжительности стерилизации.

Ещё одним перспективным, на наш взгляд, способом было применение двух-

ступенчатой стерилизации – погружение в 3 % раствор пероксида водорода с предварительной обработкой 95 % этанолом в течение 15 с. Время выдержки в перексиде водорода варьировалось от 15 до 20 мин ввиду малой токсичности вещества для растений и его быстрого разложения при последующем промывании дистиллированной водой. Однако процент выживаемости культур оказался очень низким: экспланты приобретали темно-коричневый цвет, останавливался их рост, на третьи сутки по-

сле культивирования появлялись признаки грибковой инфекции.

Стерилизация материала исключительно перексидом водорода по результатам исследования не отличается высокой эффективностью – 80 % эксплантов оказались инфицированы грибковыми культурами. При этом отсутствуют признаки отмирания тканей, что характеризует данный стерилизующий агент как щадящий и даёт перспективу его использования в совокупности с другими препаратами.

Таблица 2

Зависимость жизнеспособности и стерильности растений от способа стерилизации

Способ стерилизации		Количество растений, % ($\bar{X} \pm m$)		
Стерилизующий агент/концентрация активного вещества	Время	асептических, жизнеспособных	асептических, нежизнеспособных	инфицированных
«Белизна» / 3 %	10 мин	56 ± 5,2	19 ± 2,3	25 ± 4,8
	20 мин	36 ± 1,9	44 ± 4,9	20 ± 2,5
«Белизна» / 2,5 %	20 мин	65 ± 8,6	5 ± 2,9	30 ± 7,6
	30 мин	70 ± 5	0	30 ± 4,7
Спирт этиловый / 95 % + перексид водорода / 3 %	15 с (C ₂ H ₅ OH), 15 мин (H ₂ O ₂)	31 ± 3,8	45 ± 7,9	24 ± 9
	15 с (C ₂ H ₅ OH), 20 мин (H ₂ O ₂)	34 ± 4,8	43 ± 5,2	23 ± 7,1
Перексид водорода / 3 %	30 мин	20 ± 2,6	0	80 ± 8,4
Перманганат калия / 10 %	30 с	8 ± 5,7	0	92 ± 3,8

Примечание. Достоверно для 95 %-ного уровня вероятности. * $\bar{X}$ – средняя арифметическая, ** m – ошибка средней арифметической.

Таблица 3

Оценка жизнеспособности и стерильности растений в зависимости от способа стерилизации с использованием цефотаксима (ЦФ)

Способ стерилизации			Количество растений, % ($\bar{X} \pm m$)		
Стерилизующий агент/концентрация активного вещества	C _{ЦФ} , мг/л	Время	асептических, жизнеспособных	асептических, нежизнеспособных	инфицированных
«Белизна» / 3 %	350	10 мин	69 ± 5,9	16 ± 4,8	15 ± 2,9
		20 мин	40 ± 7	43 ± 5,7	17 ± 8
«Белизна» / 2,5 %	350	20 мин	65 ± 4,7	4 ± 2,9	31 ± 3,8
		30 мин	80 ± 8,2	0	20 ± 5,8
Спирт этиловый / 95 % + перексид водорода / 3 %	350	15 с (C ₂ H ₅ OH), 15 мин (H ₂ O ₂)	34 ± 4,6	43 ± 6,8	23 ± 6,4
		15 с (C ₂ H ₅ OH), 20 мин (H ₂ O ₂)	38 ± 2,6	42 ± 5,9	20 ± 4,9
Перексид водорода / 3 %	350	30 мин	24 ± 1,9	0	76 ± 5,9
Перманганат калия / 10 %	350	30 с	11 ± 4,8	0	89 ± 6,7

Примечание. Достоверно для 95 %-ного уровня вероятности. * $\bar{X}$ – средняя арифметическая, ** m – ошибка средней арифметической.

Обработка эксплантов перманганатом калия не привела к успешному результату, эффективность данного способа в рамках нашего исследования крайне мала, доля инфицированных растений составила 92 %, имеет место фенольное окисление питательной среды. При этом стоит отметить необходимость использования большого объема стерильной воды для промывания растительного материала от раствора перманганата калия, что неудобно в условиях ограниченной площади бокса микробиологической безопасности. Ввиду большого процента инфицированных растений было принято решение продолжить эксперимент с использованием дополнительной хемотерапии.

На втором этапе эксперимента для снижения бактериальной контаминации эксплантов предварительно в среду добавляли антибиотик цефотаксим в концентрации 250 мг/л. Выбор данного антибиотика был обусловлен отсутствием данных в научной литературе о влиянии цефотаксима на эффективность стерилизации растений *in vitro*. За основу была взята концентрация 350 мг/л, которая освещается в научной литературе как наиболее подходящая при сильном инфицировании растений [5]. Для этого в асептических условиях бокса в флакон с антибиотиком шприцом вводили стерильную дистиллированную воду, разводили до требуемой концентрации и добавляли антибиотик в колбу с питательной средой после автоклавирования, затем разливали среду по стерильным пробиркам. Для стерилизации эксплантов использовали те же стерилизующие агенты, что и на первом этапе эксперимента. Полученные результаты представлены в табл. 3.

Установлено, что добавление в питательную среду антибиотика «Цефотаксим» в концентрации 350 мг/л дает положительный эффект: наилучший результат зафиксирован при стерилизации эксплантов Белизной 2,5 % в течение 30 мин. При этом количество стерильных живых растений возросло на 10 %, а при использовании Белизны 3 % в течение 10 мин – на 13 %. На эффективность стерилизации с помощью спирта, пероксида водорода и перманганата калия добавление антибиотика не оказало существенного влияния – процент инфицированных растений остался практически на том же уровне (в среднем – 3 % для перманганата калия, 4 % – для пероксида водорода, 3,5 % – для двухступенчатой стерилизации с помощью этанола и пероксида водорода).

Заключение

В настоящем исследовании применение раствора коммерческого препарата «Белизна» с концентрацией активного вещества (гипохлорит натрия) 2,5 % продолжительностью выдержки 30 мин обеспечивает высокую эффективность при стерилизации эксплантов картофеля, что выражается высоким выходом жизнеспособных растений (до 80 %). Добавление в питательную среду антибиотика «Цефотаксим» в концентрации 350 мг/л оказывает положительное влияние и увеличивает процент стерильных жизнеспособных растений на 3...13 %, что является целесообразным. Осуществление данного способа стерилизации не требует значительных затрат времени, энергии и материальных средств, что позволяет его эффективно использовать при микроклональном размножении картофеля.

Список литературы / References

1. Милехин А.В., Рубцов С.Л., Бакунов А.Л., Дмитриева Н.Н., Вовчук О.А. Перспективы использования биотехнологических установок в безвирусном семеноводстве картофеля в Среднем Поволжье // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16. № 5(3). С. 1184–1191.
2. Милехин А.В., Рубцов С.Л., Бакунов А.Л., Дмитриева Н.Н., Вовчук О.А. Perspectives of Using of Biotech Installations in Virus-Free Potato Seed Production in the Middle Volga Region // Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2014. V. 16. № 5(3). P. 1184–1191 (in Russian).
3. Рубцов С.Л., Милехин А.В., Шевченко С.Н., Бакунов А.Л., Дмитриева Н.Н. Методика микроклонального размножения и производство оздоровленных миниклубней в оригинальном семеноводстве картофеля в условиях высокой инфекционной нагрузки Самарской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 2(4). С. 650–658.
4. Rubtsov S.L., Milekhin A.V., Shevchenko S.N., Bakunov A.L., Dmitrieva N.N. Methods of microclonal reproduction and production of healthy miniclub in the original seed-growing of potatoes in conditions of high infectious load of the Samara region // Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2017. V. 19. № 2 (4). P. 650–658 (in Russian).
5. Кушнаренко С.В., Ромаданова Н.В., Аралбаева М.М., Матакова Г.Н., Бекебаева М.О., Бабисекова Д.И. Создание коллекции *in vitro* сортов и гибридов картофеля как исходного материала для криоконсервации // Биотехнология. Теория и практика. 2013. № 1. С. 28–33.
6. Kushnarenko S.V., Romadanova N.V., Aralbaeva M.M., Matakova G.N., Bekebaeva M.O., Babisekova D.I. Creating a collection of *in vitro* varieties and hybrids of potatoes as a starting material for cryopreservation // Biotechnology. Theory and practice. 2013. № 1. P. 28–33 (in Russian).
7. Калинин Ф.Л., Сарнацкая В.В., Полищук В.Е. Методы культуры тканей в физиологии и биохимии растений. Киев: Наукова думка, 1980. 488 с.
8. Kalinin F.L., Sarnatskaya V.V., Polishchuk V.E. Methods of tissue culture in the physiology and biochemistry of plants. Kiev: Naukova Dumka, 1980. 488 p. (in Russian).
9. Дорошенко Н.П. Антибиотики при клональном микропомножении винограда // Плодоводство и виноградарство юга России. 2016. № 37 (1). С. 126–143.
10. Doroshenko N.P. Antibiotics for clonal micropropagation of grapes // Fruit growing and viticulture in the south of Russia. 2016. № 37 (1). P. 126–143 (in Russian).
11. Лакин Г.Ф. Биометрия: Учебное пособие для биол. спец. вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во Высш. Школа, 1990. 352 с.
12. Lakin G.F. Biometrics: A study guide for biol. specialist. universities. 4-th ed., Pererab. and add. M.: Izd-vo Vyssh. Shkola, 1990. 352 p. (in Russian).

УДК 630*232.1

ЭКОЛОГО-ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СУБТРОПИЧЕСКИХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ИСКУССТВЕННЫХ СУХОСТЕПНЫХ НАСАЖДЕНИЙ МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Свинцов И.П., Хужахметова А.Ш., Семенютина В.А., Семенютина А.В.

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения» Российской академии наук, Волгоград, e-mail: vnialmi@yandex.ru

Одним из важнейших направлений биологической науки является разработка теоретических основ целесообразного использования природных растительных ресурсов, отличающихся разнообразием. Обогащением видового состава искусственных насаждений в засушливых условиях достигается их multifunctionality и повышение биоресурсного потенциала земель сельскохозяйственного и несельскохозяйственного назначения. Актуальность этих вопросов в связи с глобальными изменениями климата особенно возрастает на малолесных территориях. Цель исследований – определить эколого-хозяйственный потенциал субтропических растений (на примере унаби – *Zizyphus jujuba*, фундука – *Corylus pontica*) для обогащения деградированных ландшафтов сухостепного региона. Использованы морфологические, эколого-физиологические, биохимические методы исследований и современное оборудование (кондуктомер S230Kit, устройство Dualox Scientific, климатическая камера КХТВ-0.22). На примере субтропических растений (шесть сортов унаби – *Z. jujuba* и трех сортов фундука – *C. pontica*) приведены параметры эколого-хозяйственного потенциала сортов для условий каштановых почв. Дана характеристика погодных условий за 20-летний период эксперимента по интродукции и выделены наиболее деструктивные их сочетания (оттепели зимой с резким снижением температуры при отсутствии снежного покрова, засухи), повлиявшие на сохранность, таксационные характеристики и репродуктивную способность опытных растений. При определении эколого-хозяйственного потенциала сортов, как научного прогноза, выявлены критерии признаков и их сочетания, которыми должны обладать растения, обеспечивающие необходимый уровень адаптации к стресс-факторам (морозы, засухи, засоление), продуктивности и других научно обоснованных прогнозных сочетаний оптимальных признаков для многоцелевого использования субтропических кустарников для искусственных сухостепных насаждений.

Ключевые слова: эколого-хозяйственный потенциал, субтропические растения, *Zizyphus jujuba*, *Corylus pontica*, искусственные насаждения, кустарники многоцелевого назначения, обогащение дендрофлоры, адаптация, каштановые почвы

ECOLOGICAL AND ECONOMIC POTENTIAL OF SUBTROPICAL PLANTS FOR ARTIFICIAL STEPPE OF MULTIPURPOSE PLANTATIONS

Svintsov I.P., Khuzhakhmetova A.Sh., Semenyutina V.A., Semenyutina A.V.

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of Russian Academy of Sciences, Volgograd, e-mail: vnialmi@yandex.ru

One of the most important areas of biological science is the development of the theoretical foundations for rational use of natural plant resources that are diverse. By enriching the species composition of artificial plantations in arid conditions, their multifunctionality and increase of the bioresource potential of agricultural and non-agricultural lands is achieved. The relevance of these issues in connection with global climate change is increasing, particularly in low forest areas. The objective of this research is to determine ecological and economic potential of subtropical plants (using the example of unabi – *Zizyphus jujuba*, hazelnuts – *Corylus pontica*) to enrich the degraded landscapes of the dry-steppe region. Morphological, ecological, physiological, biochemical research methods and modern equipment were used (conductometer S230Kit, device Dualox Scientific, climatic chamber KHTV-0.22). Using the example of subtropical plants (six varieties of unabi – *Zizyphus jujuba* and three varieties of hazelnuts – *Corylus pontica*) parameters of the ecological and economic potential of the varieties for the conditions of chestnut soils are presented. The characteristic of weather conditions for the 20-year period of the introduction experiment is given and their most destructive combinations vary (thaw in winter with a sharp decrease in temperature in the absence of snow cover, drought), affecting the safety, taxation characteristics and reproductive ability of experimental plants. In determining ecological and economic potential of varieties as a scientific forecast, criteria of characteristics and their combinations were found that plants should have that provide the necessary level of adaptation to stress factors (frost, drought, salinity), productivity and other scientifically-based predictive combinations of optimal characteristics for multipurpose use of subtropical shrubs for artificial dry steppe plantings.

Keywords: ecological and economic potential, subtropical plants, *Zizyphus jujuba*, *Corylus pontica*, artificial plantations, shrubs of multi-purpose, enrichment of dendroflora, adaptation, chestnut soils

Актуальной и общемировой тенденцией в развитии сельского хозяйства является формирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия, обеспечивающих увеличение объемов производства экологически безопасной продукции. Эти вопросы остро стоят в регионах со сложными агро-

климатическими условиями. Здесь деградированные территории занимают значительные площади и нуждаются в создании искусственных лесоплодовых насаждений с участием адаптированного селекционного ассортимента многоцелевого назначения, устойчивых к стресс-факторам [1].

Учитывая современные вызовы, обогащение дендрофлоры малолесных регионов хозяйственно ценными кустарниками является важным инструментом в решении задач национальных проектов «Экология», «Наука» в части региональных программ по сохранению биоразнообразия, формированию комфортной окружающей среды для проживания населения и увеличению природно-ресурсного потенциала деградированных ландшафтов. Вековой опыт интродукции позволил значительно расширить перспективный ассортимент адаптированных хозяйственно ценных деревьев и кустарников для защитного лесоразведения и озеленения [1]. Некоторые авторы [2, 3] указывают, что под влиянием деструктивных факторов абиотического и биотического характера происходят значительные потери по хозяйственно-экономическим признакам.

Особое место в ассортименте могут занимать устойчивые к комплексу неблагоприятных условий зимнего периода субтропические растения. Среди дикорастущих популяций Нижнего Поволжья унаби (*Zizyphus jujuba*), лещины (*Corylus pontica*) отсутствуют [3]. Стратегическое направление обогащения защитных лесных насаждений субтропическими древесными растениями, как и другими, экономически важными видами, заключается в их эффективной эксплуатации и закладке новых площадей из адаптированных видов, форм и сортов.

Цель исследований: определить эколого-хозяйственный потенциал субтропических растений (на примере унаби, фундука) для обогащения деградированных ландшафтов сухостепного региона.

Материалы и методы исследования

Объекты исследований – видовое и сортовое разнообразие представителей субтропических кустарников (шесть сортов

Zizyphus jujuba и три сорта *Corylus pontica*), интродуцированных в Волгоградскую область (стационарный опыт с 1998 г., площадь 0,30 га, площадь питания 24,0 м², каштановые и светло-каштановые почвы).

Учитывая специфику выполняемых функций искусственных лесных насаждений в Нижнем Поволжье, к ассортименту деревьев и кустарников предъявляются особые требования для мобилизации и оценки перспектив растений для введения в культуру [1].

Изучение адаптации субтропических растений с учетом лимитирующих факторов, анализа критических периодов для роста, развития, цветения и плодоношения базировались на примере изучения сортов *Corylus*, *Zizyphus jujuba* в системе «генотип – среда» [2].

Выявление сходства климатических показателей Волгоградской области и ареалов распространения проводилось на основе сравнительного анализа материалов метеостанций по элементам климата [4]. Эксперимент выполнялся в полевых и лабораторных условиях по методике сортоизучения [5]. Сортотип принадлежность образцов описывалась и фото фиксировалась в онтогенезе. Ежегодно измерялись характеристики: высоты, диаметра, ширины кроны. Степень повреждения растений в зимнее время определялась ежегодно в конце мая по 8-балльной шкале (рис. 1).

В летний период (июнь – август) изучались показатели состояния растений и их водного режима [4]. Достоверность экспериментальных данных подтверждалась статистической обработкой с использованием компьютерных программ. При подборе сортов для искусственных насаждений на первое место выходят параметры: устойчивости к стресс-факторам и таксационных показателей представителей *Corylus*, *Zizyphus jujuba*. Предпочтение отводится видам и сортам, у которых минимальны потери при воздействии негативных условий.



Общий вид климатической камеры KXTB – 0,22



меню температуры и влажности



подготовка материала



закладка материала

Рис. 1. Фотофиксация процесса промораживания образцов растений

Результаты исследования и их обсуждение

Для выделения зимостойких сортов субтропических растений проведен анализ погодных условий в зимние периоды. Он показал, что количество дней с амплитудой суточных температур более 15 °С составило: один (январь 2006, 2009, 2015; февраль 2006, 2008, 2015, 2017; декабрь 2001, 2002, 2009) и два дня (январь 2003, декабрь 2016 г. Для 2006 г. (последняя декада февраля) амплитуда суточных температур составила более 20 °С. По показателям среднемесячной

температуры зимнего периода выделены наиболее холодные (январь, февраль 2006, январь 2007 г.) и теплые месяцы (февраль 2002, 2016, декабрь 2010 г.).

Распределение зимних месяцев по количеству дней с положительными и отрицательными суточными температурами воздуха за период 2001–2018 гг. представлено на рис. 2.

Установлены значения низких температур, оказывающие деструктивное влияние на субтропические кустарники в полевых условиях и методом промораживания образцов растений (табл. 1).

Таблица 1

Толерантность сортов *Zizyphus jujuba* к низким температурам

Сорт	Промораживание при температуре			
	–30 °С		–37 °С	
	длина прироста, см	длина подмерзшей части, см/%	длина прироста, см	длина подмерзшей части, см/%
Сочинский	38	7/18,42	39	15/38,46
Темрюкский	41	7/17,07	42	18/42,86
Финик	30	12/40	29	21/72,41
Дружба	28	11/39,28	28	23/82,14
Южанин	25	16/64,0	26	23/88,46
Та-ян-цзао	26	18/69,23	27	24/88,89

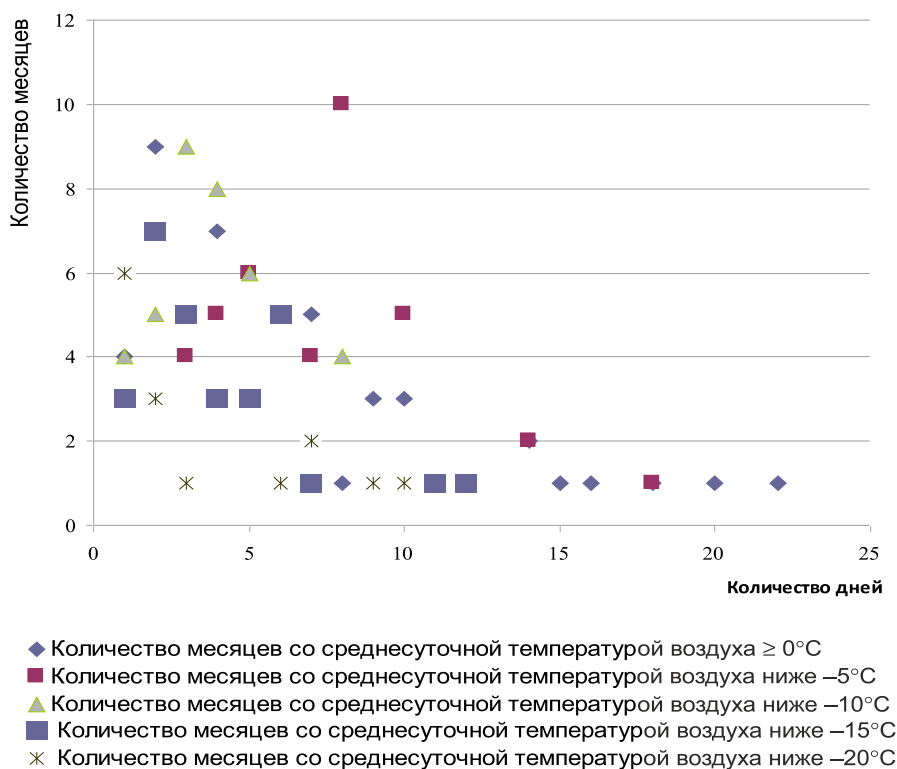


Рис. 2. Распределение зимних месяцев по показателям положительных и отрицательных среднесуточных температур воздуха

Таблица 2

Оценка пигментного комплекса субтропических растительных организмов

Растительные организмы	Содержание, мг/см ²					
	хлорофилл <i>a + b</i>		флавоноиды		антоцианы	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
сорта унаби: мелкоплодные	$23,83 \pm 0,08^*$ 23,8–23,9	$23,61 \pm 0,04$ 23,1–24,1	$1,94 \pm 0,03$ 1,91–1,97	$1,96 \pm 0,10$ 1,81–2,04	$0,15 \pm 0,001$ 0,14–0,15	$0,15 \pm 0,001$ 0,14–0,15
среднеплодные	$28,60 \pm 0,96$ 27,6–29,6	$24,7 \pm 1,34$ 24,4–25,1	$1,85 \pm 0,06$ 1,82–1,92	$1,77 \pm 0,01$ 1,76–1,79	$0,16 \pm 0,006$ 0,16–0,17	$0,13 \pm 0,002$ 0,10–0,14
крупноплодные	$31,1 \pm 0,55$ 30,5–31,5	$29,48 \pm 1,14$ 28,7–30,8	$1,87 \pm 0,02$ 1,85–1,89	$1,83 \pm 0,01$ 1,76–1,90	$0,17 \pm 0,009$ 0,16–0,18	$0,13 \pm 0,004$ 0,13–0,14
сорта фундука: Футкурами	$39,94 \pm 1,65$ 38,86–41,02	$29,95 \pm 3,4$ 26,79–33,70	$1,69 \pm 0,09$ 1,63–1,76	$2,05 \pm 0,18$ 1,86–2,24	$0,10 \pm 0,004$ 0,09–0,10	$0,14 \pm 0,003$ 0,13–0,15
Президент	$40,75 \pm 1,84$ 39,18–42,77	$29,11 \pm 1,34$ 28,26–30,65	$1,56 \pm 0,06$ 1,49–1,61	$1,73 \pm 0,05$ 1,68–1,77	$0,10 \pm 0,004$ 0,09–0,10	$0,16 \pm 0,004$ 0,15–0,16
Черкесский-2	$25,73 \pm 1,37$ 24,19–26,82	$30,24 \pm 0,50$ 30,10–30,36	$1,92 \pm 0,07$ 1,84–1,98	$2,03 \pm 0,13$ 1,89–2,14	$0,22 \pm 0,01$ 0,19–0,26	$0,12 \pm 0,005$ 0,12–0,13
Температура воздуха, °C			35,5	39,0		
Влажность воздуха			16,0%	19,0%		

Примечание. * В числителе – среднее значение и стандартное отклонение значений; в знаменателе – минимальное и максимальное значения.

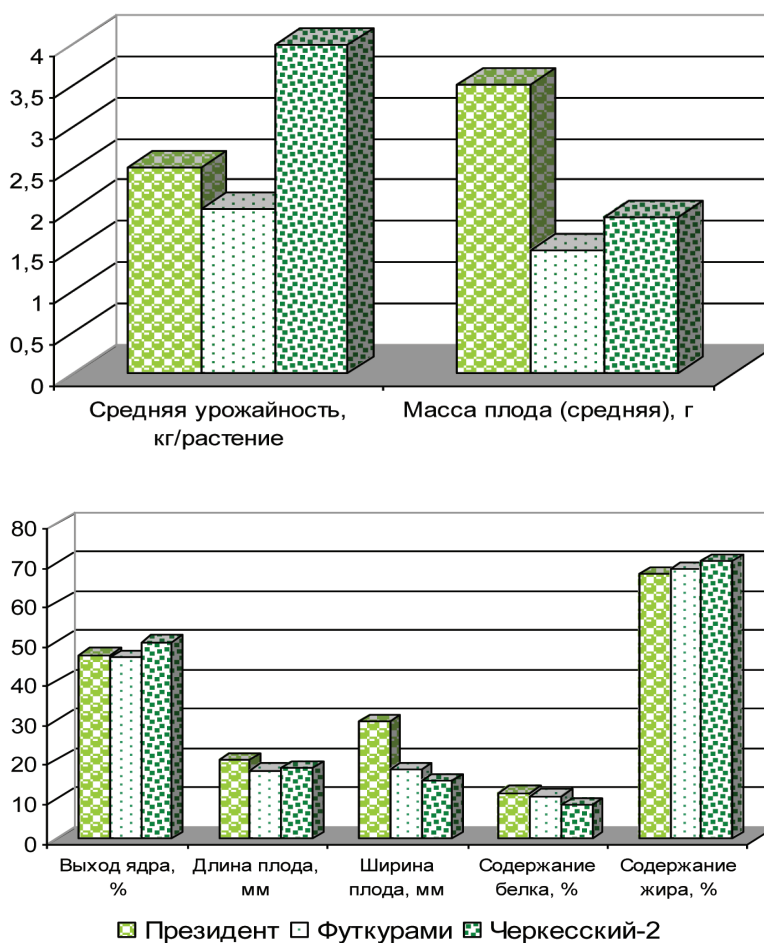


Рис. 3. Плодовая продуктивность и качественная характеристика сортов фундука

Пигментный комплекс отвечает за адаптацию организмов к стресс-факторам [6–8]. Установлено, что значения пигментного комплекса (хлорофилл *a* + *b*, флавоноиды, антоцианы) в течение вегетационного периода варьируют в зависимости от сорта растений [9, 10].

Засухоустойчивые сорта характеризуются большей стабильностью пигментного комплекса при относительной влажности воздуха (16–19%) и повышенных температурах (до +39°C) (табл. 2).

Морфологические параметры листьев определяют адаптацию ассимиляционного аппарата к факторам среды. Отмечена тесная связь между количественным содержанием пигментов в листьях растений и их биологическими особенностями (структурная организация листа, толщина, площадь). Установлена разная отзывчивость пигментов на действие стресс-факторов [10].

Оценка репродуктивной способности показала, что Президент и Черкесский-2 отличаются лучшими показателями плодовой продуктивности (рис. 3).

Установлены пределы экологической толерантности субтропических растительных организмов к хлоридному засолению (вегетационный опыт).

Заключение

Изучение эколого-хозяйственного потенциала *Zizyphus jujuba*, *Corylus* и дальнейшее использование полученных результатов позволяет:

- формировать искусственные насаждения разной конструкции (ажурная, плотная, продуваемая) с учетом моделей развития крон изучаемых видов и сортов;
- увеличить количество адаптированных видов (сортов) в рассматриваемых условиях;
- создать дополнительные площади насаждений за счет посадок по границам землепользования; вокруг садов и виноградников, оврагов, на склонах;
- получить дополнительную продукцию (плоды, перга, древесина и др.);
- улучшить почвенное плодородие за счет положительной мелиоративной роли представителей *Corylus*, *Zizyphus jujuba*;
- сохранять и развивать коллекционный фонд субтропических культур;
- создание маточных насаждений для производства стандартного посадочного материала для обеспечения нужд и потребностей населения.

Исследования выполнены по теме Государственного задания № 0713-2019-0004 Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (ФНЦ агроэкологии РАН).

Список литературы / References

1. Semeniyutina A.V., Podkovyrov G.V., Khuzhakhmetova A.Sh., Svintsov I.P., Semeniyutina V.A., Podkovyrov I.Yu. Engineering implementation of landscaping of low-forest regions. International journal of mechanical engineering and technology. 2018. Vol. 9. Issue 10. P. 1415–1422.
2. Рындин А.В., Белоус О.Г., Малиаровская В.И., Пригула З.В., Абиляфова Ю.С., Кожевникова А.М. Использование физиолого-биохимических методов для выявления механизмов адаптации субтропических, южных плодовых и декоративных культур в условиях субтропиков России // Сельскохозяйственная биология. 2014. Т. 49. № 3. С. 40–48.
- Ryndin A.V., Belous O.G., Malyarovskaya V.I., Prigula Z.V., Abilfazova Yu.S., Kozhevnikova A.M. Physiological and biochemical approaches in studying adaptation mechanisms of subtropical, fruit and ornamental crops grown in russian subtropics // Agricultural Biology. 2014. V. 49. № 3. P. 40–48 (in Russian).
3. Рамазанова З.Р., Асадулаев З.М., Омарова П.К. Адаптивные морфолого-анатомические особенности листьев тиса ягодного в условиях предгорного Дагестана // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2016. Т. 10. № 2. С. 56–63.
- Ramazanova Z.R., Asadulaev Z.M., Omarova P.K. Adaptive morphological and anatomical features of yew berry leaves in the conditions of foothill Dagestan // Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki. 2016. T. 10. № 2. P. 56–63 (in Russian).
4. Семенютина А.В., Рындин А.В., Махно В.Г., Хужахметова А.Ш., Кравцов И.А. Научно-методические рекомендации по выращиванию фундука в засушливых условиях Нижнего Поволжья. Сочи, 2011. 56 с.
- Semeniyutina A.V., Ryndin A.V., Makhno V.G., Khuzhakhmetova A.Sh., Kravtsov I.A. Scientific and methodological recommendations on the cultivation of hazelnuts in arid conditions of the Lower Volga region. Sochi, 2011. 56 p. (in Russian).
5. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Под ред. Е.Н. Седова и Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК, 1999. 608 с.
- Program and methods of sorting fruit, berry and nut crops / Pod red. E.N. Sedova i T.P. Ogol'tsovoy. Orel: VNIISPK, 1999. 608 p. (in Russian).
6. Bueno J.M., Saez-Plaza P., Ramos-Escudero F., Jimenez A.M., Fett R., Asuero A.G. Analysis and Antioxidant Capacity of Anthocyanin Pigments. Part II: Chemical Structure, Color, and Intake of Anthocyanins. Critical Reviews in Analytical Chemistry. 2012. № 42. P. 126–151. DOI: 10.1080/10408347.2011.632314.
7. Chen M., Blankenship R.E. Expanding the solar spectrum used by photosynthesis. Trends in Plant Science. 2011. № 16. P. 427–431. DOI: 10.1016/j.tplants.2011.03.011.
8. Esteban R., Barrutia O., Artetxe U., Fernandez-Marín B., Hernandez A., Garcia-Plazaola J.I. Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: A meta-analytical approach. New Phytologist. 2015. № 206. P. 268–280. DOI: 10.1111/nph.13186.
9. Семенютина В.А., Свинцов И.П. Динамика содержания пигментного комплекса у растительных организмов в засушливых условиях // Плодоводство и ягодоводство России. 2018. Т. 54. С. 127–131. DOI 10.31676/2073-4948-2018-54-127-131.
- Semeniyutina V.A., Svintsov I.P. Dynamics of the content of the pigment complex in plant organisms in arid conditions // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2018. V. 54. P. 127–131 (in Russian).
10. Penuelas J., Filella I. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. Trends in Plant Science. 1998. № 3. P. 151–156.

СТАТЬИ

УДК 624.131.37

МЕТОДИКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ КОНСОЛИДАЦИИ**¹Агейкина О.В., ²Воронцов В.В., ^{1,3}Суфьянов Р.Р.**¹ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: berlinao@yandex.ru;²Департамент образования Администрации города Тюмени, Тюмень, e-mail: education@tyumen-city.ru;³НИПИ «Нефтегазпроект» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: sufyanovrr@nipingp.ru

Характерной особенностью строительства и эксплуатации зданий и сооружений на водонасыщенных грунтах в основании является нестабильное напряженно-деформированное состояние грунтового массива, в том числе вследствие фильтрационной консолидации, образования и рассеивания избыточного порового давления. Знание закономерностей развития порового давления в глинистых водонасыщенных массивах позволяет рассчитать параметры фундаментов объектов строительства, организовывать мониторинг их устойчивости, производить наблюдения за ходом фильтрационной консолидации и повысить эффективность геомеханических расчетов. При этом многообразие грунтов обусловило появление широкого спектра математических моделей. Наблюдая и измеряя характеристики объекта в рамках того или иного математического описания, важно грамотно обработать и интерпретировать экспериментальные данные, что позволит оценить и сопоставить результаты для проверки гипотез, для выявления существенных свойств и закономерностей процесса фильтрационной консолидации. Полученные в результате экспериментальных исследований численные значения параметров могут быть далее использованы лишь в том случае, если они достоверны, т.е. соответствуют определенным уровням и критериям математической статистики. В статье описан итерационный подход к определению параметров математической модели фильтрационной консолидации водонасыщенных глинистых грунтов при сопоставлении избыточного порового давления в грунтовом основании под нагрузкой жестким штампом с функцией, описывающей его развитие во времени. На основании обработки экспериментальных данных получены численные значения параметров модели. Экспериментально подтвержден вывод о потере несущей способности в нижележащих слоях водонасыщенных оснований вследствие скачка избыточного порового давления при максимальных значениях длины пути фильтрации. Показана необходимость разработки критерия оценки качества и завершенности итерационного процесса при обработке результатов эксперимента, что позволит перевести весь процесс обработки данных в автоматический режим.

Ключевые слова: водонасыщенные глинистые грунты, фильтрационная консолидация, параметры модели, статистическая обработка, экспериментальные данные

STATISTICAL PROCESSING TECHNIQUE AND INTERPRETATION OF THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF FILTRATION CONSOLIDATION**¹Ageykina O.V., ²Vorontsov V.V., ^{1,3}Sufyanov R.R.**¹Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: berlinao@yandex.ru;²Department of Education, Administration of the City of Tyumen, Tyumen, e-mail: education@tyumen-city.ru;³Research and Design Institute «Neftegazproekt» Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: sufyanovrr@nipingp.ru

A characteristic feature of the construction and operation of buildings and structures on water-saturated soils at the base is the unstable stress-strain state of the soil massif, including as a result of filtration consolidation, the formation and dispersion of excess pore pressure. Knowledge of the patterns of pore pressure development in water-saturated clay arrays allows you to calculate the parameters of the foundations of construction sites, organize monitoring of their stability, monitor the course of filtration consolidation, and improve the efficiency of geomechanical calculations. At the same time, the diversity of soils led to the emergence of a wide range of mathematical models. Observing and measuring the characteristics of an object as part of a mathematical description, it is important to correctly process and interpret the experimental data, which will allow evaluating and comparing the results for testing hypotheses to identify the essential properties and patterns of the filtration consolidation process. The numerical values of the parameters obtained as a result of experimental studies can be further used only if they are reliable, that is, they correspond to certain levels and criteria of mathematical statistics. The article describes an iterative approach to determining the parameters of a mathematical model of filtration consolidation of water-saturated clay soils when comparing the excess pore pressure in the soil base under load with a hard stamp with a function describing its development over time. Based on the processing of experimental data, the numerical values of the model parameters were obtained. Experimentally confirmed the conclusion about the loss of bearing capacity in the underlying layers of water-saturated bases due to a jump in excess pore pressure at maximum values of the filtration path length. The necessity of developing a criterion for assessing the quality and completeness of the iterative process in processing the results of the experiment, which will allow to transfer the entire data processing process to automatic mode, is shown.

Keywords: water saturated clay soils, filtration consolidation, model parameters, statistical processing, experimental data

Характерной особенностью строительства и эксплуатации зданий и сооружений на водонасыщенных грунтах в основании является нестабильное напряженно-деформированное состояние грунтового массива, в том числе вследствие фильтрационной консолидации, образования и рассеивания избыточного порового давления. Знание закономерностей развития порового давления в глинистых водонасыщенных массивах позволяет рассчитать параметры фундаментов объектов строительства, организовывать мониторинг их устойчивости, производить наблюдения за ходом фильтрационной консолидации и повысить эффективность геомеханических расчетов. При этом многообразие грунтов обусловило появление широкого спектра математических моделей [1, 2].

Наблюдая и измеряя характеристики объекта в рамках того или иного математического описания, важно грамотно обработать и интерпретировать экспериментальные данные, что позволит оценить и сопоставить результаты для проверки гипотез, для выявления существенных свойств и закономерностей процесса фильтрационной консолидации. Полученные в результате экспериментальных исследований численные значения параметров могут быть далее использованы лишь в том случае, если они достоверны, т.е. соответствуют определенным уровням и критериям математической статистики [3–5].

В контексте этих подходов и сформирована цель исследования – отработать методику статистической обработки экспериментальных данных в рамках предложенной математической модели, фильтрационной консолидации водонасыщенного грунта и определить параметры этой модели.

Материалы и методы исследования

Ранее предложена математическая модель, описывающая фильтрационную консолидацию водонасыщенного грунта, а именно [2, 6]:

$$\begin{cases} C'(t) = -\bar{k}_1(a - N(t)) * C(t) \\ N'(t) = \bar{k}_1(a - N(t)) * C(t) - k_2 N(t) \end{cases} \quad (1)$$

$$k_1 = -\frac{0,5kk_w}{\bar{n}}, \quad k_2 = \frac{k_0k_f}{\gamma_w L(y, z)},$$

где $N(t)$ – избыточное поровое давление, a – напряжения, необходимые для преодоления начального градиента фильтрации, $C(t)$ – пористость грунта, k – коэффициент пропорциональности; k_w – модуль объем-

ного сжатия поровой воды, k_f – коэффициент фильтрации, γ_w – удельный вес воды, $L(y, z)$ – длина пути фильтрации воды

В представленном описании величины и характер избыточного порового давления зависит от знака дискриминанта характеристического уравнения:

$$D = \left(\frac{k_f}{\bar{n}} \cdot \frac{k_w}{\gamma_w L(y, z)} \right)^2 - k_w \cdot k^2 \cdot (\sigma_{i0}(y, z) - \bar{u}_w). \quad (2)$$

Конкретный случай расчета можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} \Delta > 0; C(t) = A + Be^{\lambda_1 t} + Ce^{\lambda_2 t} \\ \Delta = 0; C(t) = A + (B + Ct)e^{\lambda_1 t} \\ \Delta < 0; C(t) = A + e^{mt} (B \cos(nt) + C \sin(nt)). \end{cases} \quad (3)$$

Для параметра A принято обозначение

$$A = -\frac{k_2 \alpha}{\beta \gamma}.$$

Таким образом, при изучении фильтрационной консолидации реальный процесс представлен системой кинетических уравнений, характеризующей избыточное поровое давление. Несмотря на чисто формальное описание консолидационного механизма, математическая модель с определенными из опыта коэффициентами дает возможность правильно рассчитывать изменение избыточного порового давления в грунтовом водонасыщенном основании, а при переходе к осадке – определять ее развитие во времени и конечное значение.

Следовательно, вся сложность изучения процесса фильтрационной консолидации переносится на простейшие уравнения математической модели и, прежде всего, на экспериментальные значения параметров этой модели.

При подготовке статьи были использованы результаты исследований, проведенные на кафедре строительной механики ФГБОУ ВПО ТюмГАСУ в 2004–2006 гг. и в отделе криогенных ресурсов ООО «НИПИ Нефтегазпроект» при выполнении инженерных изысканий грунтовых карьеров на Западно-Чатылькинском лицензионном участке в 2018–2019 гг.

В ходе экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния водонасыщенного суглинка в условиях плоской деформации на грунтовых моделях варьировались следующие факторы: ширина загружающей пластины 50 и 20 см; величина полосовой распределенной нагрузки 4,6 кПа, 7,25 кПа и 19,2 кПа; глубина заложения дат-

чиков относительно полосы нагружения от 0,30 до 0,8 м. Грунтовое основание было представлено водонасыщенным суглинком нарушенной структуры, который послойно укладывался в лоток. Одновременно с укладкой грунта были установлены датчики для определения полных (общих) и избыточных поровых давлений в грунтовом массиве. Для этого использовали тензорезисторные мембранные месдозы и пьезометры. Сигналы датчиков регистрировали, независимо друг от друга, с использованием автоматического измерителя деформаций и измерительного регистрирующего комплекса [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Вся процедура обработки экспериментальных данных была разделена на два этапа. На первом произведена первичная обработка данных, полученных при проведении эксперимента, для определения параметров модели. К этому же этапу относится и статистическая обработка данных по выборке ошибочных сведений.

На втором этапе полученные значения параметров модели корректировались с учетом общего представления о характере процесса развития избыточного порового давления по всему грунтовому массиву образца. Для корректировки использовали уравнение множественной регрессии, отражающее зависимость дискриминанта характеристического уравнения от величины равномерно-распределенной нагрузки, приложенной к жесткому штампу и относительной длины пути фильтрации. Для полученного уравнения определяли значимость коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента и значимость уравнения в целом по критерию Фишера. Кроме того, выполняли проверку на наличие гетероскедастичности (гомоскедастичности), на наличие автокорреляции и нормальность остатков.

В случае неудовлетворительных значений по любому из указанных критериев повторяли корректировки параметров модели и уравнения множественной регрессии, а также статистический анализ результатов. Итерационный процесс завершали при выполнении всех условий достоверности и значимости уравнения регрессии. Ниже приведено уравнение регрессии для дискриминанта характеристического уравнения на завершающем этапе итерационного процесса:

$$D = 1,2734 - 0,00862 \cdot P - 0,6106 \cdot L/B, \quad (4)$$

где P – равномерно-распределенная нагрузка, приложенная к жесткому штампу, Па;

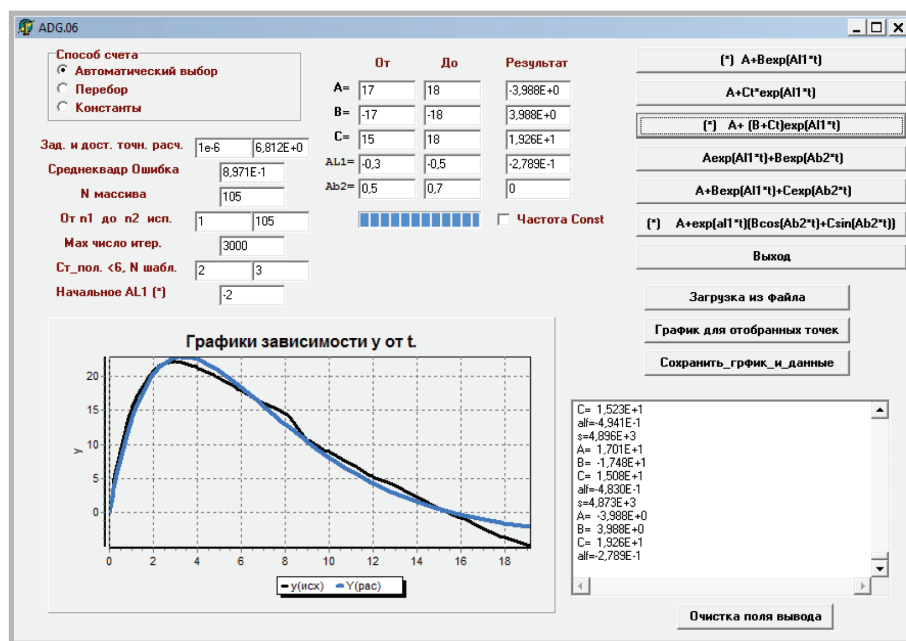
L – длина пути фильтрации, B – ширина жесткого штампа.

Достоинством рассматриваемой модели фильтрационной консолидации водонасыщенных грунтов является четкое отражение физической сущности реального процесса при относительной простоте математической формулировки. Кроме того, структура математического описания удобна для расчетов в конкретной пространственной точке модели при использовании подхода, реализованного в Delphi 6. При этом обеспечена возможность определения неизвестных параметров в автоматическом режиме, в интерактивном, а также прямым перебором в заданном интервале. Необходимо заметить, что определение показателей параметров модели базируется на подходах восстановления показателей экспонент и реализовано на основе известных идей [7].

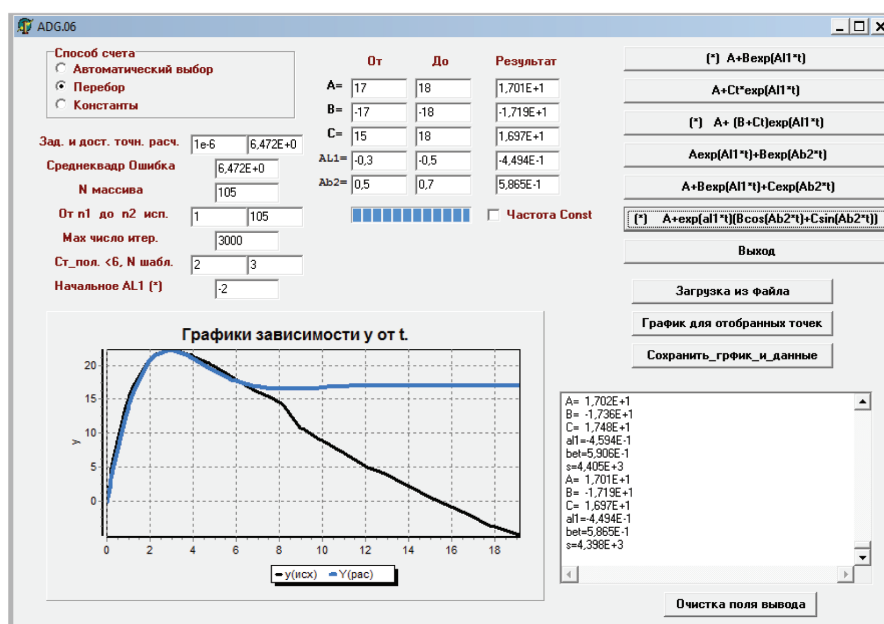
Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера, $F_{кр} = 3,37 < F = 30,81$. Установлено также, что параметры модели статистически значимы. Кроме того расчет коэффициента ранговой корреляции Спирмена наряду с тестом Голдфелда – Квандта позволили подтвердить гипотезу об отсутствии гетероскедастичности, расчет критерия Дарбина – Уотсона подтвердил отсутствие автокорреляции, а расчетное значение RS-критерия, $2,7 < RS = 3,656 < 3,7$, показало адекватность модели по нормальности распределения остаточной компоненты.

Однако метод экспериментального определения параметров модели в целом для объекта потребовал более внимательного рассмотрения и детальной статистической обработки результатов. Дело в том, что в модели, как отмечалось ранее, заложены три расчетных случая в зависимости от знака дискриминанта характеристического уравнения (1–3). Поэтому при аппроксимации экспериментальных данных достаточно велик риск ошибки. В этом отношении показателен пример обработки показаний датчика № 4 при распределенной нагрузке 4,6 кПа.

В рассматриваемом случае, при первичной обработке результатов эксперимента с использованием программы в автоматическом режиме, определен случай $D = 0$, рис. 1, а. Однако интерпретация расчетов по всей совокупности показаний датчиков свидетельствует о том, что речь идет о случае – случай $D < 0$, рис. 1, б.



a)



б)

Рис. 1. Аппроксимация экспериментальных данных для датчика № 4, при значении дискриминанта $D = 0$ (a) и $D < 0$ (б)

Кроме того, показанный пример убедительно иллюстрирует опасность потери несущей способности в нижележащих слоях водонасыщенных оснований, несмотря на снижение напряжений от нагрузки по глу-

бине. Механизм этого процесса выглядит следующим образом. Начальный этап повышения избыточного порового давления приводит к дополнительному разуплотнению грунтового скелета. При этом увеличение

порового давления снижает эффективные напряжения в скелете грунта в этот период наблюдений и, как следствие, снижает сопротивление сдвигу. А далее этап снижения порового давления при фильтрации обуславливает возрастание напряжений в скелете грунта с развитием деформаций сдвига, которые сопровождаются разуплотнением и уже лавинообразным рассеиванием порового давления.

Вывод о потере несущей способности в нижележащих слоях водонасыщенных оснований вследствие скачка избыточного порового давления в расчетном случае при $D < 0$ подтверждается результатами эксперимента. Нетрудно заметить, что эти результаты наблюдаются, как правило, для максимальных значений длины пути фильтрации.

Уравнение регрессии для дискриминанта характеристического уравнения далее было использовано для расчетов избыточного порового давления и параметров модели. На рис. 2 представлена графическая

интерпретация результатов расчета, которая свидетельствует о вполне удовлетворительной статистической надежности уравнений регрессии для параметров модели.

Другой аспект обсуждения заключается в том, что наряду с оценкой несущей способности водонасыщенных грунтов в условиях скачка избыточного давления и разработкой инженерных решений повышения несущей способности водонасыщенных грунтов в этих условиях необходим критерий оценки качества и завершенности итерационного процесса. Исследования в этом направлении позволят перевести весь процесс обработки данных в автоматический режим.

Заключение

Предложена итерационная методика статистической обработки и определения экспериментальных значений параметров модели фильтрационной консолидации водонасыщенных грунтов.

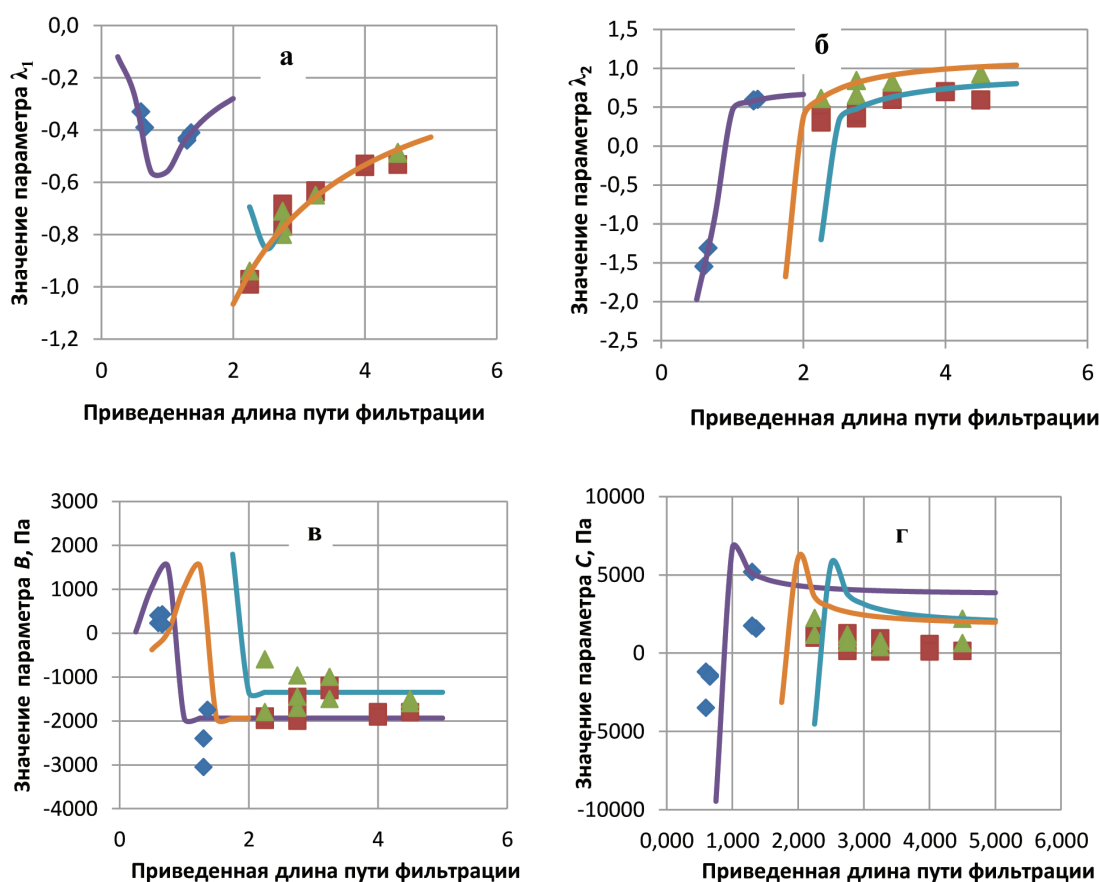


Рис. 2. Теоретические и экспериментальные значения параметров в модели фильтрационной консолидации: а) параметр λ_1 ; б) параметр λ_2 ; в) параметр B ; г) параметр C

Теоретические предпосылки обработки данных представлены в виде приложения, реализованного в Delphi 6, с применением которого определены параметры модели фильтрационной консолидации водонасыщенных грунтов и показана адекватность модели результатам эксперимента.

При определении параметров модели в процессе обработки экспериментальных данных раскрыто влияние скачка избыточного порового давления на несущую способность и устойчивость к сдвиговым деформациям водонасыщенных глинистых грунтов.

Показана необходимость исследований в части разработки и обоснования критерия оценки качества и завершенности итерационного процесса при обработке экспериментальных данных.

Список литературы / References

1. Костерин А.В., Скворцов Э.В. Фильтрационная консолидация при плоской деформации упругого полупространства // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2017. № 2. С. 99–104. DOI: 10.7868/S0568528118020093.
2. Подгорнова Н.Н. Фильтрационная консолидация глинистого грунта в основании дорожной конструкции // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2010. № 1. С. 96–100.
3. Александров А.С., Калинин А.Л., Цыгулева М.В. Распределяющая способность песчаных грунтов, армированных геосинтетикой // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 6 (66). С. 35–48. DOI: 10.5862/MCE.66.4.
4. Ageikina O.V., Ageikin V.N. Определение параметров транспортных потоков на промышленных дорогах Западной Сибири для экологических расчетов // Материалы докладов на XIX международной научно-практической конференции (г. Тюмень, 17 марта 2017 г.). Тюмень: Изд-во ТИУ, 2017. С. 13–17.
5. Базыкин И.В., Литвиненко Г.И. Применение многомерного статистического анализа при обработке результатов измерения прочности бетона гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2011. № 6. С. 34–35.
6. Ageikin V.N., Vorontsov V.V., Podgornova N.N. Forecast of excess pore pressures in waterlogged soils // Geotekhnika: aktual'nyye teoreticheskiye i prakticheskiye problemy: Mezhdunarodnyy tematicheskiy sbornik trudov. SPb., 2006. P. 79–83 (in Russian).
7. Булычев А.А., Верхотуров В.Н., Гуляев Б.А. Современные методы биофизических исследований. Практикум по биофизике. Учебное пособие для биол. спец. вузов / Под ред. А.Б. Рубина. М.: Высшая школа, 1988. 359 с.
8. Bulychev A.A., Verkhoturov V.N., Gulyaev B.A. Modern methods of biophysical research. Praktikum po biofizike. Uchebnoye posobiye dlya biol. spets. Vuzov / Pod red. A.B. Rubina. M.: Vysshaya shkola, 1988. 359 p. (in Russian).

УДК 551.311

**ДИНАМИКА ЛЕДНИКОВ И ПРИЛЕДНИКОВЫХ ОЗЕР
БАССЕЙНА РЕКИ АЛА-АРЧА****Алейникова А.М., Анацкая Е.Е.***ФГБОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, e-mail: la.ktyf@gmail.com*

Данная работа посвящена анализу динамики ледников долины р. Ала-Арча (Северный Тянь-Шань, Киргизский хребет) и образовавшихся в их приледниковой зоне прорывоопасных озер. В долине располагается одноименный национальный парк, который служит объектом активного туризма и при этом является одним из наиболее селеопасных районов в северной части Кыргызстана. Дана оценка изменения площади некоторых ледников в долине Ала-Арча с использованием материалов аэрокосмических съемок, в том числе из интернет-сервиса Google Earth. На основании работы с данными материалами выполнены картосхемы, демонстрирующие динамику изменения площади ледников Аксай и Адыгене за период с 1977 по 2015 г. В связи с таянием ледников Адыгене и Аксай и таянием погребенных льдов в их моренном чехле, происходит увеличение площади и глубины перигляциальных озер, и тем самым увеличивается селеопасность в долине р. Ала-Арча. Авторами были проанализированы собственные полевые и многолетние данные научной озерно-гляциологической станции «Адыгене», произведена обработка данных гидрологических наблюдений и батиметрических измерений для нескольких потенциально прорывоопасных озер долины. Рассмотрена динамика объема оз. Адыгене Большое, Адыгене Приледниковое и Аксай, а также динамика их глубины и площади акватории. Результаты анализа показали, что батиметрические показатели для оз. Адыгене Большое, которое имеет стабильное питание и преимущественно поверхностный сток, изменяются незначительно; молодые же озера, Аксай и Адыгене Приледниковое, примыкающие к конечным частям ледниковых языков, продолжают активно меняться и поэтому имеют значительный уровень прорывоопасности.

Ключевые слова: гляциальный селя, приледниковые озера, прорывоопасные озера, деградация оледенения, Ала-Арча

**DYNAMICS OF GLACIERS AND GLACIAL LAKES
OF THE ALA-ARCH RIVER BASIN****Aleynikova A.M., Anatskaya E.E.***Peoples Friendship University of Russia, Moscow, e-mail: la.ktyf@gmail.com*

This article is devoted to the analysis of the dynamics of the glaciers of the valley of the Ala-Archa (Northern Tien Shan, Kirghiz Range) and the dangerous lakes formed in their glacial zone. The national park of the same name is located in the valley. Ala-Archa National Park is an object of active tourism and at the same time it is one of the most muddy areas in the northern part of Kyrgyzstan. An estimate of the change in the area of some glaciers in the Ala-Archa valley was given using materials of aerospace surveys, including the Google Earth Internet service. Based on these data, maps were made to show the dynamics of changes in the area of the Aksai and Adygene glaciers from 1977 to 2015. Due to the melting of the Adygene and Aksai glaciers and the melting of the buried ice in their moraine cover, an increase in the area and depth of periglacial lakes occurs. Therefore, the risk of mudflows in the Ala-Archa valley increases. The authors analyzed their own field and long-term data of the scientific lake-glaciological station «Adygene». The data of hydrological observations and bathymetric measurements were processed for several potentially dangerous lakes of the valley. The dynamics of the volume of Adygene Bolshoye, Adygene Priglednikovoe and Aksai, the dynamics of their depth and water area are considered. The results of the analysis showed that the bathymetric data for Lake Adygene Bolshoye vary slightly, the lake has a stable supply and mainly surface runoff; the young lakes Aksai and Adygene Prilednikovoe, which are adjacent to the end parts of the glaciers, continue to change and therefore have a significant level of breakthrough danger.

Keywords: glacial mudflow, glacial lake, breakthrough lakes, glaciation degradation, Ala-Archa

Из всех чрезвычайных ситуаций, которые характерны для горных и предгорных районов всех стран, самыми масштабными и опасными являются сели [1]. Основными потенциальными причинами возникновения селя являются активное снеготаяние и интенсивные осадки, а также прорыв плотины высокогорного озера. Прорывоопасные озера приурочены к ледниковым зонам на больших высотах. Отличительной особенностью данных озер является возможность прорыва их плотин, образование прорывного потока.

Прорыв горного озера достаточно сложен в прогнозировании [2], при этом сели, возникающие при прорывах высокогорных озер, могут быть катастрофическими. Поэтому ведется работа по выявлению потенциально опасных районов и периодов, когда риск прорыва максимальный, а также мониторинг основных формирующих факторов.

На прорывоопасность озера влияет целый ряд факторов, в том числе тип озера, характер питания и стока, активность термокарстовых процессов. При изменении условий, например резком увеличении

температуры и последующем протаивании плотин, выпадении большого количества атмосферных осадков, землетрясений, прорывоопасность резко возрастает.

На территории Кыргызстана за последние 50 лет отмечено около 70 чрезвычайных ситуаций, вызванных прорывом горных озер. Период наибольшего риска прорывов озер Тянь-Шаня длится с июля до конца августа – середины сентября [3]. В последние годы в Кыргызстане активно ведется мониторинг горных озер и разрабатываются системы защиты.

Актуальность данной работы обусловлена потенциальной опасностью перигляциальных озер, а также немалыми рисками, связанными с прорывом озер долины Ала-Арча, являющейся национальным парком и популярным местом отдыха для жителей Киргизии и иностранных туристов.

Активное сокращение оледенения ведет к изменению коренной породы, по которой происходит движение ледника, активизации термокарстовых процессов, накоплению селевой массы на месте отступления ледника. Ледники, представляющие собой динамически неустойчивые гляциальные системы ледник – озеро, несут особую опасность [4].

В связи с деградацией оледенения на Северном Тянь-Шане происходит увеличение площади, объема и количества перигляциальных озер, которые в последние годы представляют собой потенциальные очаги формирования крупных селей. В статье были впервые проанализирована динамика ледников за 1977–2015 гг. и динамика перигляциальных озер за 2010–2015 гг. Это дает основание к проведению научного мониторинга по отслеживанию состояния прорывоопасных перигляциальных озер.

Цель исследования: анализ динамики ледников и перигляциальных озер бассейна р. Ала-Арча.

Основными задачами явились: анализ динамики ледников Адыгене, Аксай и озер Адыгене Большое, Адыгене Приледниковое и озера Аксай.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования явились перигляциальные озера долины реки Ала-Арча (Северный Тянь-Шань).

Озера располагаются в одноименном национальном парке, который служит объектом активного туризма и является одним из наиболее селеопасных районов в северной части Кыргызстана.

Наблюдения проводились на научной озерно-гляциологической станции «Адыгене», расположенной в верховьях долины реки Адыгене, левого бокового притока р. Ала-Арча. Здесь с 2008 г. ведется наблюдение за развитием системы высокогорных прорывоопасных озер, относящихся к моренно-ледниковому комплексу Адыгене. Система включает на данный момент 14 озер различного возраста и размера [5].

Авторами были проанализированы собственные полевые и многолетние данные научной станции, проведено дешифрирование космических снимков, на основании которого выполнены картосхемы, демонстрирующие динамику отступления, оледенения отдельных ледников бассейна р. Ала-Арча, произведена обработка данных гидрологических наблюдений и батиметрических измерений для нескольких потенциально прорывоопасных озер долины.

Результаты исследования и их обсуждение

Долина Ала-Арча является крупным центром оледенения. Результаты дешифрирования космических снимков 1977 и 2015 гг. показали, что все ледники долины сокращаются.

Интенсивность, с которой происходит сокращение площади оледенения для различных ледников в разных частях долины может заметно различаться. Различия определяются комплексом факторов, таких как экспозиция ледника, его размеры, высота относительно уровня моря, морфологическое строение ледниковой долины. Скорость отступления крупных ледников, находящихся на ранних стадиях деградации, меньше чем у ледников поздних стадий.

Рисунки 1 и 2 показывают, как изменились границы ледников Адыгене и Аксай, находящихся на ранних стадиях деградации.

Адыгене – ледник котловинного типа, расположенный в верховьях одноименного притока р. Ала-Арча, один из крупнейших ледников долины. Площадь его в 1977 г. составляла 3,49 км², к 2015 г. сократилась почти на треть, ограничиваясь 2,83 км² (рис. 1).

Аксай – второй по площади ледник долины, относится к долинному типу. В дальнейшем за период с 1977 по 2015 г. площадь ледника Аксай сократилась с 5,35 км² до 4,13 км² (рис. 2).

В совокупности с другими факторами (такими как интенсивные ливневые осадки) повышенная скорость таяния ледников и создает условия для прорыва ледниковых озер и возникновения гляциальных селей.



Рис. 1. Изменение площади ледника Адыгене за 1977–2015 гг.



Рис. 2. Изменение площади ледника Аксай за 1977–2015 гг.

Основные наблюдения динамики озер, анализ результатов которых проводится в данной работе, были проведены на двух озерах: Адыгене Большое и Адыгене Приледниковое [6]. Они относятся к озерной системе, сформировавшейся при отступлении фронта ледника Адыгене в верховьях долины одноименной реки – левого притока р. Ала-Арча. Гляциальный сель, вызванный прорывом озера в этой части долины, потенциально способен достигнуть густонаселенных областей в непосредственной близости от Бишкека и произвести большие разрушения.

Ванны озер Адыгене Большое и Адыгене Приледниковое круглый год заполнены водой, однако большую часть года (как правило, с октября по май) их поверхность покрыта льдом. В остальное время уровень озер колеблется. В середине июля – начале августа наблюдается резкое повышение

уровня, связанное с началом активного периода абляции.

Озеро Адыгене Большое образовалось во внутриморенных депрессиях моренно-ледникового комплекса Адыгене на высоте 3600 м. Оно относится к моренно-ригельному типу. Питание преимущественно ледниковое, частично дождевое и снеговое. Озеро имеет преимущественно поверхностный сток, меньшая доля вод приходится на подземный сток.

Максимальный подъем уровня наблюдается в 3-й декаде июля – первой декаде августа.

На нижеследующих графиках (рис. 3) проводится сравнение батиметрических данных за 2010 и 2013 г. По ним можно видеть, что уровень воды в оз. Адыгене Большое в эти годы в целом остается неизменным (рис. 3, а), объем увеличивается, но незначительно (рис. 3, б), площадь акватории также растет (рис. 3, в).

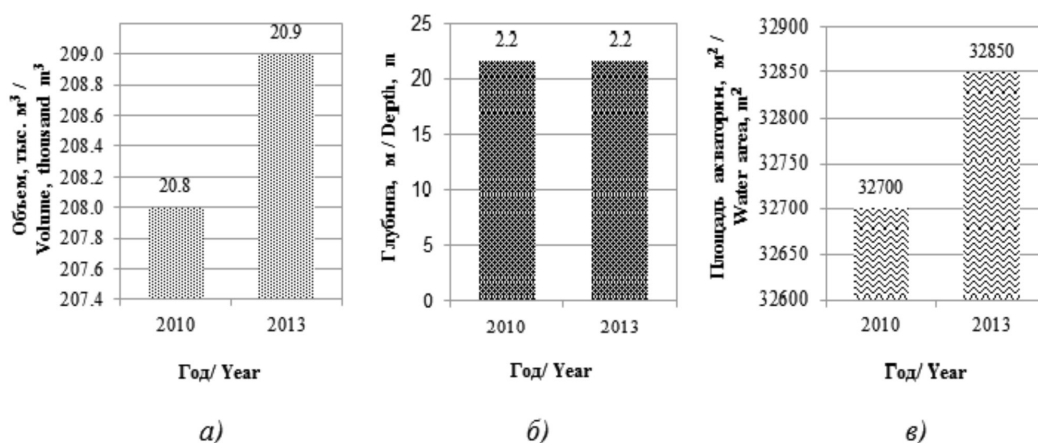


Рис. 3. Динамика озера Адыгене Большое: а) динамика объема; б) динамика глубины; в) динамика площади акватории

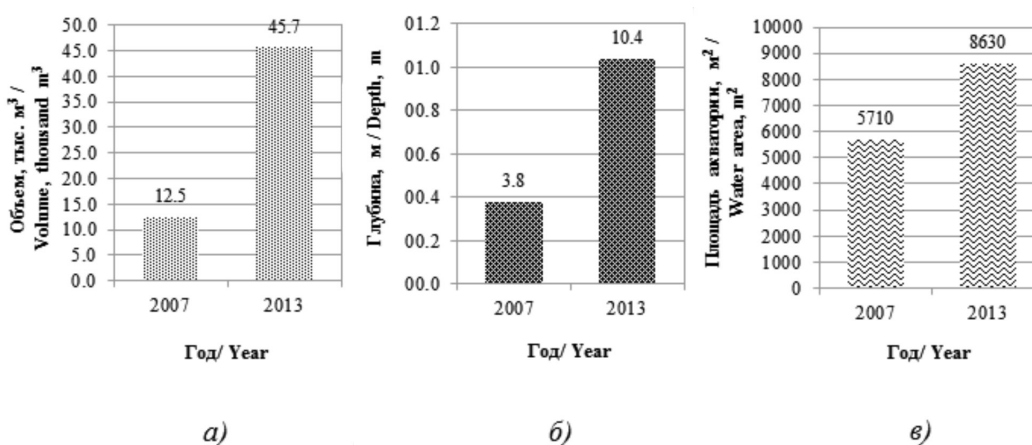


Рис. 4. Динамика озера Адыгене Приледниковое: а) динамика объема; б) динамика глубины; в) динамика площади акватории

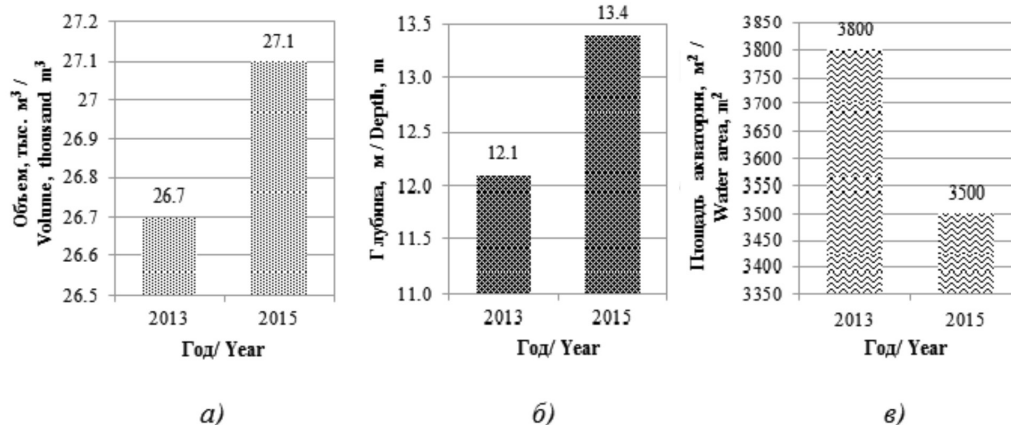


Рис. 5. Динамика озера Аксай. а) динамика объема; б) динамика глубины; в) динамика площади акватории

Следующие графики (рис. 4) построенные по данным батиметрических измерений другого озера из системы приледниковых озер Адыгене – оз. Адыгене Приледниковое, непосредственно примыкающего к краю языка ледника и развивающегося по мере таяния ниспадающего в него льда. Это озеро – сравнительно небольшое, недавно сформировавшееся и активно растущее. Сравниваются данные за 2007 и 2013 гг. За этот период объем озера вырос почти в 4 раза (рис. 4, а), глубина увеличилась почти в 3 раза (рис. 4, б), площадь акватории – примерно в полтора раза (рис. 4, в).

Озеро Аксай находится в верховьях долины Аксай (бассейн реки Ала-Арча) на высоте 3617 м. Оно относится к моренно-ледниковому типу, который наряду с моренным типом относится к наиболее распространенным и потенциально опасным разновидностям озер на территории Кыргызстана.

Озеро Аксай, находящееся в концевой части ледника Учитель (отделившийся приток ледника Аксай), образовалось около десяти лет назад. Так как озеро сформировалось недавно в нестабильной, интенсивно тающей концевой части ледника, оно продолжает активно меняться. Результаты батиметрической съемки отображают часть изменений, произошедшую с 2013 по 2015 г.

По данным батиметрической съемки 2013 и 2015 гг. построены графики (рис. 5). Объем озера за этот период изменился незначительно (рис. 5, а), площадь акватории немного уменьшилась (рис. 5, б), а глубина увеличилась более чем на метр (рис. 5, в), при этом ванна озера опустилась на 6 м, уровень озера понизился ниже плотинной

перемычки, вследствие чего характер стока из поверхностного стал исключительно подземным. Отсутствие поверхностного стока считается важным фактором, влияющим на уровень прорывоопасности высокогорного озера. При наличии поверхностного стока озерная плотина не ограничивает сток и изменения в режиме питания озера и резкие изменения объема воды не несут большой опасности. В бессточных озерах и озерах с исключительно подземным стоком возможно накопление объемов воды во время интенсивных осадков. По этой причине уровень прорывоопасности озера был повышен до 1-й категории, наиболее высокой.

Выводы

Наблюдаемые сегодня климатические изменения негативно влияют на состояние оледенения, и это становится дополнительным фактором нестабильности для всех прорывоопасных озер.

Результаты дешифрирования космических снимков показали, что на период обследования ледники Адыгене и Аксай пребывают в состоянии деградации. Это соответствует общей тенденции для оледенения долины Ала-Арча и всего Северного Тянь-Шаня.

В связи с таянием ледников Адыгене и Аксай и таянием погребенных льдов в их моренном чехле, происходит увеличение площади и глубины перигляциальных озер Адыгене Приледниковое и Аксай, и тем самым увеличивается селеопасность в долине р. Ала-Арча.

Снижение рисков, связанных с прорывами горных озер, возможно при условии

дальнейшего развития систем мониторинга прорыва гляциальных озер и активном сотрудничестве МЧС и научного сообщества в области предотвращения чрезвычайных ситуаций на высокогорных территориях.

Наиболее эффективной стратегией для предупреждения и уменьшения последствий гляциальных селей в регионе представляются разработка комплекса мер, направленных на выявление потенциально селеопасных районов и объектов, и дистанционный мониторинг опасных гидрологических явлений, а также организация природоохранных мероприятий и научных исследований для сохранения ледников и приледниковых ландшафтов.

Список литературы / References

1. Михайлов П.Г., Ломтев Е.А., Аналиева А.У., Гусманова М.С. Разработка концепции создания и функционирования системы мониторинга селеопасности в горных и предгорных районах // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2016. № 1 (15). С. 15–23.
Mikhaylov P.G., Lomtev E.A., Analieva A.U., Gusmanova M.S. Development of the concept of creating and operating a monitoring system of mudflow in mountainous and foothill areas // Measurement. Monitoring Control. Control. 2016. № 1 (15). P. 15–23 (in Russian).
2. Кидяева В.М., Крыленко И.Н., Крыленко И.В., Петраков Д.А., Черноморец С.С. Колебания уровня воды в горных ледниковых озерах Приэльбрусья // Геориск. 2013. № 3. С. 20–27.
Kidyaeva V.M., Krylenko I.N., Krylenko I.V., Petrakov D.A., Chernomoretz S.S. Water level fluctuations in mountain glacier lakes in the Elbrus region // Georisk. 2013. № 3. P. 20–27 (in Russian).
3. Усупаев Ш.Э., Абдрахманова Г.А., Гасанова А.Т., Узакова Ш.Н. Закономерности формирования георисков от селей горных стран (Кыргызстан, Таджикистан) // Наука и современное общество: взаимодействие и развитие. 2015. № 1. С. 23–26.
Usupaev Sh.E., Abdrakhmanova G.A., Hasanova A.T., Uzakova Sh.N. Regularities of georisk formation from villages of mountain countries (Kyrgyzstan, Tajikistan) // Nauka i sovremennoye obshchestvo: vzaimodeystviye i razvitiye. 2015. № 1. P. 23–26 (in Russian).
4. Георгиева М.А. Оценка степени опасности проявления селевых процессов на территории Кабардино-Балкарской республики // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 2. [Электронный ресурс]. URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=14676> (дата обращения: 30.05.2019).
Georgieva M.A. Estimation of the degree of danger of the manifestation of mudflow processes in the territory of the Kabardino-Balkarian Republic // Mezhdunarodnyy studentcheskiy nauchnyy vestnik. 2016. № 2. [Electronic resource]. URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=14676> (date of access: 30.05.2019) (in Russian).
5. Ерохин С.А. Станция Адыгене // Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Издание восьмое с изменениями и дополнениями. Бишкек: Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики, 2013. С. 607–614.
Erokhin S.A. Station Adygene // Monitoring, forecasting of hazardous processes and phenomena in the territory of the Kyrgyz Republic. The eighth edition with changes and additions. Bishkek: Ministerstvo chrezvychaynykh situatsiy Kyrgyzskoy Respubliki, 2013. P. 607–614 (in Russian).
6. Ерохин С.А., Загинаев В.В. Мониторинг озер Адыгене в период наполнения их ванн // Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Издание четырнадцатое с изменениями и дополнениями. Бишкек: Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики, 2017. С. 657–662.
Erokhin S.A., Zaginaev V.V. Monitoring of Adygen Lakes during the period of their bathing // Monitoring, forecasting of hazardous processes and phenomena in the territory of the Kyrgyz Republic. Fourteenth Edition with changes and additions. Bishkek: Ministerstvo chrezvychaynykh situatsiy Kyrgyzskoy Respubliki, 2017. P. 657–662 (in Russian).

УДК 66.021.4

ОБОБЩЁННАЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ИНЖИНИРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ ОТВАЛОВ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫХ РУД

Бобков В.И., Дли М.И., Панченко С.В.

Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет МЭИ»,
Смоленск, e-mail: vovabobkoff@mail.ru

Статья посвящена разработке обобщенной структурно-функциональной модели инжиниринга и управления экологически безопасной многостадийной химико-энерготехнологической системой переработки отходов апатит-нефелиновых руд горно-обогатительных комбинатов. Используется анализ сквозных взаимосвязанных тепло- и массообменных и физико-химических процессов, протекающих в различных зонах обжиговых машин конвейерного типа и руднотермических печей, для определения оптимальных с точки зрения энерго и ресурсосбережения конструктивных параметров элементов данной системы, а также алгоритмов ее функционирования. Рассматриваемая сложная схема представляется эксергетическим потоковым графом, изоморфным представленной химико-энерготехнологической системе, учитывающей практически все параметры, и определяет максимальную функциональность. Эксергетический метод позволяет учесть количественно и качественно энергетические потоки, что делает его, во взаимосвязи с энергетическим, максимально объективным. Обоснованный учёт обобщённых характеристик графа потоков эксергии позволяет уйти от множества типов моделей топологического анализа графов химико-энерготехнологических систем и применять унифицированный топоэксергетический подход к изучению химико-энерготехнологических систем. Важная особенность эксергетических методов – это их универсальность, позволяющая применять эксергию для оценки потоков и объёмов основных видов энергий, используемых при анализе балансов в любой системе через единый критерий энергетической эффективности. Применение этого метода в данной работе позволило обеспечить взаимосвязь эксергетических и технико-экономических характеристик. Увеличение размерности и сложности задач оптимизации и синтеза химико-энерготехнологической системы потребовало использования современного максимально эффективного математического аппарата для решения такого типа задач в реальном времени. Так как сложные иерархические системы включают в себя отношения подсистем, бинарные отношения объектов систем, применение теории графов оказалось наиболее эффективно.

Ключевые слова: руднотермическая печь, эксергия, обжиговая машина, температура, структурная модель, энергоресурсосбережение, химико-энерготехнологическая система, переработка отходов

THE GENERALIZED STRUCTURALLY FUNCTIONAL MODEL OF ENGINEERING AND MANAGEMENT OF ECOLOGICALLY SAFE PROCESSING OF DUMPS APATITE NEPHELINE ORE MINING AND PROCESSING WORKS

Bobkov V.I., Dli M.I., Panchenko S.V.

Smolensk Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute, Smolensk,
e-mail: vovabobkoff@mail.ru

Article is devoted to development of the generalized structurally functional model of engineering and management of ecologically safe multistage chemical and power technological system of processing of a wastage apatite of nepheline ores of mining and processing works. The analysis of the through interconnected warmly and mass-exchanged and physical and chemical processes proceeding in various zones of indurating machines conveyor-based and the ore-smelting furnaces for definition optimum from the point of view of power and resource-saving of design data of elements of this system and also algorithms of its functioning is used. The considered compound circuit is represented exergy flow graph, isomorphism to the presented chemical and power technological system, considering practically all parameters and defines the maximum functionality. The Method of exergy allows to consider quantitatively and qualitatively power streams what does it in interrelation with power, the most objective. Reasonable accounting of the generalized characteristics of the count of streams of an exergy, allows to leave from a set of types of models of the topological exergy analysis of counts of chemical and power technological systems and to apply the unified topology and approach to studying of chemical and power technological systems. The important feature of the methods exergy is their universality allowing to apply an exergy to assessment of streams and volumes of main types of the energies used in the analysis of balances in any system through uniform criterion of power effectiveness. Application of this method in this work, allowed to provide interrelation the exergy, technical and economic characteristics. Increase in dimension and complexity of problems of optimization and synthesis of a chemical and power technological system demanded use of the modern most effective mathematical apparatus for the solution of this kind of tasks in real time. As the complex hierarchical systems include the relations of subsystems, binary relations of objects of systems, application of the graph theory appeared most efficiently.

Keywords: ore-smelting furnace, exergy, indurating machine, temperature, structural model, energy resources saving, chemical and power technological system, processing of wastage

Истощение ресурсной базы минерального сырья и экологические проблемы предприятий обуславливают необходимость создания комплексной системы их хранения техногенных отходов апатит-нефелиновых руд горнопромышленных предприятий

переработки и утилизации, включающей с точки зрения аппаратно-технической составляющей многокамерные обжиговые машины конвейерного типа и руднотермические печи [1]. Очевидно, что формирование и эффективное функционирование указанной системы должно обеспечиваться использованием методологии инжиниринга энергоресурсоэффективных экологически безопасных производств переработки отходов апатит-нефелиновых руд на горно-обогатительных комбинатах, которая непосредственно связана с реализацией междисциплинарного подхода [2]. Важность создания научных основ комплексной энергоресурсоэффективной экологически безопасной переработки отходов апатит-нефелиновых руд на горно-обогатительных комбинатах определяется необходимостью комплексного применения фундаментальных методов анализа тепломассообменных и физико-химических процессов и сложных химико-энерготехнологических систем (ХЭТС); инжиниринга производств, включающих обжиговые конвейерные машины и руднотермические печи; оптимального управления энергоресурсоэффективностью многостадийных химических, металлургических и горных производств [3].

Цель исследования: решение актуальной фундаментальной задачи формирования научных основ инжиниринга энергоресурсоэффективных экологически безопасных многостадийных систем переработки отходов апатит-нефелиновых руд на горно-обогатительных комбинатах в обжиговых машинах конвейерного типа для производства окатышей с последующим их использованием в руднотермических печах [4]. Данная задача непосредственно связана с разработкой фундаментальных методов управления энергоресурсоэффективностью многостадийных комплексных технологических процессов на основе иерархических моделей тепломассообмена при реализации отдельных подпроцессов с учетом свойств перерабатываемого сырья и необходимости рационального использования вторичных энергетических ресурсов при перераспределении и замыкании энергетических потоков [5].

Это позволило разработать методологический аппарат инжиниринга сложного технологического оборудования переработки твердых техногенных отходов горно-обогатительных комбинатов и разработать комплексный алгоритм оптимального управления взаимосвязанными процессами, реализуемыми в обжиговых машинах

и руднотермических печах, с учетом параметров партий исходного мелкодисперсного сырья и требований к продукции на выходе печи [6, 7].

Материалы и методы исследования

Граф потоков эксергии имеет ряд свойств, которые позволяют объективно описывать ХЭТС переработки отходов апатит-нефелиновых руд горно-обогатительных комбинатов, с использованием анализа сквозных взаимосвязанных тепло- и массообменных и физико-химических процессов, протекающих в различных зонах обжиговых конвейерных машин и руднотермических печей. Формировать связи между объектами и подсистемами, иметь качественную и адекватную информацию о рассматриваемой ХЭТС [8, 9].

Эксергетический потоковый граф, рассматриваемой сложной многостадийной ХЭТС, с произвольной структурой, имеет вид: $G = \{V; H\} = \{V; E\}$, где $V = \{v_1, v_2, \dots, v_k\}$ – совокупность вершин, соответствующих отдельным элементам ХЭТС; $E = \{e_k, e_l\}$, – совокупность дуг перераспределения потоков эксергии в ХЭТС, $k \neq l$, $k = 1, 2, \dots, K$; $l = 1, 2, \dots, K$; H – многозначное отображение множества V в себя. Соответствие дуг $u_j = \{v_k, v_l\}$ упорядоченной двойке вершин (v_k, v_l) определяется направленностью эксергетического потока из вершины v_k в вершину v_l для рассматриваемой ХЭТС из элемента v_k в элемент v_l .

Важнейшие свойства графов эксергетических потоков определяются универсальностью топоэксергетического подхода: связность потоковых эксергетических графов (ПЭГ) обеспечивается наличием связи потоков для каждого элемента ХЭТС хотя бы с одним другим элементом; ПЭГ – это ориентированный граф; ПЭГ структуры ХЭТС, является антисимметрическим; не сильно связным; потери эксергии для любой вершины ПЭГ суммой значений графовых положительно и отрицательно инцидентных дуг, при вершине [10].

Такой подход позволяет уйти от множественности типов моделей топографического анализа ХЭТС и рассмотреть общий топоэксергетический подход к исследованию ХЭТС [11, 12]. Отличительной особенностью ПЭГ от тепловых, параметрических или материальных графов состоит в том, что они в большей мере определяются схемой рассматриваемой ХЭТС, а это обеспечивает контроль всех главных функциональных параметров ХЭТС [13, 14].

Результаты исследования и их обсуждение

В рассматриваемой ХЭТС переработки отходов апатит-нефелиновых руд горно-обогажительных комбинатов узлы графа соответствуют отдельным элементам структурно-функциональной модели инжиниринга: гранулятор; горн конвейерной обжиговой машины, в который направляются топливо и воздух на окисление, а удаляются остатки горения; зоны подогрева, низкотемпературной сушки, высокотемпературного обжига, тепловой рекуперации, охлаждения окатышей; выгрузная область машины со съёмом обработанных окатышей; отделение для шихтования; шихтовая часть руднотермической печи, с диффундирующими печными газами сквозь шихту и подогревающие её, затем поступающие на фильтрацию и конденсацию; область производства готового продукта с потреблением огромного количества электрической мощности, зона шлака с отбором в гранулятор, в котором тепловая энергия отбирается водой.

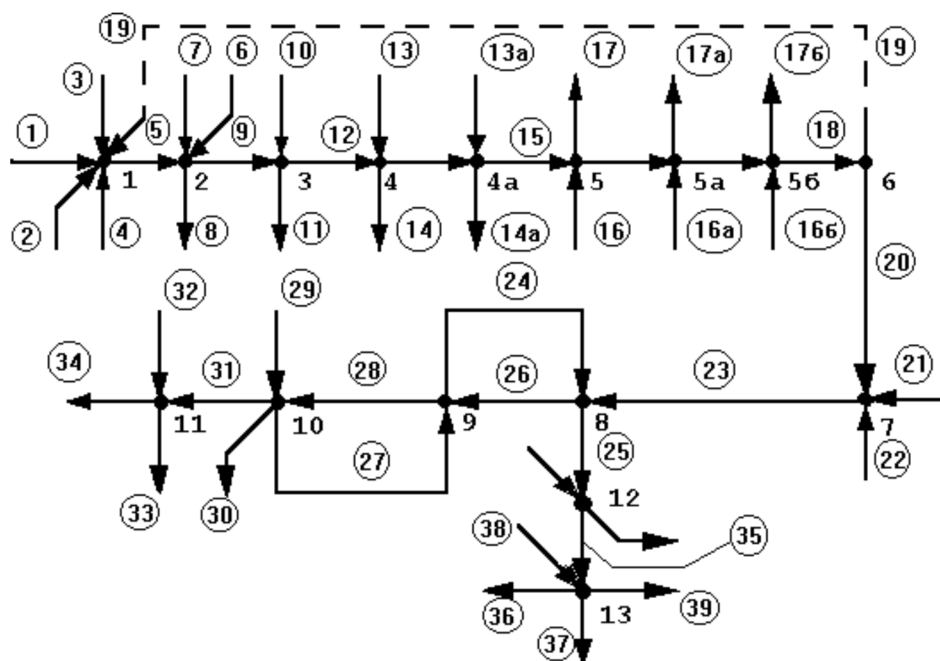
Дуги окатышей, кокса, воды на окатышивание и конденсации продукта графа соответствуют эксергетическим потокам: исходной и после горна шихты; зоны сушки и спекания; шихты в руднотермической печи и пыли на фильтрах; топлива; возду-

ха на горение, на прокалку, в зону охлаждения, горячего воздуха из зоны охлаждения; уходящих газов; обожжённых окатышей в хвостовой части конвейера обжиговой машины; охлажденных и годных окатышей; возврата; выходящих печных газов; потока газа в печи из области интенсивной реакции и плавления; электрической энергии в области реакции; шлака и газа-теплоносителя до и после гранулятора; готового продукта. Рассматриваемая ХЭТС имеет последовательную линейную взаимозависимость разветвляющихся потоков, технологических агрегатов, полупродуктов.

Укрупненная исходная исследуемой ХЭТС представлена на рисунке. Узлы графа представляют составляющие элементы, а дуги – эксергетические потоки структурно-функциональной схемы.

На этом ПЭГ представлены потоки различных по физической природе электрической и тепловой энергий.

Элементы структурно-функциональной модели ХЭТС: 1 – агрегат окомкования; 2 – горн обжиговой конвейерной машины; 3, 4 и 5 – зоны сушки, спекания и охлаждения обжиговой машины; 6 – грохот; 7 – отделение для подготовки шихты; 8 – шихтовая печная зона; 9 – зона расплавления; 10 – зона восстановления; 11 – зона шлака, 12 – фильтры; 13 – зона конденсата.



Структурно-функциональная схема ПЭГ в экологически безопасной многостадийной ХЭТС переработки отходов апатит-нефелиновых руд на горно-обогажительных комбинатах

ПЭГ структурно-функциональной модели ХЭТС: 1 – отходы апатит-нефелиновых руд; 2 и 21 – кокс; 3 и 22 – технологический кварцит; 38, 39 и 4 – техническая вода для конденсации и окомкователя соответственно; 5 – подаваемая шихта; 9 – нагретая в горне шихта; 12 – спекающаяся шихта; 23 – поступающая из шихтовального отделения шихта; 26 – подаваемая в зону расплава шихта; 6 – топливо; 7 – воздух на горение для горна; 10 – воздух, для спекания; 13 – воздух в зоне охлаждения обжиговой машины; 16 – горячий воздух поступающий из зоны охлаждения; 8, 11 и 14 – отходящие газы; 15, 18 и 20 – окатыши на конвейере обжиговой машины сырые, в зоне сушки и обжига и в зоне охлаждения соответственно; 19 – возврат на окомкование; 24 и 25 – выходящие печные газы; 28 – поступающий в зону реакции расплав; 29 – джоулева теплота, которая выделяется в реакционной области; 30 – феррофосфор; 31 и 34 – шлак в грануляторе и после обработки соответственно; 32 и 33 – газ или вода теплоносители; 35 – фильтрационные газы; 36 – печной газ; 37 – готовый продукт.

Границы объекта исследования определялись формальной постановкой содержательной задачи. Системный подход, подчинённый синтезу многообразных характеристик, в итоге позволил провести всесторонний анализ ХЭТС. Авторами производилась чёткая разработка отдельных подсистем иерархии ХЭТС для обеспечения и согласования надёжного функционирования их совокупности. Процедура динамической декомпозиции учитывает иерархичность ХЭТС в отдельных уровнях и отслеживает технологические качества элементов, который позволяет выявлять потенциал энергосбережения в совокупности элементов декомпозиции.

Имеются различные операции декомпозиции на первом и последующих уровнях. Во-первых, получение подсистем непосредственно получается по элементам ХЭТС, во-вторых, посредство подсистем последующих уровней.

Например: k -й подсистемой α -го уровня иерархии A_k^α называется собственное подмножество некоторой совокупности элементов $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$, где $A_k^\alpha \subset E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$; $A_k^\alpha \neq \emptyset$; $A_k^\alpha \neq E$; $A_1^\alpha \cup A_2^\alpha \cup \dots \cup A_\beta^\alpha = E$; $\alpha = 1, 2, \dots, \gamma - 1$; $A_i^\alpha \cap A_j^\alpha = \emptyset$; $i, j = 1, 2, \dots, \beta_\alpha$; $i \neq j$; $\beta_{\alpha-1} > \beta_\alpha \geq 2$; α – иерархические уровни; $\alpha = 0$ – уровень элементов ХЭТС; $\alpha = \gamma$ –

уровень центрального блока ХЭТС; β_α – количество подсистем в уровне α .

Для любой подсистемы $A_k^\alpha = 1, 2, \dots, \gamma - 1$, при $k = 1, 2, \dots, \beta_\alpha$, определяются технологические операторы. Большое количество возможных вариантов декомпозиции ХЭТС на подсистемы достигается как по структуре, так и по количеству подсистем. Выявлено что при надёжной и эффективной работе одиночной подсистемы, без согласованности с прочими подсистемами в совокупности комплекс как единое целое не функционирует.

Базой для системного анализа проблем увеличения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), при графическом отражении связей среди различных видов энергетических ресурсов предприятия и продукцией, на которую затрачиваются эти энергетические ресурсы.

Основной проблемой общей задачи максимального повышения эффективности использования ТЭР на комбинатах горно-обогатительного комплекса выступает выявление и отыскание резерва для их сбережения, обнаружение основных агрегатов потребляющих энергию, химико-энерготехнологических процессов других элементов функциональной структуры ХЭТС, имеющие максимальный потенциал сбережения ТЭР.

Для этого было предложено произвести ранжирование ХЭТС, что позволило выявить с помощью совокупности показателей источники основного максимального резерва сбережения ТЭР. Определялся интегрированный ранг для каждой вершины ПЭГ, потоков с учётом рассмотрения всех видов энергетических ресурсов и значимости всех показателей.

Заключение

Обнаружено что весовые коэффициенты показателей согласованно учитывают динамику значимости технико-экономических проблем горно-обогатительного комплекса. Следует отметить, что ранги, характеризующие частные показатели, максимально устойчивые величины, которые определяют в итоге эффективность использования энергии.

В системе оценки эффективности энергетического использования и обнаружения узлов с максимальным потенциалом сбережения научно обосновано применять такие показатели, которые определяются спецификой конкретного производства и перспективой развития.

Таким образом, разработана композиционная структурно-функциональная модель инжиниринга и управления экологически безопасной многостадийной химико-энерготехнологической системой переработки отходов горно-обогатительных комбинатов апатит-нефелиновых месторождений. Проведён системный анализ сквозных взаимосвязанных тепло- и массообменных и физико-химических процессов, протекающих в различных зонах обжиговых машин конвейерного типа и руднотермических печей. Выявлены оптимальные с точки зрения энерго- и ресурсосбережения конструктивные параметры элементов данной системы и построены алгоритмы ее функционирования.

При дальнейшей работе в данном направлении следует учитывать совокупность энергетической эффективности, месторасположения, структуры главных резервов, как многовекторный характер работы горно-обогатительных предприятий, а также неравнозначности первоочередных задач. Необходимо рассмотреть возможность обнаружения первоочередных источников для экономии энергетических ресурсов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 18-29-24094 МК.

Список литературы

1. Зайнуллин Л.А., Дружинин Г.М., Буткарев А.А. Инновационные разработки ОАО ВНИИМТ для энергосбережения и экологии в металлургии // *Черная металлургия*. 2014. № 7 (1375). С. 79–82.
2. Zaynullin L.A., Druzhinin G.M., Butkarev A.A. Innovative developments of VNIIMT OJSC for energy saving and ecology in metallurgy // *Chernaya metallurgiya*. 2014. № 7 (1375). P. 79–82 (in Russian).
3. Леонтьев Л.И., Григорович К.В., Костина М.В. Фундаментальные исследования как основа создания новых материалов и технологий в области металлургии. Часть 1 // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2016. Т. 59. № 1. С. 11–22. DOI: 10.17073/0368-0797-2016-1-11-22.
4. Leont'ev L.I., Grigorovich K.V., Kostina M.V. The development of new metallurgical materials and technologies. Part 1 // *Steel in Translation*. 2016. V. 46. № 1. P. 6–15. DOI: 10.3103/S096709121601006X.
5. Новичихин А.В., Шорохова А.В. Процедуры управления поэтапной переработкой железорудных отходов горнопромышленных районов // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2017. Т. 60. № 7. С. 565–572. DOI: 10.17073/0368-0797-2017-7-565-572.
6. Novichikhin A.V., Shorokhova A.V. Systematic processing of iron-ore waste in mining regions // *Steel in Translation*. 2017. V. 47. № 7. P. 456–462. DOI: 10.3103/S0967091217070105.
7. Бобков В.И. Моделирование термически активируемых процессов обжига окомкованного сырья // *Тепловые процессы в технике*. 2016. Т. 8. № 1. С. 42–47.
8. Bobkov V.I. Modeling of Thermally-Activated Process of Pellet Stuff Baking // *Teplovye processy v tekhnike*. 2016. V. 8. № 1. P. 42–47 (in Russian).
9. Бобков В.И., Мищенко М.Н. Исследование теплофизических характеристик окомкованного фосфатного материала // *Современные наукоемкие технологии*. 2016. № 7–1. С. 26–29.
10. Bobkov V.I., Mishchenko M.N. Research of heatphysical characteristics of phosphoric pellets // *Modern high technologies*. 2016. № 7–1. P. 26–29 (in Russian).
11. Бобков В.И. Энергосбережение в технологии сушки материала в плотном слое на основе интенсификации тепло-массообмена // *Современные наукоемкие технологии*. 2015. № 12–4. С. 585–589.
12. Bobkov V.I. Energy saving in material drying technologies in the dense layer based on heat and mass transfer intensification // *Modern high technologies*. 2015. № 12–4. P. 585–589 (in Russian).
13. Леонтьев Л.И. Физико-химические особенности комплексной переработки железосодержащих руд и техногенных отходов // *XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии Тезисы докладов в 5 т. Уральское отделение РАН. Екатеринбург*, 2016. С. 92.
14. Leontyev L.I. Physicochemical features of the integrated processing of iron-containing ores and industrial wastes // *XX Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry Abstracts in 5 volumes. Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Ekaterinburg*, 2016. P. 92 (in Russian).
15. Luis P., Van der Bruggen B. Exergy analysis of energy-intensive production processes: advancing towards a sustainable chemical industry. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2014. Vol. 89. No. 9. P. 1288–1291. DOI: 10.1002/jctb.4422.
16. Боковиков Б.А., Брагин В.В., Швыдкий В.С. О роли зоны тепловой инерции при термообработке окатышей на обжиговых конвейерных машинах // *Сталь*. 2014. № 8. С. 43–48.
17. Bokovikov B.A., Bragin V.V., Shvydkii V.S. Role of the thermal-inertia zone in conveyer roasting machines // *Steel in Translation*. 2014. T. 44. № 8. P. 595–601. DOI: 10.3103/S096709121408004X.
18. Elgharbi S., Horchani-Naifer K., Férid M. Investigation of the structural and mineralogical changes of Tunisian phosphorite during calcinations. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2015. Vol. 119. No. 1. P. 265–271. DOI: 10.1007/s10973-014-4132-5.
19. Тимофеева А.С., Никитченко Т.В., Федина В.В. Определение комкуемости железорудной шихты с целью прогнозирования прочностных свойств окатышей // *Современные наукоемкие технологии*. 2015. № 8. С. 53–57.
20. Timofeeva A.S., Nikitchenko T.V., Fedina V.V. Determination of pelletizing ability in iron feed materials for predicting the pellets strength properties // *Modern high technologies*. 2015. № 8. P. 53–57 (in Russian).
21. Буткарев А.А. Особенности практического использования методологии ВНИИМТ для оптимизации теплотехнических схем обжиговых конвейерных машин // *Металлург*. 2011. № 4. С. 38–43.
22. Butkarev A.A. Peculiarities of the practical use of the VNIIMT methodology for optimizing heat engineering schemes of firing conveyor machines // *Metallurg*. 2011. № 4. P. 38–43 (in Russian).
23. Бобков В.И. Оптимизация химико-технологического процесса сушки в стационарном режиме многослойной массы фосфоритовых окатышей по критерию энергоресурсоэффективности // *Современные наукоемкие технологии*. 2018. № 5. С. 25–29.
24. Bobkov V.I. Optimization of chemical and technological process of drying in steady conditions of multilayer mass of phosphorous pellets by criterion of energy efficiency // *Modern high technologies*. 2018. № 5. P. 25–29 (in Russian).
25. Швыдкий В.С., Фатхутдинов А.Р., Девятых Е.А., Девятых Т.О., Спирин Н.А. К математическому моделированию слоевых металлургических печей и агрегатов. Сообщение 2 // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2017. Т. 60. № 1. С. 19–23. DOI: 10.17073/0368-0797-2017-1-19-23.
26. Shvydkii V.S., Fatkhutdinov A.R., Devyatykh E.A., Devyatykh T.O., Spirin N.A. On mathematical modeling of layer metallurgical furnaces and aggregates. Report 2 // *Izvestiya vysokikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya*. 2017. T. 60. № 1. P. 19–23 (in Russian).

УДК 628.32

ОЧИСТКА НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ЗАКАЧКИ В ПЛАСТ

Короткова Т.Г., Ксандопуло С.Ю., Заколюкина А.М., Самофал Д.Ю.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар,
e-mail: korotkova1964@mail.ru

Приведены результаты анализов качества пластовой воды, поверхностного стока и очищенных нефтепромысловых сточных вод (НСВ) месторождения Прибрежное Краснодарского края. Содержание нефтепродуктов в пластовых водах составляет 149 мг/дм³, взвешенных веществ 14 мг/дм³. Поверхностная (дождевая) сточная вода содержит нефтепродуктов менее 0,05 мг/дм³. Содержание нефтепродуктов в очищенных сточных водах колеблется от 60 до 160 мг/дм³, что является допустимым, но неблагоприятным показателем, снижающим нефтеотдачу пласта. Предложена схема очистки НСВ, включающая четыре стадии: предочистку, обработку, очистку и доочистку. Для предочистки и обработки установлен перевернутый гидроциклон, способствующий интенсификации разрушения бронирующих оболочек на каплях дисперсной фазы и промежуточного слоя грубодисперсной фазы и частичному выведению концентрированных нефтепродуктов и выделившихся газов через верхний штуцер. Стадия очистки протекает в отстойнике с нижними и верхними перегородками. Перегородки предназначены для изменения траектории движения воды вверх и вниз с целью турбулизации жидкости для отделения нефтяного шлама и коалесценции капель нефтепродуктов. Для каждой секции предусмотрен дренаж в виде конических емкостей с нижним штуцером для удаления взвешенных веществ (нефтяного шлама). На выходе из бокового штуцера отстойника, расположенного в верхней части, удаляется нефтяная эмульсия (уловленная нефть), которая рециркулируется на очистку в гидроциклон. Из нижнего бокового штуцера, приподнятого относительно дна отстойника, выводится очищенная сточная вода и подается на доочистку в самопромывной песчаный фильтр. Промывные воды песчаного фильтра, содержащие нефтепродукты, сбрасываются в гидроциклон. Из песчаного фильтра выводится очищенная сточная вода.

Ключевые слова: загрязнение, нефтепромысловые сточные воды, количественный химический анализ, схема очистки

OILFIELD WASTEWATER TREATMENT FOR INJECTION INTO THE RESERVOIR

Korotkova T.G., Ksandopulo S.Yu., Zakolyukina A.M., Samofal D.Yu.

Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: korotkova1964@mail.ru

The results of analyzes of the reservoir water quality, surface runoff and treated oilfield wastewater (OFWW) from the Pribrezhnoye deposit of the Krasnodar Region are presented. The petroleum content in the reservoir waters is 149 mg/l, suspended solids 14 mg/dm³. Surface (rain) waste water contains petroleum less than 0.05 mg/l. The content of petroleum products in treated wastewater ranges from 60 to 160 mg/l, which is an acceptable but unfavorable indicator, which reduces the petroleum recovery. A scheme for the purification of OFWW is proposed, which includes four stages: pretreatment, preparation, treatment and after-treatment. For pretreatment and preparation, an inverted hydrocyclone is installed, contributing to the intensification of the destruction of the reservation shells on the drops of the dispersed phase and the intermediate layer of the coarse phase and the partial elimination of concentrated petroleum products and released gases through the upper fitting. The treatment stage proceeds in a settling basin with lower and upper partitions. Partitions are designed to change the trajectory of water movement up and down in order to turbulize liquid to separate petroleum sludge and coalescence of petroleum droplets. For each section, drainage is provided in the form of conical tanks with a lower fitting to remove suspended solids (petroleum sludge). At the outlet of the side fitting of the settling tank, located in the upper part, petroleum emulsion (trapped petroleum) is removed, which is recycled to the hydrocyclone for cleaning. Purified sewage is discharged from the lower side fitting, which is raised relative to the bottom of the settler, and is fed to the after-treatment in a self-washing sand filter. Sand filter wash water containing oil products is discharged into a hydrocyclone. Purified waste water is removed from the sand filter.

Keywords: pollution, oilfield wastewater, quantitative chemical analysis, treatment scheme

На нефтяных месторождениях в процессе добычи нефти извлекаются пластовые воды, которые отделяются от нефти на установках подготовки нефти и представляют собой жидкие нефтесодержащие отходы. Пластовые воды (80–95%), ливневые (дождевые стоки) (1–3%) и производственные стоки (4–15%) образуют нефтепромысловые сточные воды (НСВ). Нефть в НСВ находится в растворенном, эмульгированном и свободном (плавающем) состояниях. Кроме нефти

в НСВ содержатся механические примеси (выбуренная порода, продукты коррозии, деэмульгаторы и т.д.) и растворенные газы (азот, сероводород, метан, кислород и др.). При очистке НСВ удаляются механические примеси (взвешенные вещества), плавающая и эмульгированная нефть и вещества, применяемые в технологии добычи нефти из скважины. Растворенная нефть практически не оказывает какого-либо влияния на приемистость нагнетательных скважин [1].

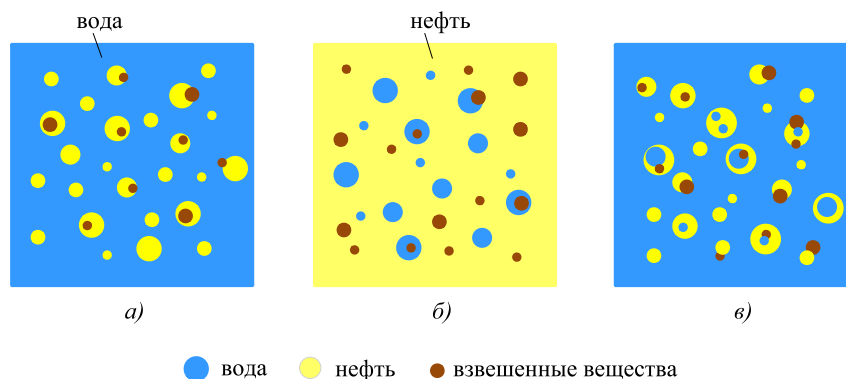


Рис. 1. Типы суспензионно-эмульсионных систем: а) прямая; б) обратная; в) множественная

Сложность очистки НСВ заключается в том, что механические примеси и нефть существуют совместно, а не раздельно. Это мнение, изложенное ведущим инженером филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» Л.В. Закшевской в [2], основано на экспериментальных исследованиях по извлечению примесей из воды. Все механические примеси смочены нефтью. На границе раздела фаз нефть – вода образуется высококонцентрированная грубодисперсная эмульсия промежуточного слоя, в которой концентрация механических примесей во много раз превышает их концентрацию в нефти или в воде. При разрушении этого слоя в зависимости от плотности скоагулированного комплекса в отстойнике будет происходить либо его осаждение, либо всплытие. При закачке очищенной воды в нагнетательные скважины примеси, остающиеся в воде после очистки, представляют собой эмульгированные пленки разрушенных структур промежуточных слоев.

Таким образом, НСВ полидисперсны и многофазны и представляют собой суспензионно-эмульсионную систему, классификацию которой на основе вышеизложенного представим аналогично классификации типов эмульсий и назовем прямой (а), обратной (б) и множественной (в) (рис. 1). Промежуточный слой грубодисперсной эмульсии на границе фаз нефть – вода представим упрощенно на рис. 2.

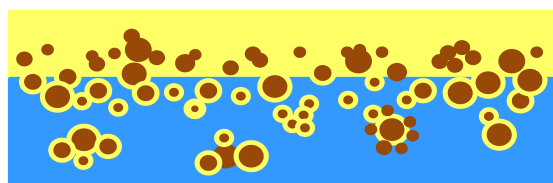


Рис. 2. Промежуточный слой грубодисперсной эмульсии

Очистку НСВ осуществляют с помощью механических и гидромеханических процессов: перемешиванием, отстаиванием, центрифугированием и фильтрованием с целью разрушения бронирующих оболочек на каплях нефти, коалесценции капель нефти и выведения частично сконцентрированной нефтяной фазы и осадка (механические примеси). В качестве оборудования используют резервуары с мешалками, отстойники, сепараторы, центрифуги, гидроциклоны, каплеобразователи, флотаторы и фильтры. Исследованы физико-химические методы воздействия, такие как влияние магнитного поля [3] и вибрация [4], электрохимические – электрокоагуляция [5], электрофлотация [6] и др. Широкое распространение получили блочные установки, комбинирующие методы центрифугирования и отстаивания [1], центрифугирования и коалесценции [7].

Целью данной работы была разработка схемы очистки нефтепромысловых сточных вод для закачки в пласт на основе показателей качества поверхностной, пластовой и очищенной нефтепромысловой сточной воды на нефтяном месторождении Прибрежное (Краснодарский край).

Материалы и методы исследования

Количественный химический анализ поверхностной, пластовой и очищенной воды выполнен сотрудниками отдела обеспечения разработки месторождений углеводородов филиала ООО «Газпром добыча Краснодар» – ИТЦ по нормативным документам: водородный показатель (рН) ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97; взвешенные вещества РД 52.24.468-2005; нефтепродукты ПНД Ф 14.1:2:4.5-95; БПК₅ ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97; сухой остаток (общая минерализация) ПНД Ф 14.1:2:4.114-97; железо (окисное)

ПНД Ф 14.1.2:4.50-96; кальций ПНД Ф 14.1:2:3.95-97; магний РД 52.24.395-2017; хлорид-ион РД 52.24.407-2017; карбонат-ион ГОСТ 31957-2012; гидрокарбонат-ион ГОСТ 31957-2012; сульфат-ион РД 52.24.483-2005; сероводород и сульфиды (в пересчете на сероводород) РД 52.24.450-2010; растворенный кислород РД 52.24.419-2005; содержание суммы ионов натрия и калия выполнено расчетным методом; плотность определена ареометрическим методом при температуре 25 °С.

Результаты исследования и их обсуждение

Степень очистки НСВ определяется индивидуально для каждого месторождения. Как было изложено выше, сложность заключается в отделении от воды эмульгированной нефти и грубодисперсной эмульсии. Содержание нефти и механических примесей в очищенной сточной воде нефтяных месторождений превышает нормативы, определяемые отраслевым стандартом ОСТ 39-225-88, в котором изложены требования к качеству воды, применяемой для заводнения нефтяных пластов, в зависимости от коллекторских свойств пласта. Согласно этому документу при проницаемости пористой среды коллектора свыше 0,6 мкм² максимальное допустимое содержание механических примесей должно быть до 50 мг/л и нефти до 50 мг/л. В настоящее время действие ОСТ 39-225-88 не определено законо-

дательством в связи с вступлением в силу ФЗ от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании». Повышенное содержание нефти и взвешенных веществ в воде, закачиваемой в пласт, приводит к неполному извлечению нефти из скважины.

Основное содержание НСВ составляют пластовые воды. Состав пластовой воды месторождения Прибрежное (Краснодарский край) для скважины № 4 в декабре 2018 г. составил, в мг/л: взвешенные вещества 14 ± 4; нефтепродукты 149 ± 21; сухой остаток (общая минерализация) 12200 ± 600; железо (окисное) 2,15 ± 0,32; кальций 36 ± 4; магний 21,2 ± 3; хлорид-ион 5840 ± 70; карбонат-ион менее 6; сульфат-ион 90 ± 8; сероводород и сульфиды (в пересчете на сероводород) менее 0,05; растворенный кислород 2,64 ± 0,26; сумма ионов натрия и калия 4500 ± 1100. Плотность составила 1003 ± 5 кг/м³. Водородный показатель 7,82 ± 0,2 ед. рН.

Поверхностные (ливневые) сточные воды или дождевой сток в НСВ присутствуют на уровне 3 %. Состав ливневых сточных вод с территории установки комплексной подготовки газа и конденсата (УКПГиК) Прибрежного месторождения в октябре 2016 г. составил: рН = 6,7 ± 0,2; нефтепродукты менее 0,05 мг/л; БПК₅ = 2,1 ± 0,5 мгО₂/л; железо общее 0,075 ± 0,022 мг/л. По показателю рН дождевой сток находится на границе между слабокислой средой (рН = 4-6) и нейтральной (рН = 7).

Показатели качества очищенной воды для закачки в пласт месторождения Прибрежное Краснодарского края (нагнетательная скважина № 4, 2017 г.)

Точка отбора	Показатель	Ед. изм.	Результат КХА с указанием погрешности (при Р = 0,95)			
			I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал
Емкость с пластовой водой	Массовая концентрация взвешенных веществ	мг/л	105 ± 7	173 ± 7	48 ± 4	22 ± 4
	Массовая концентрация нефтепродуктов	мг/л	103 ± 14	141 ± 20	71 ± 10	65 ± 9
	Водородный показатель	ед. рН	7,25 ± 0,20	7,23 ± 0,2	7,05 ± 0,2	7,15 ± 0,2
	Массовая концентрация железа (III)	мг/л	1,67 ± 0,25	1,75 ± 0,26	–	1,41 ± 0,21
	Массовая концентрация метанола	мг/л	1020 ± 120	<0,5	3020 ± 360	1160 ± 140
	Массовая концентрация сероводорода и сульфидов	мг/л	<0,05	<0,05	–	<0,05
	Массовая концентрация растворенного кислорода	мг/л	3,16 ± 0,1	2,84 ± 0,28	3,80 ± 0,12	2,76 ± 0,28

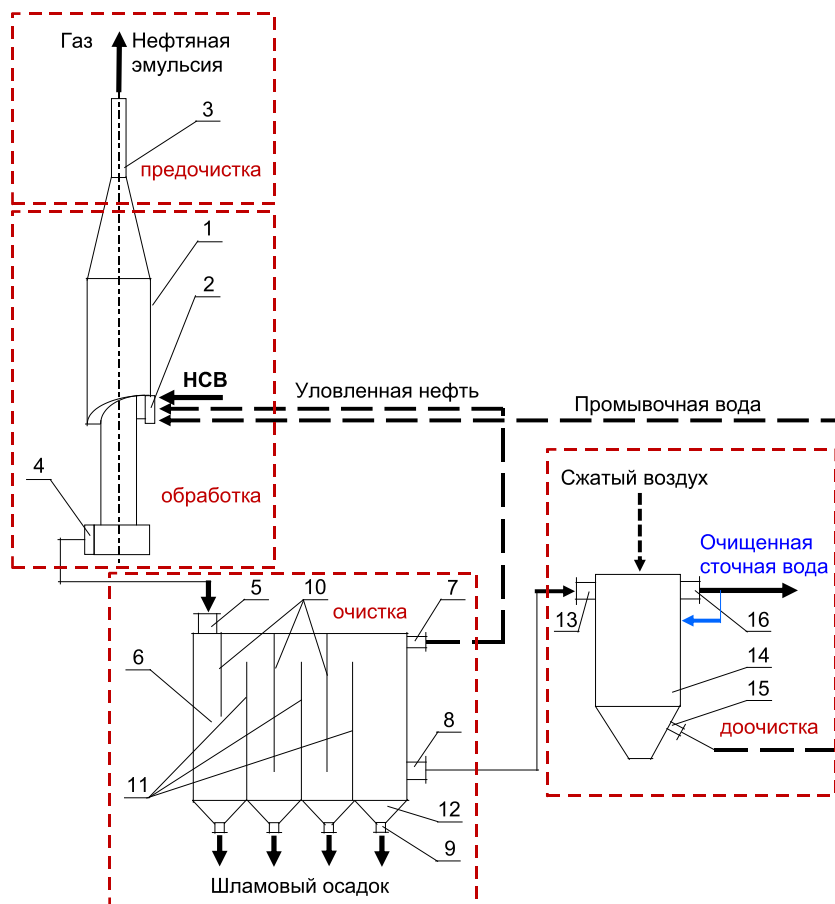


Рис. 3. Схема установки для очистки нефтепромысловых сточных вод для закачки в пласт:
 1 – гидроциклон; 2 – патрубок подвода исходной нефтепромысловой сточной воды; 3 – патрубок отвода верхнего слива; 4 – патрубок отвода нижнего слива; 5 – входной патрубок отстойника; 6 – отстойник; 7 – патрубок отвода нефтяной эмульсии; 8 – патрубок очищенной воды; 9 – патрубок отвода шламового осадка; 10 – верхние вертикальные перегородки; 11 – нижние вертикальные перегородки; 12 – коническое днище; 13 – входной патрубок самопромывного песчаного фильтра; 14 – самопромывной песчаный фильтр; 15 – патрубок отвода промывочной воды; 16 – патрубок отвода очищенной воды

Очистка НСВ проводится в отстойниках. Показатели качества за 4 квартала 2017 г. приведены в таблице. Несмотря на поквартальное снижение концентраций взвешенных веществ с 105 до 22 мг/л и нефтепродуктов с 103 до 65 мг/л, их содержание в очищенной воде остается завышенным. В настоящее время нефтедобывающее предприятие руководствуется собственными временными нормами, поэтому данные показатели качества воды для закачки в пласт являются допустимыми. В перспективе – снижение концентраций примесных компонентов в очищенной сточной воде.

Для разработки установки очистки НСВ нами проведено исследование стадий очистки, осуществляемых в современных предла-

гаемых установках, защищенных патентами РФ, и предложена структура очистки НСВ, включающая четыре стадии: предочистку, обработку, очистку и доочистку [8]. Стадии предочистки и обработки, обработки и очистки могут проводиться как раздельно друг от друга, так и быть совмещенными в одном аппарате. Под предочисткой понимается частичное выведение из НСВ нефтяной эмульсии или взвешенных веществ (нефтяного шлама). Обработка включает все возможные варианты разрушения бронирующих оболочек, организацию коалесценции нефтяных капель и высвобождение механических примесей из нефтяных капель, т.е. приводит к разрушению внутренней упорядоченности суспензионно-эмульсионной

системы. Стадия доочистки способствует доведению показателей качества очищенной сточной воды до нормативных. Отсутствие какой-либо стадии снижает эффективность установок в целом.

На рис. 3 приведена схема очистки НСВ, реализующая четыре стадии: предочистку, обработку, очистку и доочистку. Для предочистки и обработки установлен перевернутый гидроциклон 1, способствующий интенсификации разрушения бронирующих оболочек и промежуточного слоя грубодисперсной фазы и частичному выведению концентрированных нефтепродуктов и выделившихся газов через верхний штуцер. Из нижнего штуцера 4 гидроциклона 1 сточная вода поступает в отстойник 6 закрытого типа. Стадия очистки протекает в отстойнике 6, снабженном верхними 10 и нижними 11 перегородками.

Первая верхняя перегородка 10 по высоте меньше остальных верхних перегородок. Это способствует организации противотока между опускающимся и поднимающимся потоками воды, что в свою очередь приводит к коалесценции капель нефти. Перегородки предназначены для изменения траектории движения воды вверх и вниз с целью её турбулизации для отделения нефтяного шлама и коалесценции капель нефтепродуктов. Для каждой секции предусмотрен дренаж в виде конического днища 12 с нижним патрубком 9 для удаления взвешенных веществ (нефтяного шлама). На выходе из верхнего бокового штуцера 7 отстойника 6 удаляется нефтяная эмульсия (уловленная нефть), которая рециркулируется на очистку в гидроциклон 1. Из нижнего бокового штуцера 8, приподнятого относительно дна отстойника 6, выводится очищенная сточная вода и подается на доочистку в самопромывной песчаный фильтр 14. Промывные воды песчаного фильтра 14, содержащие нефтепродукты, сбрасываются в гидроциклон 1. Из песчаного фильтра 14 через патрубок 16 выводится очищенная сточная вода с показателями качества по нефтепродуктам и взвешенным веществам, отвечающим требованиям ОСТ 39-225-88.

Заключение

Предложена схема очистки НСВ для заправки в пласт, включающая перевернутый гидроциклон, отстойник и самопромывной песчаный фильтр. В схеме реализованы четыре стадии: предочистка, обработка, очистка и доочистка. В гидроциклоне протекают стадии предочистки и обработки, в отстойнике – очистка, в песчаном фильтре – доочистка.

Авторы выражают благодарность руководству месторождения Прибрежное Краснодарского края за предоставленные показатели качества поверхностных, пластовых и очищенных нефтепромысловых сточных вод.

Список литературы / References

1. Адельшин А.А., Гришин Б.М., Бикунова М.В., Сафронов М.А. Очистка сточных вод нефтепромыслов с применением высокопроизводительных блочно-модульных установок: монография. Пенза: ПГУАС, 2015. 136 с.
Adelshin A.A., Grishin B.M., Bikunova M.V., Safronov M.A. Wastewater treatment of oil fields with the use of high-performance modular units: monograph. Penza: PGUAS, 2015. 136 p. (in Russian).
2. Закшевская Л.В., Шипигузов Л.М., Рябов В.Г. Нормирование качества нефтепромысловых вод для системы ППД Пашинского и Берегового месторождений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2012. № 14. С. 214–221.
Zakshevskaya L.V., Shipiguzov L.M., Ryabov V.G. Rationing of the quality of oil field waters for the PPD system of the Pashinsky and Beregovoe fields // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Chemical technology and biotechnology. 2012. № 14. P. 214–221 (in Russian).
3. Гимазова Г.К., Вахитова А.К., Ермеев А.М., Елпидинский А.А. Изучение влияния магнитного поля на процесс обезвоживания нефтяных эмульсий // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 8. С. 107–109.
Gimazova G.K., Vakhitova A.K., Ermeev A.M., Elpidinsky A.A. Study of the influence of the magnetic field on the process of dehydration of oil emulsions // Bulletin of the University of Technology. 2015. V. 18. № 8. P. 107–109 (in Russian).
4. Вольцов А.А. Интенсификация процесса расслоения водонефтяных эмульсий путем их магнитно-вибрационной обработки: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2005. 120 с.
Voltsov A.A. Intensification of the process of separation of water-oil emulsions by their magnetic-vibration treatment: dis. ... cand. tech. sciences. Ufa, 2005. 120 p. (in Russian).
5. Максимович В.Г., Попова Г.Г., Сахаров Д.И., Руденко Е.Д., Буков Н.Н., Панюшкин В.Т. Электрокоагуляционная очистка образцов сточных вод ЗГВ «Бугундырь» // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 10. С. 18–20.
Maksimovich V.G., Popova G.G., Sakharov D.I., Rudenko E.D., Bukov N.N., Panyushkin V.T. Electrocoagulation treatment of sewage formation waters samples of NTA «Bugundyry» // Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse. 2012. № 10. P. 18–20 (in Russian).
6. Назаров В.Д., Назаров М.В., Хабибуллина М.Р. Очистка производственных сточных вод электрофлотацией // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2011. № 2. С. 72–79. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.02.17.
Nazarov V.D., Nazarov M.V., Khabibullina M.R. Treatment of industrial wastewater by electroflotation // Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura. 2011. № 2. P. 72–79 (in Russian).
7. Закшевская Л.В. Испытания технологии очистки сточных вод с использованием сепаратора ООО «Новые технологии» в ООО «Лукойл-Пермь» // Инженерная практика. 2017. № 8. [Электронный ресурс]. URL: <https://glavteh.ru/очистка-сточных-вод-сепаратор-кмсрк/> (дата обращения: 23.08.2019).
Zakshevskaya L.V. Tests of wastewater treatment technology using the separator LLC New Technologies in LLC Lukoil-Perm // Inzhenernaya praktika. 2017. № 8. [Electronic resource]. URL: <https://glavteh.ru/очистка-сточных-вод-сепаратор-кмсрк/> (date of access: 23.08.2019). (in Russian).
8. Короткова Т.Г., Заколюкина А.М., Самофал Д.Ю. Схема стадий очистки нефтепромысловых сточных вод // Научные труды КубГТУ: электронный сетевой политехнический журнал. 2019. № 3. С. 33–45. [Электронный ресурс]. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/2527> (дата обращения: 23.08.2019).
Korotkova T.G., Zakolyukina A.M., Samofal D.Yu. Scheme of the stages of oil-field wastewater treatment // Scientific works of the Kuban State Technological University. 2019. № 3. P. 33–45. [Electronic resource]. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/2527> (date of access: 23.08.2019). (in Russian).

УДК 911:8:574.24:519.876:574.21:582.635.1

ВЛИЯНИЕ КООРДИНАТ БЕРЕЗ У АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ ВЕГЕТАЦИИ И МАКСИМАЛЬНУЮ ШИРИНУ УЧЕТНЫХ ЛИСТЬЕВ

Мазуркин П.М., Кудряшова А.И.

*Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола,
e-mail: kaf_po@mail.ru, Little-one7@yandex.ru*

Для повышения экологической оценки качества окружающей растущие березы территории летом 2018 г. была измерена ширина десяти учетных листьев у десяти учетных деревьев березы повислой в черте города Йошкар-Ола. Были замерены расстояния от края автомобильной дороги до центра кроны берез, а также высота расположения зоны кроны у каждой березы 1,5–2,0 м со стороны преобладающих ветров (примерно северо-запад). На каждой березе сбоку кроны выделялась зона диаметром примерно 0,5 м, где выделяли десять учетных листьев, к их корешкам привязывали белые нитки с бирками, на которых были указаны номера учетных листьев. Приведенная система координат вычислялась следующим образом. Сотовым телефоном были измерены географические координаты оси ствола (в градусах, минутах и секундах), которые были приведены к условным северной широте и восточной долготы. От этих влияющих факторов были получены закономерности изменения времени вегетации с первого мая и средней максимальной ширины учетных листьев. Проведен факторный анализ шести влияющих переменных и двух зависимых показателей. Даны формулы и графики. Получено, что влияние расстояния от дороги на максимум ширины учетных листьев имеет коэффициент корреляции 0,7574, а влияние приведенной восточной долготы на этот же биометрический параметр – 0,7514. Средняя максимальная ширина учетных листьев березы повислой может стать великолепным индикатором загрязнения придорожной территории. Для идентификации волновых закономерностей необходимо в разных местах принять более двадцати берез.

Ключевые слова: вегетация листьев, этап роста до максимума, преобладающие ветра, 10 берез, по 10 учетных листьев, ширина, дорога, координаты, тренды, колебательная адаптация, закономерности

EFFECT OF COORDINATE BIRCH AT AVTOMOBILE ROADS ON THE AVERAGE TIME OF VEGETATION AND MAXIMUM WIDTH OF ACCOUNTING LEAVES

Mazurkin P.M., Kudryashova A.I.

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: kaf_po@mail.ru, Little-one7@yandex.ru

In order to improve the environmental quality assessment of the surrounding growing birch area in the summer of 2018, the width of ten accounting leaves of ten birch trees hanging in the city of Yoshkar-Ola was measured. Distances from the edge of the road to the center of the birches were measured, as well as the height of the crown zone at each birch 1.5–2.0 m from the prevailing winds (approximately North-West). On each birch tree on the side of the crown there was a zone with a diameter of about 0.5 m, where ten accounting leaves were allocated, white threads with tags were tied to their roots, on which the numbers of accounting leaves were indicated. The reduced coordinate system was calculated as follows. The cell phone measured the geographical coordinates of the trunk axis (in degrees, minutes and seconds), which were given to the conditional Northern latitude and Eastern longitude. These influencing factors were obtained regularities of changes in time of the growing season from the first of may and the average maximum width of leaves account. The factor analysis of six influencing variables and two dependent indicators is carried out. Formulas and graphs are given. It was found that the influence of the distance from the road on the maximum width of the leaves has a correlation coefficient 0.7574, and the influence of the reduced East longitude on the same biometric parameter 0.7514. The average maximum width of the birch leaves can be a great indicator of pollution of the roadside area. To identify wave patterns, it is necessary to take more than twenty birches in different places.

Keywords: vegetation of leaves, growth stage to the maximum, prevailing winds, 10 birches, 10 leaves, width, road, coordinates, trends, oscillatory adaptation, patterns

Каждое индивидуально растущее дерево может стать индикатором той окружающей среды, которая вокруг него располагается. Поэтому уровень загрязненности придорожной территории можно оценить по поведению, например, березы повислой, растущей около автомобильной дороги. Причем учетные листья березы реагируют не только на загрязнения от выхлопов автомобилей, но при своем росте и развитии за вегетационный период учитывают комплекс факторов воздуха, воды и почвы.

Цель статьи: выявление закономерностей влияния координат березы повислой, расположенной у кромки автомобильной дороги, на продолжительность вегетационного периода и ширину учетных листьев около дороги в городской среде.

В экологических технологиях с использованием листьев березы повислой приходит понимание о моделировании взаимных связей между параметрами структуры листьев растений методом идентификации [1, 2]. Априори ясно, что именно пого-

да влияет на ход развития и роста (онтогенеза) растений. А на многолетние растения погода влияет через ежегодный онтогенез листьев. Кванты поведения листьев, например, березы повислой [3], распространены на Северном полушарии, четко зависят от квантов (асимметричных вейвлетов) поведения температуры воздуха и относительной влажности. Метеорологические условия являются сильными факторами активности биологических объектов, и для этого в статье [4] оценены влияние температуры, осадков, атмосферного давления и влажности.

Рост растений – сложный процесс, в его основе лежат такие фундаментальные явления, как ритмичность, полярность, дифференциация, раздражимость, корреляция. Эти процессы являются общими для онтогенеза живых организмов [5, 6]. Онтогенез – индивидуальное развитие организма от зиготы (или вегетативного зачатка) до природной смерти. Благодаря активной деятельности меристем и фотосинтетической активности листьев зеленое растение приобретает ряд черт, которые характеризуют его рост. В процессе онтогенеза растения рост наблюдается на протяжении основных этапов его жизненного цикла [7].

Формирование и отмирание листьев в цикле онтогенеза разделяются на такие этапы: распускание почек, рост и развитие листьев, расцветивание отмирающих листьев, опадение листьев. Мы предлагаем два этапа онтогенеза – роста до максимума и спада до опадения.

В Берлине [8] по 252 дереву липы на кернах по расстояниям от центра к периферии были выявлены изменения приращения толщины деревьев за 50–100 лет. Семь пород деревьев в Европе [9] показали нелинейные зависимости развития растений от температуры и микроклимата. В биометеорологии пока наблюдается неопределенность на будущее. В [10] показано влияние городской растительности на тепловой комфорт человека, равный 22,2 °С. Рациональный фитоклимат позволит противодействовать глобальному потеплению.

Вегетационный период становится одним из важных экосистемных процессов, так как развитие листьев очень чувствительно к температуре воздуха. Поэтому будущее климата в наблюдениях за листьями. Повышение влажности воздуха снижает температуру и накопление биомассы в молодых березках, в особенности восприимчивы листья [11].

Цель статьи – повышение точности индикации качества окружающей среды березы локальной среды сбоку на высоте 1,5–2,0 м со стороны преобладающих ветров по времени вегетации в 2018 г. от первого мая до максимума ширины как среднего из 10 учетных листьев по патенту на изобретение 2606189 в зависимости от расстояния от края дороги, высоты расположения центра зоны 10 учетных листьев над почвой и приведенных географических координат расположения центра комля деревьев.

Материалы и методы исследования

Колебания записываются волновой формулой [1, 2] вида

$$y_i = A_i \cos(\pi x / p_i - a_{8i}),$$

$$A_i = a_{1i} x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} x^{a_{4i}}),$$

$$p_i = a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}}, \quad (1)$$

где y – показатель (зависимый фактор), i – номер составляющей модели (1), m – количество членов в модели (1), x – объясняющая переменная (влияющий фактор), $a_1 \dots a_8$ – параметры модели (1), принимающие числовые значения в ходе структурно-параметрической идентификации в программной среде CurveExpert-1.40 (URL: <http://www.curveexpert.net/>), A_i – амплитуда (половина) вейвлета (ось y), p_i – полупериод колебания (ось x).

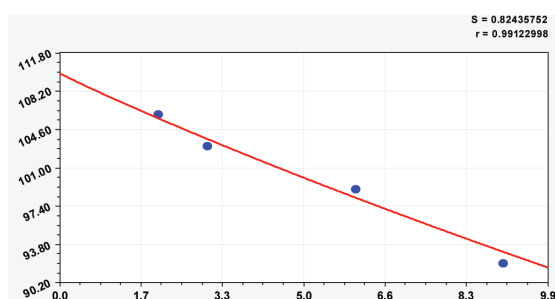
В табл. 1 даны расстояния от дороги и почвы, а также географические и биометрические параметры 10 берез в г. Йошкар-Ола по средней ширине у 10 учетных листьев.

На каждой березе сбоку кроны со стороны преобладающих ветров (примерно северо-запад) выделялась зона диаметром примерно 0,5 м, где выделяли 10 учетных листьев, к корешкам их привязывали белые нитки с бирками, на которых были указаны номера учетных листьев. Приведенная система координат вычислялась следующим образом. С помощью сотового телефона вначале записывали координаты зоны учетных листьев (в градусах, минутах и секундах). Затем эти значения приводили к градусам по формуле $ПК = \text{градус} + \text{минута} / 60 + \text{секунда} / 3600$. Из полученных результатов вычитали: для северной широты начало координат $-56,6^\circ$; для восточной долготы начало координат $-47,8^\circ$. Однако для программной среды Curve Expert 1.40 необходимо умножить полученные значения приведенных координат на 100.

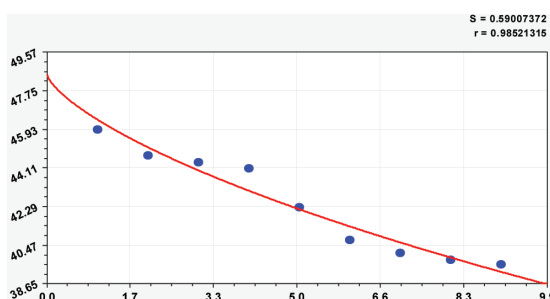
Таблица 1

Параметры расположения берез с 10 учетными листьями на каждом дереве

Место учетной березы	Расстояния L и h , м		Координаты березы		Приведенные координаты 10^{-2} , °		Время вегетации τ , сутки	Макс. ширина листа, $\bar{b}_{\max}$, мм
	дороги	почвы	с.ш.	в.д.	с.ш. α	в.д. β		
1. Ул. Лебедева	7,0	1,60	56° 37' 6"	47° 56' 48"	1,833	14,667	110	45,92
2. Воскресенский пр.	2,9	1,46	56° 38' 6"	47° 54' 51"	3,500	11,417	110	48,66
3. Ул. Эшкинина	5,2	1,40	56° 37' 58"	47° 54' 47"	3,278	11,306	92	39,77
4. Пр-т Ленина	4,9	1,60	56° 38' 8"	47° 53' 12"	3,556	8,667	99	40,11
5. Б-р Чавайна	2,1	1,60	56° 37' 52"	47° 54' 47"	3,111	11,306	106	44,71
6. Ул. Панфилова	4,1	1,30	56° 37' 40"	47° 52' 55"	2,778	8,194	103	39,56
7. Ул. Карла Маркса	3,2	1,60	56° 36' 47"	47° 52' 45"	1,306	7,917	99	44,39
8. Ул. Строителей	4,3	1,45	56° 36' 54"	47° 52' 5"	1,500	6,806	103	42,25
9. Ботанический сад	2,4	1,55	56° 38' 42"	47° 52' 50"	4,500	8,056	103	40,71
10. Ул. Осипенко	2,3	1,45	56° 38' 42"	47° 52' 50"	4,500	8,056	99	44,09



Время вегетации до максимального роста



Средняя максимальная ширина листа

Рис. 1. Графики рангового распределения биометрических параметров листьев березы по вислой

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 2 даны результаты факторного анализа по данным табл. 1. Здесь факторы L , h , α и β являются только ка влияющие переменные, так как они не могут одновременно стать зависимыми показателями. А факторы τ и $\bar{b}_{\max}$ становятся одновременно влияющими и зависимыми параметрами, поэтому их можно ранжировать по вектору предпорядка предпочтительности «лучше → хуже». Для обоих биометрических параметров τ и $\bar{b}_{\max}$ принимается вектор «чем больше, тем лучше».

Тогда ранговое распределение будет подчиняться закону экспоненциальной гибели при рангах $R = 0, 1, 2, 3, \dots$ (рис. 1) по формулам:

– для рангового распределения времени вегетации учетных листьев у 10 берез (0,9912)

$$\tau = 109,86894 \exp(-0,020293 R_t^{0,95603}); \quad (2)$$

– для средней ширины у 10 учетных листьев для каждой из 10 берез (0,9852)

$$\bar{b}_{\max} = 48,51034 \exp(-0,044851 R_b^{0,70910}). \quad (3)$$

В табл. 2 приведены результаты факторного анализа с использованием тренда, как частного случая формулы (1) при бесконечном периоде колебания.

Коэффициент коррелятивной вариации, как мера адекватности всей системы параметров объекта исследования, определяется как $6,4060 / (6 \times 2) = 0,5338$. Первое место среди влияющих переменных занимает время вегетации до конца этапа роста, а второе – средняя ширина учетных листьев при максимуме роста учетных листьев. Среди зависимых показателей как оценочных критериев занимает средняя ширина учетных листьев в конце этапа роста.

Выберем корреляционную матрицу (табл. 3) со средними и сильными бинарными отношениями с коэффициентом корреляции не менее 0,5. Наибольший коэффициент корреляции 0,7574 имеет влияние

расстояния от примерного центра зоны расположения 10 учетных листьев на боковой поверхности кроны березы повислой со стороны преобладающих ветров (северо-запад) до края автомобильной дороги.

В табл. 4 расположим модели трендов по убыванию адекватности.

На рис. 2 приведены графики влияния расстояния от дороги до учетных листьев.

Из точечного графика остатков видно, что возможно колебание (табл. 5, рис. 3). Из-за малого количества точек коэффициент корреляции трехчленной модели стал равным 1.0000.

Средняя максимальная ширина учетных листьев березы повислой может стать

великолепным индикатором загрязнения придорожной территории. Для идентификации волновых закономерностей необходимо в разных местах принять более 20 берез.

Наибольшая турбулентность наблюдается до 3 м от края дороги. Здесь же по тренду наблюдается максимум средней ширины. А затем от 3 м до 5 м наблюдается снижение ширины листа, то есть в этом интервале расстояния от дороги наблюдается сильное подавление вегетации листьев. После 5 м листья березы начинают расти с возрастающей шириной листьев.

Остальные закономерности из табл. 4 показаны на рис. 4.

Таблица 2

Корреляционная матрица факторного анализа и рейтинг факторов после идентификации по закономерности тренда

Влияющие факторы (параметры x)	Зависимые факторы (показатели y)		Сумма Σr	Место I_x
	τ , сутки	$\bar{b}_{\max}$, мм		
Расстояние группы листьев от дороги L , м	0,0021	0,7574	0,7595	4
Высота группы листьев от почвы h , м	0,2360	0,4640	0,7000	5
Приведенная северная широта α , °	0,1582	0,1656	0,3238	6
Приведенная восточная долгота β , °	0,5326	0,7540	1,2866	3
Время вегетации учетных листьев τ , сутки	0,9912	0,6804	1,6716	1
Средняя ширина учетных листьев $\bar{b}_{\max}$, мм	0,6793	0,9852	1,6645	2
Сумма коэффиц. корреляции Σr	2,5994	3,8066	6,4060	—
Место I_y	2	1	—	0,5338

Таблица 3

Корреляционная матрица с коэффициентом корреляции не менее 0,5

Влияющие факторы (параметры x)	Показатели y	
	τ , сутки	$\bar{b}_{\max}$, мм
Расстояние группы листьев от дороги L , м		0,7574
Приведенная восточная долгота β , °	0,5326	0,7540
Время вегетации учетных листьев τ , сутки		0,6804
Средняя ширина учетных листьев $\bar{b}_{\max}$, мм	0,6793	

Таблица 4

Параметры тренда бинарных отношений данных по табл. 1

Переменная x	Показатель y	Тренд $y = a \exp(-bx^c) + dx^e \exp(-fx^g)$							Коэф. кор. r
		Экспоненциальный закон			Биотехнический закон				
		a	b	c	d	e	f	g	
L , м	$\bar{b}_{\max}$, мм	0,27696	-4,90586	0,041252	-2,50694e7	25,06937	27,20913	0,43559	0,7574
β , °		47,77710	6,90355e-5	3,64290	8,14379e-140	185,8460	6,73438	1,21378	0,7514
τ , сутки	τ , сутки	0	0	0	0,65415	0,90434	0	0	0,6804
$\bar{b}_{\max}$, мм		0	0	0	14,42463	0,52119	0	0	0,6793
β , °		204,11047	0,29180	1	30,74222	0,46543	0	0	0,5325

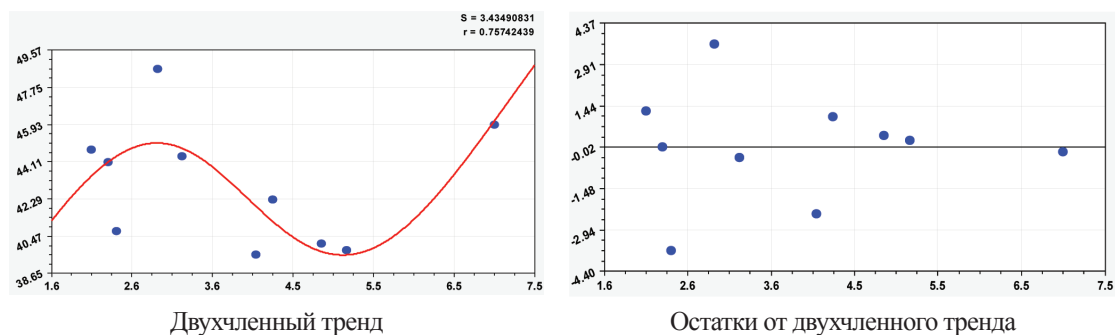


Рис. 2. Графики влияния расстояния от дороги на среднюю максимальную ширину группы листьев

Таблица 5

Модели (1) влияния расстояния от дороги на максимум средней ширины листа

Номер <i>i</i>	Вейвлет $y_i = a_{1i}x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i}x^{a_{4i}}) \cos(\pi x / (a_{5i} + a_{6i}x^{a_{7i}}) - a_{8i})$								Коэф. кор. <i>r</i>
	Амплитуда (половина) колебания				Полупериод колебания			Сдвиг	
	a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	a_{4i}	a_{5i}	a_{6i}	a_{7i}		
1	5,77155	0	-1,96504	0,041252	0	0	0	0	1,0000
2	-5,59056e9	25,07757	30,15966	0,43558	0	0	0	0	
3	-3,34826e-20	174,83658	46,85684	1,02318	0,81421	4,65539e-5	4,22651	1,29874	0,9523
4	2308,83874	0	1,47595	1,73980	0,022770	0,021648	1,01222	3,29490	

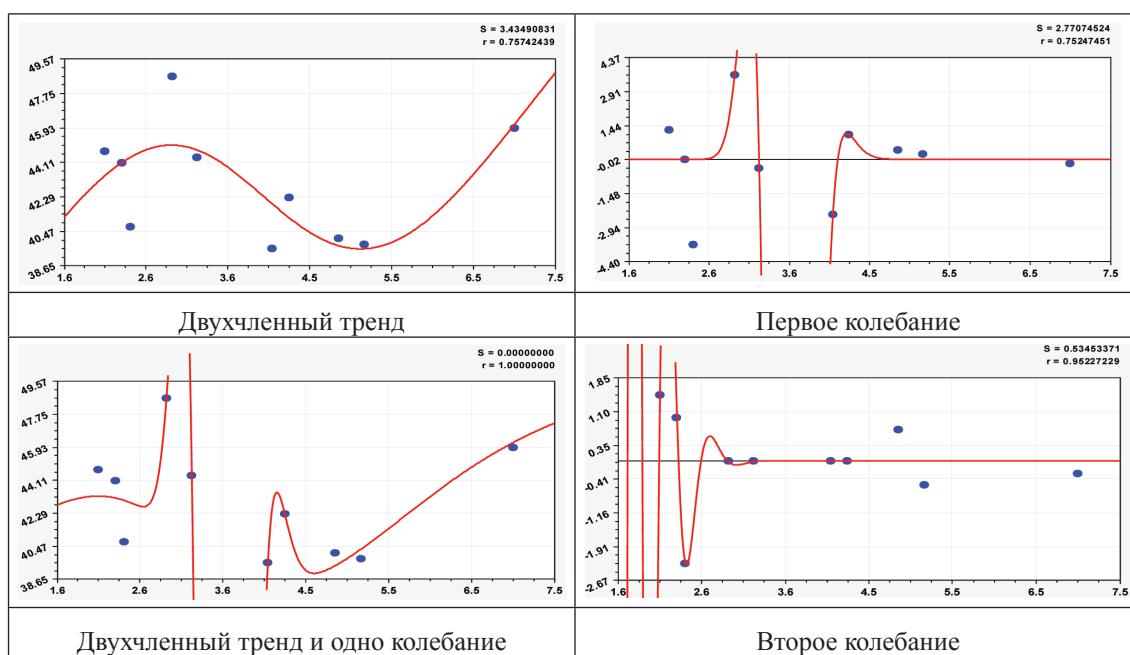


Рис. 3. Графики влияния расстояния от дороги на среднюю максимальную ширину группы листьев

Прямое и обратное влияния биометрических параметров листьев по табл. 4 происходят по показательному закону. Подробнее рассмотрим влияние восточной долготы.

По графику на рис. 4 снижение времени вегетации происходит в центральном микрорайоне г. Йошкар-Ола. Наиболее сложным образом изменяется график влияния

долготы на среднюю максимальную ширину учетных листьев.

На рис. 5 показана карта-схема расположения 10 учетных берез. Видно, что главный трансект получается вдоль р. Малая Кокша-

га. Максимальная ширина листьев снижается от запада к востоку на правой стороне города до реки, а на левой стороне реки приращение ширины возрастает, снова снижается в местности с высотными домами.

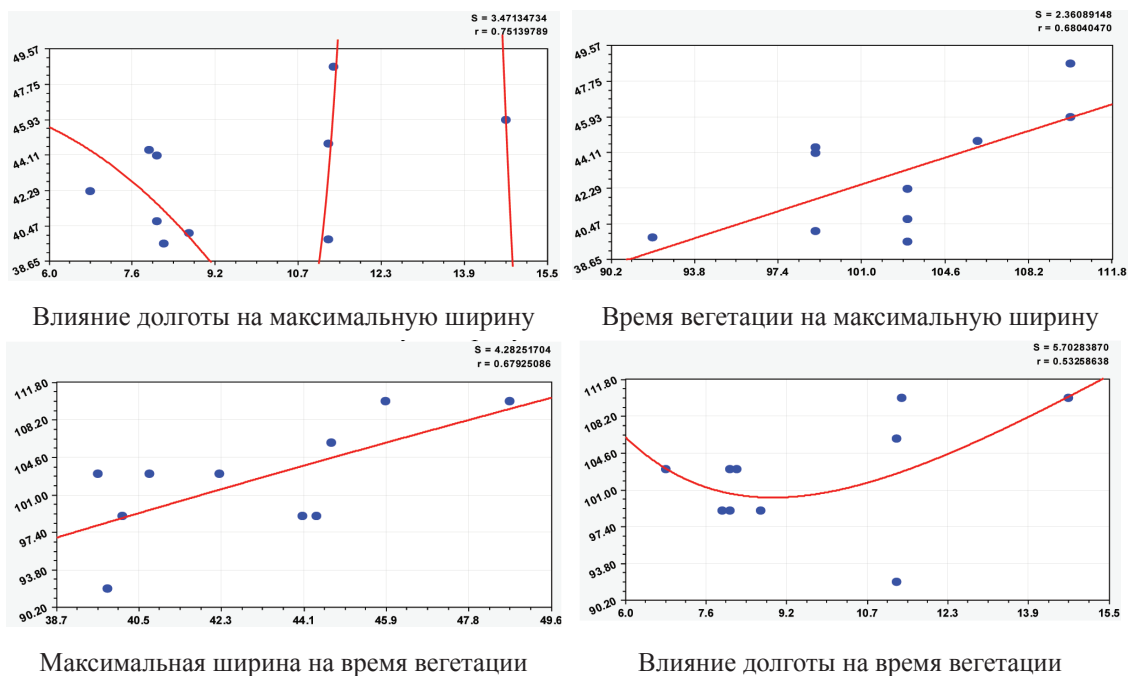


Рис. 4. Графики бинарных отношений по данным табл. 4



Рис. 5. Карта-схема расположения 10 учетных деревьев березы

Закключение

Средняя максимальная ширина учетных листьев березы повислой может стать великолепным индикатором загрязнения придорожной территории. Для идентификации волновых закономерностей необходимо в разных местах принять более 20 берез.

На каждой березе сбоку кроны со стороны преобладающих ветров выделялась зона, где выделяли 10 учетных листьев, а к корешкам их привязывали белые нитки с бирками и номерами. Сотовым телефоном записывали координаты зоны учетных листьев. Затем вычисляли приведенные координаты. Для программной среды Curve Expert 1.40 необходимо умножить полученные значения приведенных координат на 100.

Список литературы / References

1. Mazurkin P.M. Method of identification. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. SGEM. 2014. Book 6. Vol. 1. P. 427–434. DOI: 10.5593/SGEM2014/B61/S25.059.
2. Mazurkin P.M. Wavelet Analysis Statistical Data. Advances in Sciences and Humanities. 2015. Vol. 1. № 2. P. 30–44. DOI: 10.11648/j.ash.20150102.11.
3. Mazurkin P.M., Kudryashova A.I. Fito meteorologiya City: The Influence of the Amount of Relative Humidity of Air Ontogenesis Leaves of Birch. J. Basic Sci. Appl. Res. 2018. Vol. 4. № 1. P. 1–15.
4. Plenderleith T.L., Stratford D., Lollback G. W., Chaple D.G., Reina R.D., Hero J.-M. Calling phenology of a diverse amphibian assemblage in response to meteorological conditions. International Journal of Biometeorology. 2018. Vol. 62. Issue 5. P. 873–882. DOI: 10.1007/s00484-017-1490-2.
5. Laube J., Sparks T.H., Estrella N., Menzel A. Does humidity trigger tree phenology? Proposal for an air humidity based framework for bud development in spring. New Phytologist. 2014. Vol. 202. Issue 2. P. 350–355. DOI: 10.1111/nph.12680.
6. Fu Y.H., Zhao H., Piao S., Peaucelle M., Peng S., Zhou G., Ciais P., Huang M., Menzel A., Peñuelas J., Song Y., Vitasse Y., Zeng Z., Janssens I.A. Declining globalwarming effects on the phenology of Spring leaf unfolding. Nature. 2015. Vol. 526. P. 104–107. DOI:10.1038/nature15402.
7. Zhang Y., Bielory L., Georgopoulos P. Climate change effect on Betula (birch) and Quercus (oak) pollen seasons in US. Int. J. Biometeorol. 2014. Vol. 58. Issue 5. P. 909–919. DOI: 10.1007/s00484-013-0674-7.
8. Dahlhausen J., Rötzer T., Biber P., Uhl E., Pretzsch H. Urban climate modifies tree growth in Berlin. International Journal of Biometeorology. 2018. Vol. 62. Issue 5. P. 795–808. DOI: 10.1007/s00484-017-1481-3.
9. Wang H., Rutishauser T., Tao Z., Zhong S., Ge Q., Dai J. Impacts of global warming on phenology of spring leaf unfolding remain stable in the long run. International Journal of Biometeorology. 2017. Vol. 61. Issue 2. P. 287–292. DOI 10.1007/s00484-016-1210-3.
10. Wang Y., Groot R., Bakker F., Wörtche H., Leemans R. Thermal comfort in urban green spaces: a survey on a Dutch university campus. International Journal of Biometeorology. 2017. Vol. 61. Issue 1. P. 87–101. DOI: 10.1007/s00484-016-1193-0.
11. Sellin A., Rosenvald K., Öunapuu-Pikas E., Tullus A., Ostonen I., Lõhmus K. Elevated air humidity affects hydraulic traits and tree size but not biomass allocation in young silver birches (Betula pendula). Frontiers in Plant Science. 2015. Vol. 6. P. 860. DOI: 10.3389/fpls.2015.00860.

УДК 551.4:502

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТЬЕВЫХ ЗОН ПРИТОКОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ
(НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ГОЛОУСТНАЯ)****¹Макаров С.А., ^{1,2}Белозерцева И.А., ¹Власова Н.В., ¹Воробьева И.Б.,
¹Тагаринова О.В., ¹Опекунова М.Ю.**¹ФУБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН, Иркутск, e-mail: whydro@irigs.irk.ru;²ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», Иркутск

В условиях изменяющегося климата и усиливающегося антропогенного воздействия на природу Байкальского региона, актуальны вопросы трансформации устьевых систем притоков оз. Байкал, качества поступающих в озеро поверхностных и подземных вод. Направленность и интенсивность процессов изменения природных компонентов на побережье и в устьевых зонах притоков являются важными аспектами в понимании современного состояния и изменений экосистемы озера. Притоки являются транспортными коридорами, поставляющими загрязняющие вещества с водосбора в принимающий водный объект, а рекреационные территории побережья озера оказывают наиболее негативное влияние на компоненты экосистемы. Исследование устьев притоков и прилегающих территорий побережья направлено на изучение механизмов взаимодействия текущих вод с подстилающей поверхностью и принимающим водным объектом, на оценку современного состояния и выявление изменений в структуре и состоянии компонентов ландшафтов и природных вод территории. Экспедиционные исследования устьевой области р. Голоустной позволили собрать материалы инструментальных измерений и аэровизуальных съемок. Проведено изучение характеристик структурных ландшафтных компонентов и поверхностных вод. Получены новые сведения о современном состоянии почв, растительности, количественных и качественных характеристиках природных вод. Установлено, что в настоящее время дельтовая область р. Голоустной и прилегающие участки побережья оз. Байкал испытывают значительное антропогенное воздействие, ведущее к различным трансформациям природной среды. Наблюдаются изменения почвенно-растительного покрова, связанные с рекреационными и сельскохозяйственными нагрузками. Выявлены существенные гидролого-морфологические перестроения, связанные как с естественными природными факторами – климатическими и ландшафтно-гидрологическими процессами, так и с антропогенным воздействием. Зафиксировано загрязнение речных вод, поступление поллютантов в грунтовые воды.

Ключевые слова: Байкальский регион, устьевая область, ландшафт, морфология, поверхностные воды, почвы, растительность

**RESEARCH OF ESTUARIAL ZONES OF INFLOWS OF THE LAKE BAIKAL
(ON THE EXAMPLE OF THE RIVER GOLOUSTNAYA)****¹Makarov S.A., ^{1,2}Belozertseva I.A., ¹Vlasova N.V., ¹Vorobeveva I.B.,
¹Gagarinova O.V., ¹Opekunova M.Yu.**¹V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: whydro@irigs.irk.ru;²Irkutsk State University, Irkutsk

The study of the transformation of the estuarine systems of the lake Baikal tributaries and the quality of natural waters entering the lake are relevant in the current climate changes and the increasing anthropogenic impact on the nature of the Baikal region. The direction and intensity of changes in natural components on the lake coast and in the estuaries are important for understanding the current and future state of the lake ecosystem. Tributaries are transport corridors supplying pollutants from the catchment to the receiving water body. Residential and recreational areas of the lake coast have the most negative impact on the components of the ecosystem. The study of estuaries of tributaries and adjacent areas of the coast involves the study of mechanisms of interaction of flowing waters with the surface and the host water body, as well as the assessment of the current state and identification of changes in the structure and state of the components of landscapes and natural waters of the territory. Expedition studies of the estuarine of The Goloustnaya river allowed to collect materials of instrumental measurements and aerial surveys. The characteristics of structural landscape components and surface waters are studied. New data on the current state of soils, vegetation, quantitative and qualitative characteristics of natural waters are obtained. It is established that at present the mouth area of the Goloustnaya river and adjacent areas of the coast of Baikal is experiencing a significant anthropogenic impact, leading to various transformations of the natural environment. There are changes in soil and vegetation cover associated with recreational and agricultural loads. Significant hydrological and morphological transformations associated with natural processes and anthropogenic impacts were revealed. Pollution of river waters, inflow of pollutants into groundwater was recorded.

Keywords: Baikal region, estuarine region, landscape, morphology, surface water, soil, vegetation

Озеро Байкал – уникальный водный объект, природное окружение которого изменяется по периметру от сухих ковыльных степей до влажных темнохвойных лесов, от пониженных переувлажненных прибреж-

ных равнин до горных хребтов, отвесно обрывающихся в озеро. Устье р. Голоустной располагается на северо-западном побережье Байкала. Хозяйственное освоение этой территории началось в конце XVII в.

У подножия склонов располагались бурятские улусы: Харанутский, Зареченский, Подкаменский и Батагаевский. Строителями и первыми поселенцами Голоустинского зимовья были крестьяне Посольского монастыря, занимавшиеся перевозками через оз. Байкал в летнее и зимнее время. Лесозаготовительное предприятие, охотничьи и рыболовные артели, компании, занимающиеся молевым сплавом леса, а в дальнейшем леспромхозы и автотранспортные предприятия были созданы в п. Большое Голоустное, расположенном в устьевой зоне реки, в начале XIX в. В XX в. поселок становится транспортным узлом для сообщения с восточным берегом озера, перевалочной и складской базой, территорией, с которой идет дальнейшее хозяйственное освоение оз. Байкал и близлежащих территорий.

В современный период в пос. Бол. Голоустное интенсивно развивается рекреационная деятельность. Постоянно возрастающая антропогенная нагрузка на территорию и водные объекты обуславливает необходимость исследования состояния природной среды и выработки рекомендаций по снижению негативного антропогенного воздействия.

Цель исследования: выявление характера и степени изменений ландшафтных компонентов и природных вод в устьевой области р. Голоустной. Работы проводились в течение 2016–2018 гг. в рамках проекта Русского географического общества «Байкальская экспедиция».

Материалы и методы исследования

Исследование устьевых зон притоков озера носит комплексный характер и базируется на использовании различных источников информации – литературных, фондовых и картографических материалах; данных режимных наблюдений, натурных и аэровизуальных маршрутных исследований, материалах дистанционного зондирования. Гидрологические, морфологические, ландшафтные, почвенные, геохимические исследования составляют необходимый комплекс позволяющий обеспечить анализ природной и экологической обстановки территории. Основной акцент в работе сделан на экспедиционные и инструментальные исследования, направленные на получение оперативной информации и оценку современного состояния экосистемы модельного устьевого участка.

В устьевой зоне р. Голоустной и на прилегающем побережье озера в феврале-сентябре 2016–2018 гг. проведены экспеди-

ционные исследования и аэровизуальные наблюдения (квадрокоптер PHANTOM 3), позволившие составить общее представление о характере и степени трансформаций природных комплексов. Химические анализы поверхностных вод и почв проведены в ИГ СО РАН по общепринятым методам с учетом ГОСТов.

Результаты исследования и их обсуждение

Река Голоустная является достаточно крупным притоком юго-западного побережья оз. Байкал. Исток реки находится на северном склоне Приморского хребта в 5 км от берега озера, после чего водоток удаляется от побережья, делает огромную петлю и впадает в Байкал на 35 км южнее своего истока. При выходе из узкой долины река образует дельту, выдвинутую в оз. Байкал на 2 км, разделенную в предгорной части двумя, а затем несколькими самостоятельными дельтовыми рукавами (от шести до четырех в зависимости от водности). В период исследований обводненными были три дельтовых протоки и четвертая представляла временный водоток (табл. 1, рис. 1, а).

Таблица 1
Дельтовые протоки р. Голоустной

Наименование	Длина, км
Западная	3,6
Западная 1	3,8
Средняя	4,4
Восточная	3,3

По своим морфодинамическим и морфологическим признакам устье р. Голоустной классифицируется как дугообразная лопастная дельта выдвижения, II типа, которые формируются на открытом побережье [1]. Основные признаки дельт выдвижения – многорукавный конус выноса, лопастной морской край, который окаймляется свободным, а на ряде участков причлененным береговым баром, наличие нескольких рукавов, расходящихся от узла разветвления в вершине дельты, которые также далее могут многократно разветвляться. Обычно многорукавные дельты относят к заключительным этапам развития устьевых систем. Устьевая система р. Голоустной не является классической дельтой, более точно, она описывается Е.А. Ильичевой с соавторами как многорукавная система с фитогенно-дельтовым берегом выдвижения на конусе выноса [2].

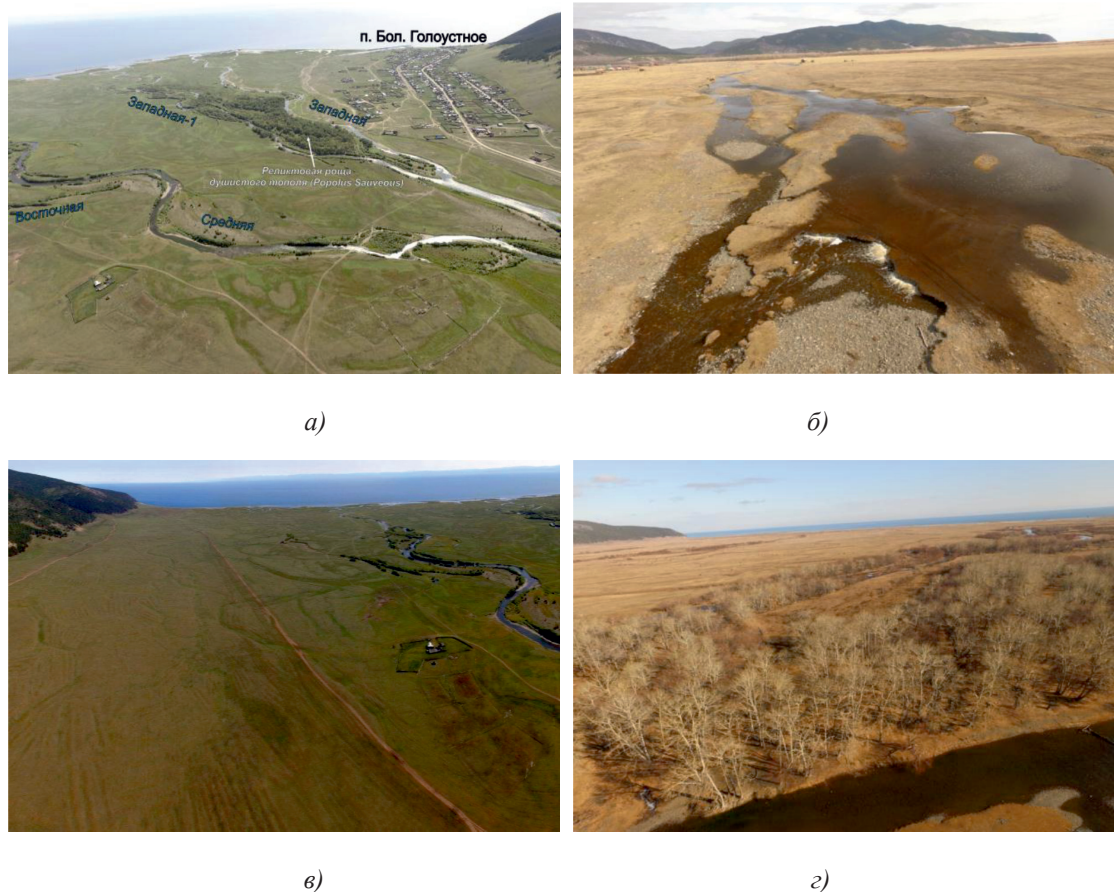


Рис. 1. а) протоки на конусе выноса р. Голоустная (наименования условные, фото 28.08.2017); б) донная эрозия протоки (фото 26.04.2018); в) следы распахивания в районе северной оконечности дельты р. Голоустной для сельскохозяйственных целей (фото 28.08.2017); г) реликтовая роща душистого тополя *Populus suaveolens* на левобережье средней протоки р. Голоустной (фото 17.10.2017)

Современные отложения устья р. Голоустной наложены на более древний, опущенный в результате среднеголоценового землетрясения конус выноса [3]. Следует отметить, что сейсмические события, в результате которых неоднократно фиксировались опускания блоков суши, характерны для всего побережья Байкала [4]. После опускания конуса выноса на его месте образовался залив, в котором происходила аккумуляция выносимого материала размыва. В настоящий момент на этом месте можно видеть позднеголоценовый рельеф, формирование которого происходит преимущественно во время весенних половодий и летних паводков. В конце апреля 2018 г. на протоке, выходящей в затон, был зафиксирован процесс донной эрозии вызванный весенним половодьем (рис. 1, б).

В современном геоморфологическом состоянии рельефа дельты р. Голоустной можно выделить типичные дельтовые участки:

- 1) современная зона устьевых баров;
- 2) молодая пойменная зона (нижнее течение рукавов);
- 3) зрелая пойменно-террасовая зона (среднее течение рукавов);
- 4) озерно-аллювиальная равнина (верхнее течение рукавов), осложненная наложенными конусами выноса падей;
- 5) низкогорный тектоно-денудационный рельеф горного обрамления.

Данных для определения возраста вновь образованного конуса выноса р. Голоустной в настоящий момент недостаточно, однако маломощные отложения и развитие низких пойменных уровней позволяют предположить его голоценовый возраст.

Другая черта развития, определяющая современный облик морфологии и морфодинамики дельтовых протоков – фактор разломной тектоники. Диагностические признаки, указывающие на это влияние в дельте р. Голоустной – развитие прямо-

линейных участков русел, коленообразных изгибов русел, часто синхронных у соседних проток и др., что указывает на нетипичную специфику развития многоорукавных русел.

Помимо естественных процессов рельефообразования значительное влияние на формирование и функционирование современного устья р. Голоустной, как на территорию длительного освоения оказало антропогенное воздействие в устьевых частях западных рукавов, выраженное в инженерном обустройстве и использовании основного русла, протоков и пойменных поверхностей дельты для молевого сплава.

Река Голоустная имеет хорошо развитую гидрографическую сеть, состоящую из многочисленных притоков, горных ключей и ручьев. Внутригодовой сток распределен неравномерно, в зимний период объем стока не превышает 10% годового, в весенний и летний сезоны водность реки наибольшая. Река имеет паводочный режим, величина половодья составляет чуть больше половины объема паводка, в отдельные годы при низких осенних и зимних осадках половодье практически не выражено. В период летне-осенних дождей максимальный расход паводка в замыкающем створе реки может достигать 300 м³/с при среднемноголетнем максимальном 100–120 м³/с и среднегодовом 40–50 м³/с. По данным режимных наблюдений экстремально высокие (250–300 м³/с) дождевые паводки наблюдались на р. Голоустной в 1950, 1980, 2008 и в 2016 гг. Несмотря на низкую водность начала 2000-х гг. за последние годы отмечались два экстремальных паводка (один из которых – наибольший за весь период наблюдения) [5].

Формирование стока реки и его внутригодовой режим в значительной степени определяется ландшафтными условиями водосбора. Основные стокоформирующие и стокорегулирующие ландшафтные комплексы, представленные темнохвойными и светлохвойными сообществами на средних и пологих склонах на протяжении многих десятилетий испытывают антропогенный прессинг, выраженный главным образом в вырубке лесов. В результате трансформации ландшафтов водосбора, смены коренных темнохвойных и светлохвойных ландшафтов на производные мелколиственные сообщества и, частичное обезлесение склонов, происходят изменения водного баланса речного бассейна и внутригодового режима стока – повы-

шается испарение в сухие жаркие периоды, снижается аккумуляция и фильтрация в подземные горизонты, происходит быстрый поверхностный сток поступивших осадков. Такие процессы ведут к снижению стокорегулирующей роли ландшафтов водосбора, способствуя росту колебаний водности – снижению минимального межженного стока и увеличению максимального стока паводков.

Прохождение высоких паводков на р. Голоустной сопровождается интенсификацией русловых и эрозионных процессов, переформированиями дельтовых протоков, значительными объемами выноса наносов и загрязняющих веществ. Для дельты характерны элементы незавершенного мандрирования, сопровождающиеся планово-высотными деформациями. Дельтовая область достаточно чувствительна к климатическим и антропогенным изменениям, что хорошо проявляется в активизации или затухании работы протоков в зависимости от изменения режима стока. Утверждение, что «в начале 1900-х гг. в дельте существовало шесть рукавов, то в настоящее время осталось лишь три» по отношению к началу 2000-х гг. [6], в 2018 г. не актуально. Повышение водности, эрозионные и дефляционные процессы привели к активизации стока и возобновлению работы четвертой протоки реки.

Несомненно, антропогенные воздействия на реку в значительной степени влияют на качество речных вод. Основными источниками загрязнения поверхностных вод являются хозяйственно-бытовые стоки, поступление взвесей из атмосферы и выбросы автотранспорта. По данным измерений, проводимых в 2016–2018 гг., в атмосферных выпадениях содержатся минеральные, органические и взвешенные вещества, соединения серы, углерода и др.

В результате химического анализа образцов установлено, что содержание в поверхностных водах хлоридов и сульфатов превышает фоновые значения района исследования (табл. 2). Фоновые концентрации составляют 5,5 мг/дм³ и 0,4 мг/дм³ соответственно [7]. Концентрация хлоридов в поверхностных водах подвержена заметным сезонным колебаниям, коррелирующим с изменением общей минерализации воды. Основным источником хлора в природных водах являются хлористые минералы (галит, сильвин и др.), почвы, атмосферные осадки, а также хозяйственно-бытовые стоки.

Таблица 2

Физико-химическая характеристика поверхностных вод в июне 2016 г.

№ точки	Место отбора пробы, координаты	pH	Cl ⁻ , мг/дм ³	HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	Нефтепродукты, мг/дм ³
Г33	Русло р. Голоустной, N 52°24'48'', E 105°26'43'',	7,56	3,50	40,26	0,002
Г32	Русло р. Голоустной, N 52°29'24'', E 105°34'37'',	8,00	2,49	159,82	–
Г19	Русло р. Голоустной, N 52°2'13'', E 105°30'50'',	7,91	2,80	132,98	0,017
Г16	Русло р. Голоустной, N 52°23'01'', E 105°23'11'',	7,79	3,50	134,20	0,005
Г21	Русло р. Голоустной, N 52°22'41'', E 105°23'21'',	7,99	1,42	146,40	0,032
Г10	Русло р. Голоустной, N 52°17'04'', E 105°21'28'',	7,98	2,49	128,10	0,004

Примечание: «-» – данные отсутствуют.

Таблица 3

Величина pH, содержание нефтепродуктов и основных ионов в воде р. Голоустная в июне 2016 г.

№ точки	pH	HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	O ₂		SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	Cl ⁻ , мг/дм ³	NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	Сумма ионов, мг/дм ³	Взвешенное вещество г/дм ³	Нефтепродукты мг/дм ³
			мг/дм ³	%									
Г35	8,0	61,00	8,48	86,4	14,40	4,26	0,084	0,10	0,013	0,25	80,11	0,033	0,006
Г37	8,2	70,15	8,24	83,9	16,20	4,97	0,001	0,20	0,001	0,23	91,75	0,029	0,005

Примечание: т. 35 – устье р. Голоустная (N 52°03'51'', E 105°28'16''), т. 37 – основное русло р. Голоустная (N 52°01'37'', E 105°26'12'').

Главным источником сульфат-ионов в поверхностных водах являются процессы химического выветривания и растворения серосодержащих минералов. Показателями антропогенного влияния на формирование компонентного состава водной среды являются количество хлоридов, фосфатов, аммония. Показатель pH в отобранных образцах воды изменяется от 7,18 до 8,24 (табл. 3).

Гидрохимические показатели устьевой зоны выявили существенные изменения в содержаниях сульфатов, хлоридов, нитратов [8]. По данным К.К. Вотинцева [9] в воде р. Голоустной нитраты и фосфаты отсутствуют, а исследования П.Ф. Бочкарева [10] показывают, что «в воде реки всегда обнаруживается азот нитратов, часто в весьма высоких количествах – от 0,10 до 3,04 мг/л NO_3^- ». В настоящее время в воде р. Голоустная (устье) обнаружено присутствие азотсодержащих ионов (нитриты, нитраты, аммоний), а также фосфатов, что говорит об их антропогенной природе.

Согласно карте [11] почвенный покров бассейна реки Голоустной характеризуется значительной мозаичностью, здесь встречаются подбуры, дерново-подзолистые и дерново-лесные почвы. На правом берегу в основном преобладают дерново-карбонатные, в пойме выделяются комбинации влажно-луговых, луговых и болотных почв. В старых протоках реки доминируют аллювиальные дерновые почвы. В связи с расчлененностью рельефа на территории наблюдается вертикальная зональность, которая способствует образованию почвенных поясов. На склонах фиксируются дерново-подзолистые и дерновые лесные почвы лиственных и сосновых лесов, в поймах торфянисто-перегнойные темнохвойных мохово-травяных. Для речных долин кроме распространенных болотных характерны луговые и аллювиальные почвы. В дельте р. Голоустной представлены не только почвы долинного комплекса, но и прилегающих склонов – серые, дерново-подзолистые почвы и черноземы выщелоченные.

В результате проведенных исследований выявлено, что в устьевой части реки по новой классификации [12, 13] в основном преобладают аллювиальные темногумусовые, черноземовидные и аллювиальные гумусовые почвы; встречаются темногумусовые метаморфизованные и серогумусовые метаморфизованные, аллювиальные торфяно-глеевые почвы. Почвы в основном характеризуются легкосуглинистым гранулометрическим составом, средней мощностью

гумусового горизонта (от 6 до 30 см), высоким содержанием гумуса (от 4 и более 10%), нейтральной и слабощелочной средой, за исключением аллювиальных торфяно-глеевых почв. Содержания марганца, никеля и хрома в почвах превышают ПДК и ОДК в 1,2–3,8 раза, что связано с их природным происхождением. Высокое содержание марганца и никеля в верхних горизонтах обусловлено биогенным накоплением. Источником высокого содержания хрома служат карбонатные почвообразующие породы. Разнообразие почв определено различным составом почвообразующих пород и приуроченностью к элементам рельефа, на что указывал В.А. Кузьмин, изучая почвенный покров дельты р. Голоустная [11]. На склонах почвообразующим является делювий коренных пород различного состава, в том числе карбонатных. В прирусловой и центральной частях поймы почвообразующие породы представлены аллювиальными отложениями. Так же приуроченность к различным элементам рельефа отражается на режиме увлажнения почв – на склонах почвы сухие, а в пойме достаточно увлажнены, в то время как в условиях притеррасной поймы увлажнение избыточное и развиваются процессы оглеения. На выровненных участках надпойменной террасы наблюдается неглубокое залегание грунтовых вод, что создает условия для дополнительного грунтового увлажнения. В зависимости от гранулометрического состава такое увлажнение может иметь широкое распространение, о чем можно сделать выводы по пестроте почвенно-растительного покрова, наличию участков с редким и низким травостоем на выходах галечников. В ряде мест вдоль борта конуса выноса наблюдаются следы распашки земель (рис. 1, в).

Для растительности и ландшафтной структуры бассейна р. Голоустной также характерна хорошо выраженная высотная поясность. Здесь ясно прослеживается последовательная смена ландшафтов: лугово-степные, подтаежно-степные, светлехвойно-таежные. Склоны долины покрыты хвойными породами и мелким кустарником. Растительность дельты представлена центрально-азиатской степной горно-котловинной западно-забайкальской с преобладанием пологосклоновых мелкодерновинно-злаковых литофильных и низко-травных долинных групп фаций. Дельтово-экотонный комплекс является уникальным для западного и северо-западного побережий оз. Байкал, представляя особо выраженное рас-

пространение склоновых остепненных лиственничников в пределах единой подтаежно-степной мозаики и реликтовых степных сообществ в сочетании с водно-болотными угодьями и является ценным комплексным сообществом дельтово-степной и дельтово-лугово-степной растительности с сообществами болотно-лугового ряда.

По бортам долины распространены светлохвойные леса на пологих склонах. Основная лесообразующая порода – сосна, с небольшой примесью лиственницы и березы. Степные территории характеризуются мелкодерновинно-злаковыми и низкотравными сообществами, высокие участки дельты и береговые склоны заняты горными криоксерофильными степями. В пониженных формах рельефа, вблизи оз. Байкал, развиваются заболоченные и низинные луга.

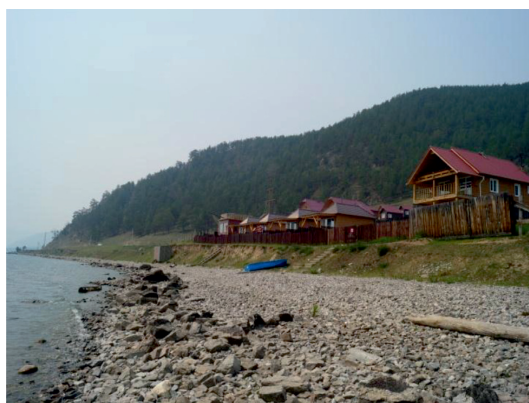
Сложившееся представление о преобладании в дельте р. Голоустная сухих степей связано с воздействием на них интенсивного выпаса, который приводит к деградации растительности. В засушливые годы дельта приобретает сухостепной облик с доминированием ксерофитов. Однако в годы со средним или повышенным увлажнением ее облик ближе к луговой степи, что согласуется с морфологией почв.

приблизительно в 340 лет (рис. 1, г). Кроме самих деревьев ценность представляют и виды травянистого покрова. Здесь наблюдаются такие редкие виды, как фиалка Патрэна *Viola patrinii*, овсяница дальневосточная *Festuca extremiorientalis*, и ирис кроваво-красный *Iris sanguinea*. Кроме данных дальневосточных видов, отмечается присутствие фиалки надрезанной *Viola incisa* (миоцен-плиоценовый реликт), флоксы сибирского *Phlox sibirica* (гляциальный реликт), щучки Турчанинова *Deschampsia turczaninowii* (байкальский эндемик) [15].

Естественные природные ландшафты дельты р. Голоустной и прилегающих участков побережья испытывают усиливающийся антропогенный пресс, заключающийся главным образом в развитии рекреационной деятельности. В процентном отношении территории занятые рекреационными и селитебными объектами составляют менее 15% от площади дельты, но в местах их расположения наблюдаются хорошо выраженные признаки деградации почвенно-растительного покрова. Участки прибрежной полосы заняты хозяйственными постройками (рис. 2). Расположение гостиничных и жилых комплексов в непосредственной близости от берега озера обуславливает поступление загрязняющих веществ в оз. Байкал.



а)



б)

Рис. 2. а) поселок Бол. Голоустное по борту дельты р. Голоустной (фото 28.08.2017); б) постройки рекреационного назначения (фото 15.06.2016) на участке прилегающего побережья оз. Байкал

Отдельную нишу в растительном сообществе дельты р. Голоустной занимает уникальная реликтовая роща душистого тополя *Populus suaveolens*, которая является единственной на западном берегу оз. Байкал [14]. Возраст деревьев оценивается

Заключение

Дельтовая область р. Голоустной и прилегающая территория побережья подвержены изменениям структурных и качественных характеристик компонентов, что

происходит как вследствие естественных изменений, так и в результате усиления антропогенной нагрузки. Экспедиционные и инструментальные исследования позволили получить материал для оценки современного состояния территории. Последующие гидролого-геоморфологический, ландшафтно-геохимический, геосистемный анализы на основе комплекса данных натурных исследований, мониторинговых, фондовых и литературных материалов позволят дать общее представление о трансформации природного комплекса территории, разработать предложения и рекомендации по минимизации антропогенного воздействия на компоненты ландшафта и природные воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Русского географического общества «Байкальская экспедиция – 2 этап».

Список литературы / References

1. Михайлов В.Н. Речные дельты: строение, образование, эволюция // Соровский образовательный журнал. 2001. № 3. С. 59–66.
2. Mikhaylov V.N. River deltas: building, education, evolution // Sorovsky educational magazine. 2001. № 3. P. 59–66 (in Russian).
3. Ильичёва Е.А., Павлов М.В., Кобылкин Д. В., Амосова И.Ю., Опекунова М.Ю., Чалов С.Р., Вершинин К.Е., Рогачёв А.П., Гаврилова А.А. Исследование байкальских побережий в устьях // Безопасность природопользования в условиях устойчивого развития: материалы II Межд. конференции (Иркутск, 19–21 ноября). Иркутск: ИГУ, 2018. С. 71–78.
4. Ilyichyova E.A., Pavlov M.V., Kobylkin D.V., Amosova I.Yu., Opekunova M.Yu., Chalov S.R., Vershinin K.E., Rogachyov A.P., Gavrilova A.A. Issledovaniye of the Baikal coasts in mouths // Bezopasnost' prirodoopol'zovaniya v usloviyakh ustoychivogo razvitiya: materialy II Mezhd. konferentsii (Irkutsk, 19–21 noyabrya). Irkutsk: IGU, 2018. P. 71–78 (in Russian).
5. Макаров С.А. Речные долины юга Восточной Сибири в голоцене. Новосибирск: «Гео», 2012. 86 с.
6. Makarov S.A. River valleys of the South of Eastern Siberia in the Holocene. Novosibirsk: «Geo», 2012. 86 p. (in Russian).
7. Хлыстов О.М., Кононов Е.Е., Минами Х., Казаков А.В., Хабеев А.В., Губин Н.А., Ченский А.Г. Новые данные о рельефе подводного южного склона Южно-Байкальской котловины // География и природные ресурсы. 2018. № 1. С. 59–65. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2018-1(59-65).
8. Khlystov O.M., Kononov E.E., Kazakov A.V., Khabuev A.V., Minami H., Gubin N.A., Chenskii A.G. New Evidence on the Relief of the Southern Underwater Slope in the South Baikal Basin // Geography and Natural Resources. 2018. V. 39. № 1. P. 33–38. DOI: 10.1134/S1875372818010055.
9. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году. М.: Минприроды России, 2017. 760 с. [Электронный ресурс]. URL: http://mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2016_/ (дата обращения: 20.06.2019).
10. The state report on a state and on environmental protection of the Russian Federation in 2016. M.: Minprirody Rossii, 2017. 760 p. [Electronic resource]. URL: http://mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2016_/ (date of access: 20.06.2019).
11. Потемкина Т.Г. Устья рек Байкала // Природа. 2014. № 12. С. 13–21.
12. Potemkina T.G. Baikal Rivers Estuaries // Nature. 2014. № 12. P. 13–21 (in Russian).
13. Ломоносов И.С., Яновский Л.М., Брюханова Н.Н. Основные качественные показатели вод Прибайкалья и их влияние на человека (сообщение 1) // Сибирский медицинский журнал. 2009. № 3. С. 110–113.
14. Lomonosov I.S., Yanovsky L.M., Brukhanova N.N. Major water quality indicators in Pribaikalye and their influence on man (Report 1) // Siberian medical magazine. 2009. № 3. P. 110–113 (in Russian).
15. Воробьева И.Б., Белозерцева И.А., Власова Н.В., Янчук М.С. Современное состояние водотоков в устьевых областях среднего и южного Байкала // Успехи современного естествознания. 2016. № 12–1. С. 144–148.
16. Vorobyova I.B., Belozertseva I.A., Vlasova N.V., Yanchuk M.S. Current state of watercourses in the estuarial areas of the middle and southern Lake Baikal // Achievements of modern natural sciences. 2016. № 12–1. P. 144–148 (in Russian).
17. Вотинцев К.К., Глазунов И.В., Толмачева А.П. Гидрохимия рек бассейна озера Байкал. М.: Наука, 1965. 495 с.
18. Votintsev K.K., Glazunov I.V., Tolmacheva A.P. Hydrochemistry of the rivers of the basin of Lake Baikal. M.: Nauka, 1965. 495 p. (in Russian).
19. Бочкарев П.Ф. Гидрохимия рек Восточной Сибири. Иркутск: Кн. изд-во, 1959. 155 с.
20. Bochkarev P.F. Hydrochemistry of the rivers of Eastern Siberia. Irkutsk: Kn. izd-vo, 1959. 155 p. (in Russian).
21. Кузьмин В.А. Почвенный покров. Иркутская область: экологические условия развития. Атлас. М., Иркутск: ИГ СО РАН, 2004. С. 60–61.
22. Kuzmin V.A. Soil cover. Irkutsk region: ecological conditions of development. Atlas, M., Irkutsk: IG SO RAN, 2004. P. 60–61 (in Russian).
23. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://soils.narod.ru> (дата обращения: 20.06.2019).
24. Classification and diagnosis of soils of Russia. Smolensk: Oykumena, 2004. 342 p. [Electronic resource]. URL: <http://soils.narod.ru> (date of access: 20.06.2019).
25. Воробьева Г.А. Почвы Иркутской области: вопросы классификации, номенклатуры и корреляции. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2009. 149 с.
26. Vorobeva G.A. Soils of the Irkutsk region: questions of classification, nomenclature and correlation. Irkutsk: Izd-vo Irkut. gos. un-ta, 2009. 149 p. (in Russian).
27. Костина М.В., Васильева Н.В., Насимович Ю.А. Природные и культивируемые тополя Иркутской области и Бурятии // Социально-экологические технологии. 2018. № 3. С. 9–21. DOI: 10.31862/2500-2961-2018-3-9-21
28. Kostina M.V., Vasilieva N.V., Nasimovich Yu.A. Natural and cultivated poplars of Irkutsk Province and Buryat Republic // Social-and-ecological technologies. 2018. № 3. P. 9–21 (in Russian).
29. Атлас развития Байкальского региона. Иркутск: ИГ СО РАН, 2017 [Электронный ресурс]. URL: <http://atlas.isc.irk.ru> (дата обращения: 20.06.2019).
30. Atlas of development of the Baikal region. Irkutsk: V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, 2017 [Electronic resource]. URL: <http://atlas.isc.irk.ru> (date of access: 20.06.2019).

УДК 631.46:528.92

**ЭКОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННОГО
ПОКРОВА ИНДУСТРИАЛЬНОГО ГОРОДА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ****Напрасникова Е.В., Сороковой А.А., Емельянова Н.В.***Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: napev@irigs.irk.ru*

Процессы урбанизации и техногенеза ведут к значительным преобразованиям сформировавшегося почвенного покрова. Они проявляются в виде смещения щелочно-кислотных свойств, степени трансформации органических соединений и изменения эволюционно сложившихся взаимообусловленных связей. В данной работе, на примере индустриального города Шелехова, эти положения впервые экспериментально изучены, представлены картографически, обоснованы и статистически подтверждены. Показано, что щелочно-кислотные свойства почв трансформированы от слабокислых до нейтральных и слабощелочных значений pH. Они получили широкое распространение на городской территории. На этом фоне выявлен уровень биохимической активности почв (БАП), связанный с круговоротом важного биогенного элемента – азота, как информативного критерия их функционального состояния. В то же время это показатель самоочищающей способности городской почвы. Данная экспериментальная часть работы выполнена на основе экспресс-метода по Т.В. Аристовской и М.В. Чуговой. Показано, что степень активности почв колеблется от среднеактивной до сильноактивной. Относительное содержание этих почв от общей площади города составляет 89,1 %. Почвы с очень высокой активностью составляют 1,9 %. Почвы со слабой активностью в городской черте не обнаружены. Согласно экспериментальным данным для системы БАП – pH в реальном времени, выявлена заметная связь. Коэффициент дисперсии по шкале Чеддока значительный и составил 0,52. Оценивая в целом биохимическое состояние изучаемых почв, можно сказать, что реакция почв удерживает их активность на высоком уровне. При этом отмечаем, что высокие показатели биологической активности городских почв не могут являться положительным фактом. Не исключаем возможность, что метаболический прогресс может привести почвенную систему к экологическому регрессу, который будет заключаться в выносе запасов биогенного азота. Картографическое отображение результатов выявило наиболее проблемные территории города, что придаёт практическую направленность данной работе.

Ключевые слова: город Шелехов, почвы, биохимическая активность, щелочно-кислотные условия, картографирование

**ECOLOGO-BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOIL COVER
OF AN INDUSTRIAL CITY IN EASTERN SIBERIA****Naprasnikova E.V., Sorokovoy A.A., Emelyanova N.V.***V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: napev@irigs.irk.ru*

The processes of urbanization and technogenesis involves transformations of the existing soil cover. They manifest themselves in the form of a shift of acid-alkaline properties and of the degree of transformation of organic compounds, and changes in evolutionarily established interdependent relationships. In this paper, using the industrial city of Shelekhov, these statements were studied experimentally for the first time, presented cartographically, substantiated and demonstrated statistically. It is shown that the soil acid-alkaline properties are transformed from weakly acidic to neutral and weakly alkaline pH values. They are of widespread occurrence across the urban territory. In these settings, the level of biochemical activity of soils (BAS) was identified, which is associated with the cycle of an important biogenic element, nitrogen, as the informative criterion for their functional status. On the other hand, it is the indicator of self-purification capacity of the urban soil. This experimental part of work was carried out using the rapid analysis method according to T.V. Aristovskaya and M.V. Chugunova. It is shown that the degree of soil activity varies from medium-active to strongly active. Their relative content makes up 89.1 % of the total urban area. Soils with very high activity are 1.9 %. No soils with weak activity were detected within the city limits. According to experimental data for the BAS – pH system in real time, an appreciable correlation was revealed. The dispersion coefficient on a scale of Chedoke significant and amounted to 0.52. Assessing the biochemical state of the studied soils, it can be said that the reaction of the soils keeps their activity at a relatively high level. At the same time, we note that high rates of biological activity of urban soils can not be a positive fact. It is not inconceivable that the metabolic process can lead the soil system to an ecological regress, implying the removal of biogenic nitrogen stock. Cartographic display of the results revealed the most problematic areas of the city, what gives the practical focus of this work.

Keywords: the City of Shelekhov, soils, biochemical activity, acid-alkaline conditions, mapping

Одна из актуальных проблем современности – это проблема загрязнения окружающей среды. Исходя из известного положения, что почва – незаменимый и неотъемлемый компонент биосферы, ученые видят экологическую значимость изучения её трансформации.

Выполненные исследования являются продолжением цикла работ по экологиче-

скому состоянию почв индустриальных городов и их картографированию [1, 2]. Природа Сибири считается ранимой. В этой связи актуальность и своевременность проблемы данной работы усиливается.

Основная цель исследования – оценка интегрального эколого-биохимического потенциала почв под воздействием техногенеза и урбанизации г. Шелехова. Ключевые

задачи сводились к следующему: отбор почвенных образцов в функциональных зонах города, определение щелочно-кислотных условий и биохимического статуса почв, нахождение корреляционной связи данных показателей и их картографическое отображение. Представленные исследования в данной работе по Шелехову выполнены впервые.

Материалы и методы исследования

Город Шелехов находится на юге Иркутско-Черемховской равнины и расположен между реками Иркутом и Олхой, в 18 км к юго-западу от областного центра – г. Иркутска. Город образован в 1993 г. и относится к самым молодым в области. Он входит в состав Иркутской агломерации и Большого Иркутска и является одним из ведущих промышленных центров Иркутской области.

Иркутский алюминиевый завод (ИрАЗ) считается самым главным источником загрязнения окружающей среды в Шелехове. Данный город является крупнейшим производителем алюминия и входит в список городов с очень высоким уровнем загрязнения окружающей среды. Кроме ИрАЗа в городе и на сопредельных территориях расположены заводы: железобетонных конструкций, по производству сверхчистого кремния, металлообрабатывающий, деревообрабатывающий, по производству тротуарной плитки, мебели, домостроительный комбинат. Обширно развиты сети электро- и теплоснабжения.

Климат Иркутской области резко континентальный. Для него характерна холодная продолжительная зима и относительно теплое лето. Значительные коррективы в температурный режим вносят местные физико-географические условия: рельеф, расчлененность, экспозиция склонов, наличие водоемов, растительность. Количество осадков на данной территории около 450 мм/год [3].

Детальные исследования были проведены на почвах и почвенном покрове г. Шелехова, и сопредельных территориях, которые описаны И.А. Белозерцевой [4]. Установлено, что в Шелеховском районе и в зоне влияния ИрАЗа преобладают антропогенно-изменённые дерновые лесные почвы с маломощным гумусовым горизонтом. Показано, что наибольшее содержание водорастворимой формы фтора (приоритетного загрязнителя) в верхнем слое почвы (0–10 см). Даная форма до-

стигает наивысшего содержания (20 ПДК) на расстоянии 0,5 км от завода. Основной перечень атмосферных загрязнителей над ИрАЗом следующий: фтористый водород, твёрдые фториды, бенз(а)пирен, хлорметан, формальдегид, диоксид азота, окислы кремния.

Нашим методическим выбором явились информативные критерии современного состояния городских почв – степень биохимической активности почв (БАП) и щелочно-кислотная обстановка (рН). Эти биоиндикационные методы относятся к оперативным и остаются актуальными в изучении экологически неблагополучных территорий [1, 2, 5]. Для проведения массовых лабораторных анализов БАП, характеризующую большую территорию, явился экспресс-метод Т.В. Аристовской, М.В. Чуговой [6]. Методика предполагает учет скорости (в часах) разложения модельного азотсодержащего органического соединения (карбамида). Принято считать, что чем меньше скорость разложения карбамида, тем выше уровень активности испытуемого субстрата.

Почвенные образцы отбирались с учетом различных функциональных зон города в вегетационный период по общепринятым методикам. Смешанный образец готовился из 10–15 отдельных проб. Щелочно-кислотные условия определялись потенциометрическим методом на приборе (иономер И-160МИ). Изолинейные карты построены с использованием метода пространственной интерполяции «Естественная окрестность (Natural Neighbor)».

Результаты исследования и их обсуждение

Хорошо известно, что показатель щелочно-кислотных условий почв (величина рН, ед.) рассматривается в качестве одной из важнейших интегральных почвенных характеристик. В условиях урбанизации и техногенеза данный показатель претерпевает существенную трансформацию. На изучаемой территории «кислотные дожди» не наблюдаются и, как правило, рН почв смещается в щелочную сторону. Величина рН почвенного покрова г. Шелехова варьирует от 6,3 до 7,8 ед., т.е. от слабощелочной до слабокислой. Из этого следует, что сильнокислых и сильнощелочных показателей на изучаемой территории не наблюдается. Результаты экспериментальных исследований представлены на изолинейной карте (рис. 1).

В рамках города наблюдаются два локальных ареала с минимальными рН. Один из них расположен вблизи влияния Ирказа и представляет собой «ядро», окруженное нейтральной и слабощелочной средой. Небольшие массивы со слабокислыми значениями рН приурочены к городским окраинам, за исключением его северной и западной части, и занимают 60,7 га. Их относительное содержание всего лишь 1,9%. Почвенный покров с нейтральными значениями рН занимает 72,2%, от общей площади, что составляет 2318,7 га. На карте отчетливо выражены территории со слабощелочными значениями рН (от 7,5 до

7,8 ед.). Они сформировали четыре ареала, которые приурочены к жилым зонам города с густонаселенными кварталами. Их суммарная площадь составляет 831 га, что в процентном отношении равно 25,9%. Переход значений рН почв от одной градации к другой на всей территории города плавный.

Результаты определения уровня БАП представлены на карте (рис. 2). Они позволили выделить три основные группы почв: первая – с очень высокой активностью (от 2,1 до 5,1 ч.); вторая – с высокой (от 5,1 до 7,1 ч) и третья группа (от 7,1 до 8,6 ч.) со средней активностью.

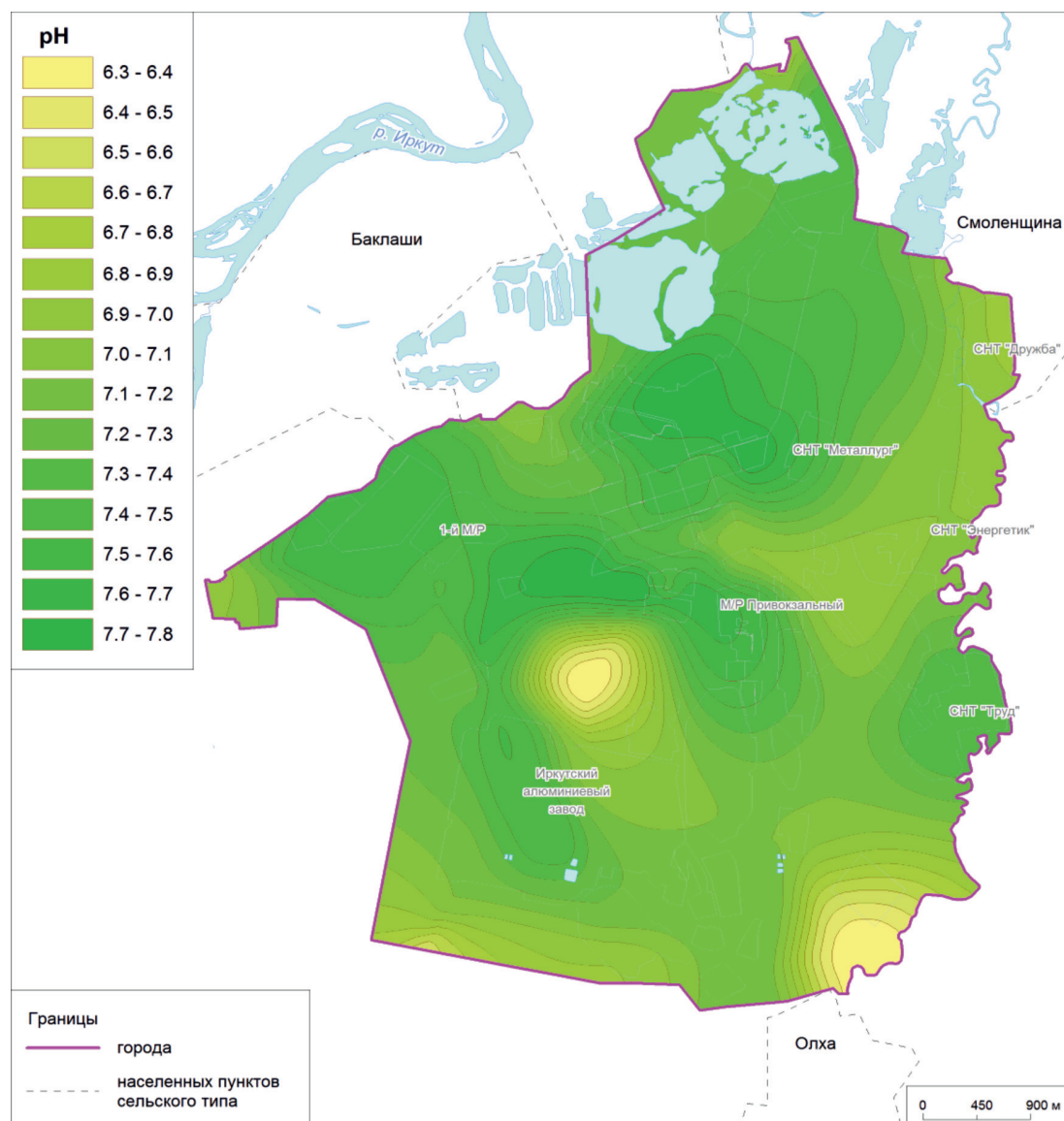


Рис. 1. Распределение значений рН почв г. Шелехова

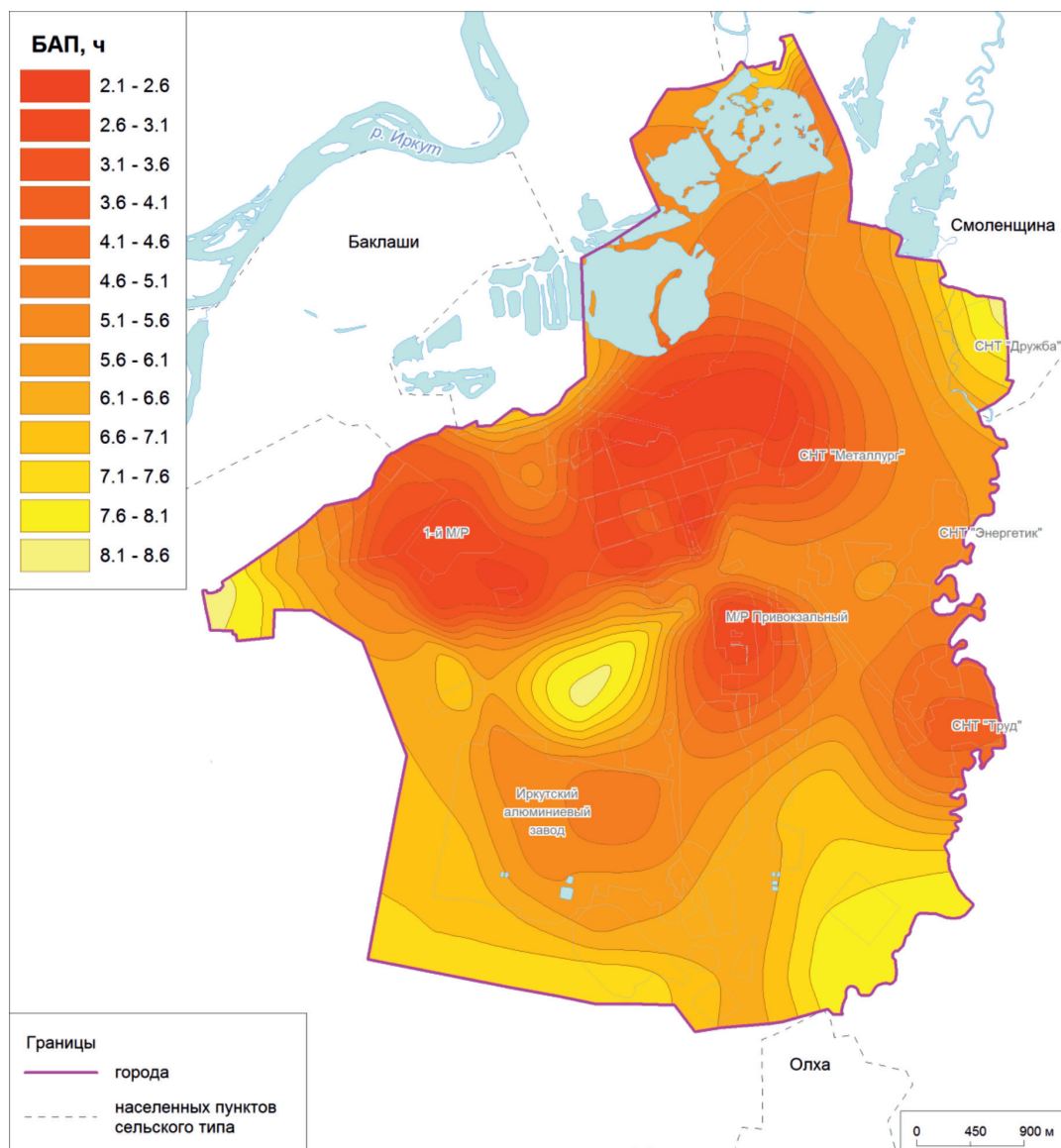


Рис. 2. Распределение значений уровня биохимической активности почв г. Шелехова

Приведём анализ состояния биологической активности почв в городской среде. Первая группа от общей территории города занимает 38,3%, что составляет 1232,5 га и может считаться сравнительно активной.. Вторая – получила наибольшее распространение – 1629,2 га, что соответствует 50,8%. Третья группа почв сравнительно небольшая и занимает 348,7 га, что составляет 10,9%. На карте хорошо видно, что почвы, обладающие очень высокой и высокой активностью, занимают большой массив северо-западной части города, где расположена селитебная (густонаселенная) зона. Небольшой ареал таких почв локально присутствует в цен-

тральной части, а также на восточной границе города. Следует отметить, что характер распределения биохимически активных почвенных субстратов совпадает с щелочно-кислотными условиями, значения которых нейтральные или слабощелочные. Данный факт нельзя считать позитивным, поскольку увеличение значений pH может повлечь нарушение механизмов регуляции, связанных с органическим азотом и, как следствие, его потерю. Группа почв с более низкими показателями БАП выделяется вблизи ИркАЗа и совпадает с ареалом низких значений pH. Эта же группа тяготеет к периферийным частям города и близка к природным рубе-

жам. Полученные результаты не противоречат экологической сущности исследуемого показателя, связанного с трансформацией азотсодержащих органических соединений. Переход значений БАП от одной градации к другой на всей территории города плавный.

В работе выполнен корреляционный анализ определяемых показателей. Он отразился на графике тесную взаимосвязь биологической активности изучаемых почв и их pH (рис. 3). Коэффициент дисперсии ($R^2 = 0,52$) можно считать сравнительно высоким. Теснота связи данного показателя, согласно шкале Чеддока, характеризуется как заметная, т.е. статистически существенная. Следует отметить, что основная масса точек значений БАП на графике расположена в интервале pH от 7 до 7,8 ед.

Выявленная зависимость БАП и pH подтверждает влияние особенностей городской среды на направленность биохимических процессов. Таким образом, проведенные исследования дополняют наши знания о состоянии почвенного покрова индустриального города. При этом следует подчеркнуть, что выполненная экспериментальная работа четко согласуется с новой современной концепцией экологической реконструкции и оздоровления урбанизированной среды [7].

Заключение

Экспериментальные исследования обеспечили базу данных для выполнения картографического отображения эколого-биохимического потенциала и щелочно-кислотных условий почвенного покрова индустриального города Шелехова. В результате выполненных исследований получены новые знания. Избранные показатели являются экспериментальным критерием функциональных осо-

бенностей распространенных дерновых лесных почв. Это позволило дать оценку их состоянию в реальном времени как сохранных. В итоге по данной территории впервые выполнены изолинейные карты. Показано, что преобладают массивы с очень высоким и высоким уровнем активности почв. Их можно считать проблемными территориями, в силу того, что повышение степени биологической активности почвенного покрова может сказаться на особенностях механизмов регуляции метаболических функций азотсодержащих органических веществ. Иными словами процессы, связанные с круговоротом биогенного азота, могут привести к потерям его запасов. Таким образом, проблемные территории г. Шелехова определяются экологически напряженными почвами. С наименьшим уровнем активности зарегистрирована всего лишь десятая часть от общей площади города. Почвы со слабой активностью на настоящий момент не обнаружены. Характер биохимической активности городских почв проявляется на фоне трансформированных щелочно-кислотных условий, отличающихся от контрольных, где pH регистрируется преимущественно слабокислая. Исследования позволили выявить характер связей между интегральными показателями. Статистическая обработка результатов определения БАП и pH подтвердила это значимым коэффициентом дисперсии по шкале Чеддока (0,52). Полученные данные можно считать не только информативными, но и прогностическими. Установлены тенденции почвенно-биохимических процессов под воздействием мощных факторов: урбанизации и техногенеза. Есть основания полагать, что в ближайшее время степень влияния этих факторов не изменится.

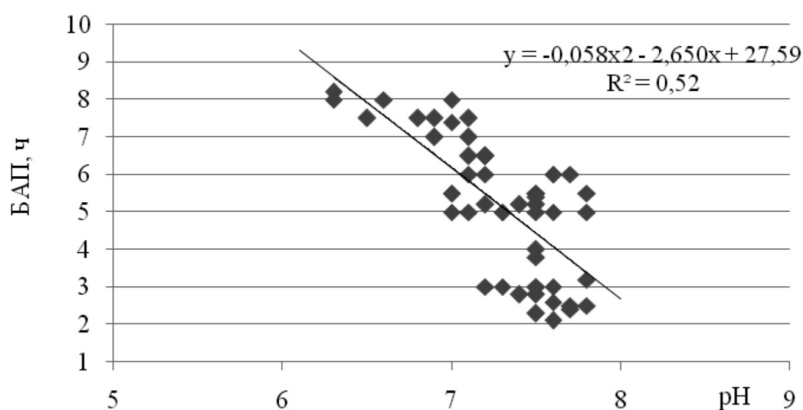


Рис. 3. Зависимость биохимической активности почвы от щелочно-кислотных условий

Картографическая обеспеченность усилила информативность работы и более четко выявила характер функциональных связей показателей. Кроме научной новизны работа имеет практическую направленность, которая будет полезна при дальнейшем обустройстве города, в целях улучшения общей экологической обстановки для жизнеобеспечения населения.

Список литературы / References

1. Напрасникова Е.В., Истомина Е.А. Почвенный покров на территории города Ангарска: эколого-биохимический и картографический аспект // География и природные ресурсы. 2012. № 4. С. 53–57.
Naprasnikova E.V., Istomina E.A. Soil cover on the territory of the city of Angarsk: The ecologo-biochemical and cartographic aspects // Geography and Natural Resources. 2012. V. 33. № 4. P. 289–292. DOI: 10.1134/S1875372812040051.
2. Напрасникова Е.В., Истомина Е.А. Исследование и картографирование эколого-биохимического состояния почв города Братска // Геодезия и картография. 2018. № 5. С. 20–26. DOI: 10.22389/0016-7126-2018-935-5-20-26.
Naprasnikova E.V., Istomina E.A. Investigation and mapping of the ecological-biochemical state of soils in the city of Bratsk // Geodesy and Cartography. 2018. № 5. P. 20–26 (in Russian).
3. Ипполитова Н.А., Коваленко С.Н., Орел Г.Ф., Роговская Н.В., Тюменцева И.А., Тюнькова И.А. География Иркутской области. Иркутск: Изд. Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2013. 233 с.
Ippolitova N.A., Kovalenko S.N., Orel G.F., Rogovskaya N.V., Tyumentseva I.A., Tyun'kova I.A. Geography of the Irkutsk oblast. Irkutsk: Izd. Instituta geografii im. V.B. Sochavy SO RAN. 2013. 233 p. (in Russian).
4. Белозерцева И.А. Воздействие выбросов алюминиевого производства на природную среду пригородной зоны // Тренды ландшафтно-геохимических процессов в геосистемах юга Сибири: коллективная монография. Глава 7.1. Новосибирск: Наука, 2004. С. 138–144.
Belozerceva I.A. Impact of aluminum production emissions on the suburban environment // Trends of landscape-geochemical processes in the geosystems of southern Siberia: a collective monograph. Chapter 7.1. Novosibirsk: Nauka, 2004. P. 138–144 (in Russian).
5. Меркулова М.Ю., Тихомирова Е.И., Абросимова О.В. Комплексный мониторинг экологического состояния урбанозёмов по биологическим показателям (на примере г. Саратова) // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 4. С. 25–29.
Merkulova M.Y., Tihomirova E.I., Abrosimova O.V. Comprehensive monitoring of the ecological status of urbanozems by biological indicators (on the example of the city of Saratov) // Theoretical and Applied Ecology. 2015. № 4. P. 25–29 (in Russian).
6. Аристовская Т.В., Чугунова М.В. Экспресс-метод определения биологической активности почв // Почвоведение. 1989. № 11. С. 142–147.
Aristovskaya T.V., Chugunova M.V. Express method for determining the biological activity of soil // Pochvovedenie. 1989. № 11. P. 142–147 (in Russian).
7. Фоков Р.И. Экологическая реконструкция и оздоровление урбанизированной среды. М.: Изд. Ассоциации строительных вузов, 2012. 304 с.
Fokov R.I. Ecological reconstruction and improvement of the urbanized environment. M.: Izd. Assotsiatsii stroitel'nyh vuzov, 2012. 304 p. (in Russian).

УДК 504.453:91:502.7

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ БАСЕЙНА РЕКИ ЯНЫ**Николаева Н.А.**

ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения Российской Академии наук, Якутск, e-mail: nna0848@mail.ru

Освоение имеющихся минерально-сырьевых ресурсов арктической зоны Якутии сопровождается все более усиливающимся воздействием на природную среду, что ставит задачи разработки особых экологических требований к способам хозяйствования с обязательным учетом экстремальных природно-климатических условий и низкой устойчивости природных ландшафтов в разряд актуальных. На обширной территории бассейна р. Яны расположены месторождения многих полезных ископаемых, действуют и строятся крупные горнодобывающие комплексы по добыче золота, серебра, сурьмы, имеются предприятия электроэнергетики, транспорта. Промышленное освоение особенно негативно воздействует на уязвимые северные ландшафты, а в случае недостаточной реализации необходимых природоохранных мероприятий может привести к крайне неблагоприятным, близким к катастрофическим экологическим, а также социальным последствиям. Обоснование направлений снижения отрицательных последствий промышленного освоения Севера целесообразно проводить в строгом соответствии с закономерностями строения, процессов и изменения ландшафтной структуры, которое обеспечивает ландшафтный подход и дифференцированную оценку природной устойчивости ландшафтов к антропогенной нагрузке. Оценивание было проведено при помощи ранжирования основных мерзлотных и биогидроклиматических показателей ландшафтных провинций. Определено, что все ландшафтные провинции бассейна р. Яны являются природными комплексами с различной степенью неустойчивости. Характер устойчивости ландшафтов к антропогенным нагрузкам меняется в зависимости от сочетания мерзлотных и биогидроклиматических факторов. Так, наиболее неустойчивыми явились природные комплексы с низкотеррасовым, межбалочным и мелкодолинным типами ландшафтов. Провинции с горносклоновым, моренным, горно-долинным и долинным типами ландшафтов отнесены к неустойчивым. Относительно неустойчивыми явились провинции с горнопривершинным и плоскогорнопривершинным типами ландшафтов. Результаты оценки степени устойчивости ландшафтных провинций арктической Якутии по биоклиматическим и мерзлотным условиям позволяют наметить пути проведения природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: Арктика, горнодобывающие комплексы, ландшафты, мерзлотные и биогидроклиматические показатели, устойчивость ландшафтов

ASSESSMENT OF THE SUSTAINABILITY OF THE JANA BASIN LANDSCAPES**Nikolaeva N.A.**

Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center «Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences» Institute of Physical and Technical Problems of the North named after V.P. Larionova, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: nna0848@mail.ru

The development of the existing mineral resources of the Arctic zone of Yakutia is accompanied by an ever-increasing impact on the natural environment, which poses the task of developing special environmental requirements for management methods, with mandatory consideration of extreme climatic conditions and low sustainability of natural landscapes as relevant. On the vast territory of the Yana River basin, many mineral deposits are located, large mining complexes for the extraction of gold, silver, antimony are operating and are being built, there are enterprises of electric power industry and transport. Industrial production has a particularly negative effect on fragile northern landscapes, and in case of insufficient implementation of the necessary environmental measures, it can lead to extremely unfavorable, close to catastrophic environmental as well as social consequences. The rationale for reducing the negative consequences of the industrial development of the North should be carried out in strict accordance with the laws of the structure, processes and changes in the landscape structure, which provides a landscape approach and a differentiated assessment of the landscape's natural resistance to anthropogenic stress. The assessment was carried out by ranking the main permafrost and biogeochemical indicators of landscape provinces. To prevent the negative consequences of anthropogenic pressure on natural landscapes, it is of paramount importance to assess the degree of their resistance to anthropogenic impact. For this, a number of the main landscape-forming factors of this territory were adopted and analyzed – permafrost (ice, temperature, thawing and freezing of frozen soils) and biogeochemical (phytomass, productivity, heat and moisture supply indicators). Their ranking according to the degree of influence on sustainability made it possible to assess the sustainability of natural complexes. As a result of the assessment, it was determined that all landscape provinces of the river basin Yana are assigned to natural complexes with varying degrees of instability. The nature of landscape resistance to anthropogenic pressures varies depending on the combination of permafrost and biogeochemical factors. So, the most unstable were natural complexes with low terraces, interalas, and shallow-valley types of landscapes. Provinces with mountain-slope, moraine, mountain-valley and valley types of landscapes are classified as unstable. Relatively unstable was a province with a mountain-top and flat-mountain top-landscape types. The results of assessing the degree of stability of the landscape provinces of the Arctic Yakutia according to bioclimatic and permafrost conditions allow us to outline ways of environmental protection.

Keywords: Arctic, mining complexes, landscapes, permafrost and biogeochemical indicators, stability of landscapes

Для устойчивого развития арктической зоны Республики Саха (Якутия) необходимо освоение труднодоступных минерально-сырьевых ресурсов в экстремальных природно-климатических условиях. Но в связи с низкой степенью изученности экологических последствий техногенного воздействия на состояние природных комплексов неотлагательно требуются опережающие научно-исследовательские работы. «В качестве приоритетных направлений исследований по изучению экологии арктических и субарктических районов Якутии выделяется изучение устойчивости мерзлотных экосистем» [1, с. 9].

Обширный бассейн р. Яны занимает площади трех административных районов Республики Саха (Якутии) – Усть-Янского, Верхоянского и северную оконечность Кобяйского. К территории приурочены месторождения полезных ископаемых – золота, олова, серебра, вольфрама, ртути, свинца, меди. Действуют и строятся крупные горнодобывающие комплексы по добыче месторождения золота «Кючус», серебра «Мангазейское» и «Прогноз», золота и сурьмы «Сентачан» [2]. Кроме них, имеются предприятия электроэнергетики, транспорта, местной промышленности и сельского хозяйства. Промышленное освоение особенно негативно воздействует на уязвимые северные ландшафты, а в случае недостаточной реализации необходимых природоохранных мероприятий может привести к крайне неблагоприятным, близким к катастрофическим экологическим, а также социальным последствиям. Одним из путей решения этих проблем может стать применение ландшафтных методов, обеспечивающих экологические исследования, в том числе задачи оценки степени устойчивости ландшафтов к техногенному воздействию, предотвращения негативных последствий техногенной нагрузки на природные ландшафты.

Цель работы: оценка степени устойчивости ландшафтов в соответствии с закономерностями строения и их изменения под воздействием техногенных факторов [3].

Цель исследования: оценка степени устойчивости ландшафтов бассейна р. Яны в условиях воздействия промышленного освоения на изменение природной среды.

Материалы и методы исследования

Оценка устойчивости ландшафтов бассейна р. Яны к механическим нарушениям

была произведена путем применения методики [4].

Устойчивость ландшафтов Севера и Сибири и ее проблемы рассматривались многими авторами [5–7], причем основными критериями устойчивости различными авторами принимаются разные факторы. При антропогенном воздействии и изменении криогенных ландшафтов их основные свойства обусловлены двумя главными характеристиками: льдистостью и среднегодовой температурой, температурой многолетнемерзлых пород. «Именно они являются свойствами литогенной основы ландшафтов до нарушения и определяют характер большинства их составляющих (растительности, глубины сезонного протаивания-промерзания, мерзлотно-геологических процессов)» [7, с. 26].

Для устойчивости мерзлотных ландшафтов при механических нарушениях большое значение имеет уровень «природного экологического потенциала ландшафта, главным показателем которого является индекс биологической эффективности климата» [8, с. 4], основанного на соотношении тепла и влаги, от которых зависит биологическая продуктивность ландшафта. Таким образом, для оценки устойчивости ландшафтов бассейна р. Яны были приняты их мерзлотно-литогенные, климатические и биологические характеристики.

Результаты исследования и их обсуждение

Ландшафтный анализ, включающий в себя методы оценки устойчивости, предопределяет необходимость изучения ландшафтной структуры территории исследования.

Бассейн р. Яны принадлежит физико-географической стране Северо-Восточная Сибирь и занимает пространство нескольких ландшафтных провинций. Физико-географические особенности региона позволили подразделить его на шесть провинций, входящих в состав четырех групп ландшафтных провинций: Нижне-Янскую озерно-термокарстовую, Куларскую низкогорную, Полоусненскую низкогорную, Приверхо-янскую моренную, Янскую плоскогорную и Орулганскую среднегорную [9, 10].

Ландшафтную структуру изучаемой территории составляют следующие типы местности: горно-привершинный, плоскогорно-привершинный, горно-склоновый, предгорный моренный, горно-долинный террасовый, ледниково-долинный, горно-долинный, межаласный, аласный, моренный, низкотеррасовый и мелкодолинный [7].

Краткая ландшафтная характеристика провинций: *В.П.2. Провинция Нижне-Янская озерно-термокарстовая*. Типы природных комплексов – горно-склоновый, горно-привершинный и плоскогорно-привершинный, а также долинные. Характерны низко- и среднегорные кустарничковые тундры, а также предтундровые ерниковые и кустарничково-моховые, часто заболоченные редколесья по долинам рек, минимально- и низкопродуктивные, очень холодные и холодные, влажность колеблется от избыточно-влажных до сухих местообитаний. В устье реки представлена низкотеррасовой поймой и террасами дельтовой аллювиально-аккумулятивной равнины. Левобережье представлено межаласным ландшафтом с южнотундровыми и лиственничными рединами и редколесьями, на правобережье – северотаежным, с плоскоравнинной поверхностью озерно-аллювиальных равнин; *В.И.3. Провинция Куларская низкогорная*. Типы природных комплексов – горно-склоновый, горно-привершинный, плоскогорно-привершинный и долинный. Характерны высокогорные пустыни, кустарничковые тундры, низко- и среднегорные кустарничковые тундры, а также предтундровые ерниковые и кустарничково-моховые, часто заболоченные редколесья по долинам рек, минимально- и низкопродуктивные, очень холодные и холодные. Влажность колеблется от избыточно-влажных до сухих местообитаний; *В.И.4. Провинция Полоусненская низкогорная*. Горно-склоновые, горно-привершинные, горно-долинные, плоскогорно-привершинные ландшафты сочетаются с межаласными и аласными. Покрыты пустынями горными эпифитно-лишайниковыми, тундрами горными каменистыми, лишайниковыми и заболоченными, а также низко- и среднегорными лиственничными редколесьями ерниковыми и кустарничково-лишайниковыми. Местообитания очень холодные, холодные, минимально и низкопродуктивные, избыточно и недостаточно влажные; *В.И.1. Провинция Приверхоянская моренная*. В целом характерно распространение плоскогорно-привершинных и горно-склоновых природных комплексов. Растительный покров представлен горными тундрами лишайниковыми и кустарничковыми, ерниковыми и заболоченными, а также лиственничными редколесьями и рединами кустарничковыми и лишайниковыми; *В.И.2. Провинция Янская плоскогорная*. Выровненные поверхности плоскогорий, поросшие горными тундрами,

лиственничным редколесьем и зарослями кедрового стланика, а также денудационных останцов, плоскогорий и долин горных рек составляют основную часть территории. Юго-восточная часть провинции занята моренными, межаласными и аласными ландшафтами, на которых прирастают северотаежные лиственничные редколесья ерниковые и кустарничково-лишайниковые. Местообитания минимально-продуктивные, умеренно-холодные, сухие; *В.И.1. Провинция Орулганская среднегорная*. Сложный рельеф составляют горы, среди которых выделяются выровненные участки горных хребтов, их склоны, пологие поверхности межгорной котловины, днища троговых долин, ледниковые долины, морены. В пределах исследуемой территории растительность в основном представлена горными арктическими пустынями и горными тундрами лишайниковыми и зарослями кедрового стланика. Горные редколесья представлены фрагментарно. Местообитания низкопродуктивные, холодные, влажные [10].

Для оценки устойчивости ландшафтных провинций бассейна р. Яны приняты основные факторы их формирования [3]. Это мерзлотные и биоклиматические показатели, приведенные соответственно по [9, 10] и отраженные в табл. 1.

Каждой ландшафтной провинции были присвоены полученные экспертным путем оценочные баллы от 1 до 4, при этом с понижением устойчивости повышается балл [3]. Выделены 4 градации по степени влияния определенного фактора на снижение устойчивости ландшафта: не влияет – 1 балл; слабо влияет – 2; заметно влияет – 3; нарушает – 4 балла. По сумме баллов можно оценить степень устойчивости конкретной ландшафтной провинции. Так, более устойчивым ландшафтам был присвоен меньший общий балл (табл. 2).

Расчеты позволили дать оценку устойчивости группам ландшафтных провинций бассейна р. Яны по следующей шкале ранжирования: относительно устойчивые – менее 15; относительно неустойчивые – 15–18 баллов; неустойчивые – 19–23 балла; 24 и более – крайне неустойчивые. Расчеты позволили дать оценку устойчивости группам ландшафтных провинций бассейна р. Яны по следующей шкале ранжирования: относительно устойчивые – менее 15; относительно неустойчивые – 15–18 баллов; неустойчивые – 19–23 балла; 24 и более – крайне неустойчивые.

Таблица 1
Биоклиматические и мерзлотные факторы формирования ландшафтных провинций территории бассейна реки Яны

Обозначение	Продуктивность, ц/га	Запасы фитомассы, ц/га	Теплообеспеченность, град.	Радиационный индекс сухости, ккал см ² /год	Мощность *(стс смс), м	Температура пород на подповерхности годовых колебаний (средн./мин.), °С	Объемная льдистость пород, %	Характер распространения многолетних мерзлых пород
В.П.2.	минимально продуктивные, < 20	ок. 20–130	очень холодные и холодные < 600	недостаточно влажные, 1,5–2,0	0,15–0,8	–4...–12	т 70–85 с 40–75 п 30–50	сплошной с подрусловыми таликами
В.И.3.	минимально и низкопродуктивные 20–40 (< 20)	ок. 70	очень холодные и холодные < 600	избыточно влажные (менее 0,5) и сухие 0,5–2,0	0,4–1,5	–7,5...–10	сщ 30–70 пщ 25–45 гоз 25–65	сплошной
В.И.4.	минимально и низкопродуктивные 20–40 (< 20)	ок. 70	очень холодные и холодные < 600	избыточно (< 0,5) и недостаточно влажные, 0,5–1,5	0,4–1,5	–7,5...–10	сщ 30–70 пщ 25–45 гоз 25–65	сплошной
В.В.1.	минимально продуктивные < 20	ок. 1000	холодные, 600–800	сухие, 2,0–2,5	0,6–1,8	–3...–6	сщ 30–70 пщ 25–45 гоз 25–65	сплошной
В.В.2.	минимально продуктивные < 20	ок. 1000	умеренно холодные, 800–1000	сухие, 2,0–2,5	0,6–1,8	–3...–6	сщ 30–70 пщ 25–45 гоз 25–65	сплошной
В.В.1.1.	низкопродуктивные, 20–40	ок. 70–1000	холодные 600–800	умеренно влажные, 1,0–1,5	подольцовые 0,4–1,5 горно-редколесные 0,6–1,8	подольцовые –7,5...–10 горно-редколесные –3...–6	сщ 30–70 пщ 25–45 гоз 25–65	сплошной

Примечание. * стс – сезонно-талый слой; смс – сезонно-мерзлый слой; п – песок; с – суглинок, супесь; т – торф; гоз – грубообломочный с заполнителем; сщ – суглинок щебнистый; пщ – песок щебнистый.

Таблица 2

Оценка влияния природных факторов на снижение устойчивости ландшафтов

Биогидротермические и геокриологические условия	Оценка влияния в баллах			
	1 балл относительно устойчивые	2 балла относительно неустойчивые	3 балла неустойчивые	4 балла крайне неустойчивые
Продуктивность, ц/га	средне-продуктивные, 40–60	низкопродуктивные, 20–40	минимально (< 20) и низкопродуктивные, 20–40	минимально продуктивные, менее 20
Теплообеспеченность, °С	умеренно теплые, 1200–1400; 1400–1600	умеренно холодные, 800–1000; 1000–1200	холодные, 600–800	очень холодные, менее 600
Индекс сухости, ккал·м ² /год	умеренно влажные, 1,0–1,5	недостаточно влажные, 1,5–2,0;	избыточно-влажные, менее 0,5	сухие, 2,0–2,5
Запасы фитомассы, ц/га	1200–2000	400–1000	70–400	20–130
Характер распространения многолетнемерзлых пород	прерывистый	сплошной с подрусловыми таликами	сплошной	сплошной
Температура грунтов, °С	от –5° и ниже	от –5° до –2°	от –2° до –1°	от –1° до +1°
Льдистость отложений (объемная), %	10–20	20–40	40–60	60 и более
Мощность сезонно-талого (стс) и сезонно-мерзлого (смс) слоев, м	1,5–2,0	0,8–1,8	0,2–0,8	до 0,15

Таблица 3

Оценка влияния биоклиматических и мерзлотных условий на степень устойчивости ландшафтов бассейна р. Яны

Биоклиматические и мерзлотные факторы	Провинции					
	В.ІІ.2	В.ІV.3	В.ІV.4	В. V.1	В. V.2	В. VI.1
Продуктивность, ц/га	4	3	3	4	4	2
Запасы фитомассы, ц/га	4	4	4	2	2	2
Теплообеспеченность, °С	4	4	4	3	2	3
Индекс сухости, ккал·м ² /год	2	3	2	4	4	1
Мощность сезонно-талого (стс) и сезонно-мерзлого (смс) слоев, м	3	2	2	2	2	2
Температура грунтов, °С	1	1	1	2	2	1
Льдистость поверхностных отложений (объемная), %	4	3	3	3	3	3
Характер распространения многолетнемерзлых пород, ммп	2	1	1	1	1	1
Сумма баллов	24	21	21	21	20	15
Степень устойчивости	крайне неустой.	неустой.	неустойч.	неустойч.	неустойч.	относит. неустойч.

В табл. 3 дана суммарная оценка степени устойчивости была произведена для ландшафтных провинций бассейна р. Яны.

Анализ полученных результатов позволил дать оценку устойчивости природных комплексов бассейна р. Яны. Нижне-Янская тундровая ландшафтная провинция

с низкотеррасовым ландшафтом поймы в устье реки, относящаяся к субарктическим и арктическим тундрам, определена как природный комплекс крайней степени неустойчивости. Куларская и Полоусненская с преобладанием горнотундровых природных комплексов и заболоченными

редколесьями по долинам рек, отнесены к неустойчивым. Приверхоянская моренная и Янская плоскогорная провинции с преобладанием горноредколесных природных комплексов также отнесены к ландшафтам к неустойчивым. И лишь Орулганская среднегорная провинция с горнотундровыми и горноредколесными ландшафтами, представленными горными арктическими пустынями и горными тундрами лишайниковыми и зарослями кедрового стланика, определена как относительно неустойчивая.

Выводы

Таким образом, все ландшафтные провинции бассейна р. Яны отнесены к природным комплексам с различной степенью неустойчивости. Характер устойчивости ландшафтов к антропогенным нагрузкам меняется в зависимости от сочетания мерзлотных и биогидроклиматических факторов. Так, наиболее неустойчивыми явились природные комплексы с низкотеррасовым, межлассным и мелкодолинным типами ландшафтов. Провинции с горносклоновым, моренным, горно-долинным и долинным типами ландшафтов отнесены к неустойчивым. Относительно неустойчивой явилась провинция с горнопривершинным и плоскогорнопривершинным типами ландшафтов.

Список литературы / References

1. Асеев А.Л., Лебедев М.П. О концепции Программы комплексных научных исследований в Республике Саха (Якутия) // Экономика Востока России. 2015. № 2 (4). С. 9–11.
2. Aseev A.L., Lebedev M.P. The Concept of the Complex Scientific Research Program in the Republic of Sakha (Yakutia) // Ekonomika Vostoka Rossii. 2015. № 2 (4). P. 9–11 (in Russian).
3. Асеев А.Л., Лебедев М.П. О концепции Программы комплексных научных исследований в Республике Саха (Якутия). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vnedra.ru/состояние-и-использование-минеральн-99/> (дата обращения: 08.08.2019).
4. The state and use of the mineral resource base of minerals of the Republic of Sakha (Yakutia). [Electronic resource]. URL: <https://www.vnedra.ru/состояние-и-использование-минеральн-99/> (date of access: 08.08.2019) (in Russian).
5. Николаева Н.А., Пинигин Д.Д. К вопросу об устойчивости природных комплексов зоны освоения Эльгинского каменноугольного месторождения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 2–2. С. 457–461.
6. Nikolaeva N.A., Pinigin D.D. To the question of natural complexes stability in the zone of Elginsky coal field development // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2016. V. 18. № 2–2. P. 457–461 (in Russian).
7. Шполянская Н.А., Зотова Л.И. Карта устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири // Вестник МГУ. Серия 5. География. 1994. № 1. С. 56–65.
8. Shpolyanskaya N.A., Zotova L.I. Stability map of landscapes of permafrost zone of Western Siberia // Vestnik MGU. 1994. № 1. Seriya 5. Geografija. P. 56–65 (in Russian).
9. Коновалова Т.И., Бессолицына Е.П. Устойчивость и направления антропогенных преобразований геосистем южной части средней Сибири // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2011. № 2. С. 120–137.
10. Konovalova T.I., Bessolitsyna E.P. Stability and directions of anthropogenic transformation of geosystems of the southern part of Central Siberia // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle. 2011. № 2. P. 120–137 (in Russian).
11. Васильев И.С., Федоров А.Н., Варламов С.П., Торговкин Я.И., Васильев А.И., Шестакова А.А. Устойчивость криогенных ландшафтов на северном участке трассы железной дороги Якутии // Наука и образование. 2009. № 2. С. 4–9.
12. Vasiliev I.S., Fedorov A.N., Varlamov S.P., Torgovkin Y.I., Vasiliev A.I., Shestakova A.A. Stability of cryogenic landscapes in the northern part of the railway line of Yakutia // Nauka i obrazovanie. 2009. № 2. P. 4–8 (in Russian).
13. Горохов А.Н. Оценка устойчивости мерзлотных ландшафтов Верхоянского района Республики Саха (Якутия) // География и геоэкология на службе науки и инновационного образования: материалы XI Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному Дню Земли и 100-летию заповедной системы России. Красноярск: Изд-во: КГУ, 2016. С. 25–28.
14. Gorokhov A.N. Assessment of stability of permafrost landscapes in the Verkhoyansk district of the Republic of Sakha (Yakutia) // Geografiya i geojekologiya na sluzhbe nauki i innovacionnogo obrazovanija: materialy XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj Vsemirnomu Dnju Zemli i 100-letiju zapovednoj sistemy Rossii. Krasnojarsk: Izd-vo: KGU, 2016. P. 25–28 (in Russian).
15. Абалаков А.Д., Лопаткин Д.А. Устойчивость ландшафтов и ее картографирование // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2014. Т. 8. С. 2–14.
16. Abalakov A.D., Lopatkin D.A. Mapping of Landscape Stability // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle. 2014. T. 8. P. 2–14 (in Russian).
17. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000 / гл. ред. М.Н. Железняк. М., 2018. 2 л.
18. Permafrost-landscape map of the Republic Sakha (Yakutia). Scale 1: 1 500 000 / ed. M.N. Zhelezniak. M., 2018. 2 p. (in Russian).
19. Федоров А.Н., Ботулу Т.А., Варламов С.П. Мерзлотные ландшафты Якутии: Пояснительная записка к «Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР». Новосибирск, 1989. 170 с.
20. Fedorov A.N., Botulu T.A., Varlamov S.P. Permafrost landscapes of Yakutia: Explanatory note to the «Permafrost-landscape map of the Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic». Novosibirsk, 1989. 170 p. (in Russian).

УДК 556.51:551.583

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В ЗАВОЛЖСКО-УРАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ В АСПЕКТЕ УСТОЙЧИВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Павлейчик В.М., Сивохип Ж.Т.

Институт степи УрО РАН, Оренбург, e-mail: pavleychik@rambler.ru

В статье проведен анализ особенностей изменения климата в Заволжско-Уральском регионе в аспекте ландшафтно-географической неоднородности и формирования водного режима рек (на примере бассейна р. Урал). Актуальность проведенного исследования определяется расположением территории в зоне рискованного сельскохозяйственного производства ввиду характерной для степных регионов межгодовой изменчивости метеорологических параметров и показателей речного стока. На основе расчета коэффициентов линейных трендов (в разрезе календарных месяцев и сезонов года) по 15 метеостанциям рассмотрена многолетняя (1977–2015) динамика значений температуры и осадков. Выявлено, что наиболее значительный и повсеместный рост температур происходит в безморозные сезоны года, составляя в среднем $0,4\text{--}0,5^\circ\text{C}/10$ лет. Зимой тенденция нарастания температур не столь отчетлива и однородна в пространстве, в среднем скорость составляет $0,18^\circ\text{C}/10$ лет. Значения линейных трендов по осадкам в безморозный период распределены в пространстве значительно более однотипно, чем зимой. Положительные тренды повсеместно наблюдаются лишь весной, а летом и осенью характерно снижение количества осадков. Отмечено, что процессы трансформации как климатических условий, так и параметров речного стока идентичны тенденциям, наблюдающимся на европейской территории России, что свидетельствует об изменениях климатической системы на макрорегиональном уровне. Следствием климатических трансформаций стала тенденция к перераспределению сезонного стока в сторону увеличения доли меженного стока (особенно зимнего) и, соответственно, сокращения доли стока в периоды весенних половодий. Наблюдаемые изменения в климате Заволжско-Уральского региона, проявляющиеся как в долговременных тенденциях, в усилении аномальности и внутригодовых трансформациях свидетельствуют о необходимости корректировки структуры природопользования. В первую очередь актуальна проблема оптимизации водопользования и регулирования стока в условиях водно-дефицитных степных регионов.

Ключевые слова: региональный климат, многолетняя динамика, тренды, аномальность, речной сток

CLIMATE CHANGE TRENDS IN THE ZAVOLZHSCO-URAL REGION IN THE ASPECT OF SUSTAINABLE USE OF WATER RESOURCES

Pavleychik V.M., Sivokhip Zh.T.

*Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg,
e-mail: pavleychik@rambler.ru*

The article analyzes the characteristics of climate change in the Zavolzhsk-Ural region in terms of landscape-geographical heterogeneity and the formation of the water regime of rivers (by the example of the Ural River basin). The relevance of the study is determined by the location of the territory in the zone of risky agricultural production due to the interannual variability of meteorological parameters and river flow indicators characteristic of the steppe regions. Based on the calculation of linear trend coefficients (broken down by calendar months and seasons) for 15 weather stations, long-term (1977–2015) dynamics of temperature and precipitation values was considered. It was revealed that the most significant and widespread increase in temperature occurs in the frost-free seasons of the year, averaging $0.4\text{--}0.5^\circ\text{C}/10$ years. In winter, the tendency to rise in temperature is not so distinct and uniform in space; on average, the rate is $0.18^\circ\text{C}/10$ years. The values of linear trends in precipitation during the frost-free period are distributed in space much more uniformly than in winter. Positive trends are everywhere observed only in the spring, while summer and autumn are characterized by a decrease in precipitation. It was noted that the processes of transformation of both climatic conditions and river runoff parameters are identical to the trends observed in the European territory of Russia, which indicates changes in the climate system at the macro-regional level. The consequence of climatic transformations has become a tendency to redistribute seasonal runoff towards an increase in the proportion of low-water runoff (especially winter) and, accordingly, a decrease in the proportion of runoff during the periods of spring floods. The observed changes in the climate of the Trans-Volga-Ural region manifested both in long-term trends, in the strengthening of anomalies and in intra-annual transformations, indicate the need to adjust the nature management structure. First of all, the problem of optimizing water use and regulating runoff in conditions of water-scarce steppe regions is topical.

Keywords: regional climate, long-term dynamics, trends, anomaly, river flow

Традиционные системы природопользования и водопользования, несмотря на их мнимую устойчивость, в условиях изменяющегося климата могут столкнуться с необходимостью коренной трансформации подходов к использованию водных, земельных и растительных ресурсов. Особо вероятны

подобные риски для аграрных регионов, периодически испытывающих недостаток водных ресурсов и атмосферного увлажнения для устойчивого ведения хозяйства.

В связи с этой потенциальной проблемой нами проведен анализ региональных особенностей изменения климата для заволж-

ско-уральского сектора степей Северной Евразии – крупного географического региона с четким проявлением широтной зональности. Исследуемая территория в течение длительного времени осваивалась преимущественно под сельскохозяйственные нужды, что привело к интенсивной деградации земель (дефляция, эрозия, вторичное засоление и др.). В отдельные периоды регион подвергается негативным последствиям кратковременных погодно-климатических изменений (засухи и песчаные бури), что требует разработки и реализации комплексных мелиоративных мероприятий.

Основная часть территории принадлежит бассейну р. Урал, с главными водотоками которого связано формирование системы расселения и развития крупных промышленных центров – потребителей водных ресурсов. Сочетание недостатка водных ресурсов и крайней неоднородности речного стока привело к необходимости регулирования стока. Для закономерно повторяющихся изменений гидрологического состояния водного объекта (гидрологический режим) ключевое значение имеет водный режим, определяющий ритмику поступления воды с поверхности речного бассейна [1]. В свою очередь, внутригодовая изменчивость водного режима детерминруется сезонными изменениями роли источников питания и спецификой их пространственно-временного сочетания. Так, для рек бассейна р. Урал определяющим типом питания является снеговое, причем роль данного источника в формировании стока не совпадает с календарными сроками вследствие особенностей накопления воды в пределах речного бассейна и его расходования [2]. Кроме того, накопление осадков в виде снега определяет главные черты водного режима рек исследуемого бассейна – весеннее половодье и зимняя межень. Соответственно, сезонное изменение элементов водного баланса, аккумуляция и расходование запасов влаги преимущественно определяются климатическими условиями [1].

В соответствии с вышесказанным, цель исследования – выявить особенности изменения климата в Заволжско-Уральском регионе в аспекте ландшафтно-географической неоднородности и формирования водного режима рек (бассейн р. Урал). На данном этапе исследований рассмотрена многолетняя динамика температуры и осадков, на основе которой в дальнейшем будут сделаны выводы о природной составляющей изменчивости стока рек бассейна р. Урал и о рисках природопользования в степных регионах.

Материалы и методы исследования

Для расчета многолетних тенденций в динамике регионального климата были рассчитаны коэффициенты линейных трендов в разрезе календарных месяцев и сезонов года. В качестве исходных приняты ряды данных метеонаблюдений за 39-летний период (1977–2015 гг.) по 15 метеостанциям, расположенным в Заволжско-Уральском регионе, включая бассейн р. Урал (рис. 1). Из них большинство (10 станций, № 1–7 и 13–15) располагаются в пределах Южного Приуралья, результаты по ним характеризуют тенденции изменения климата в аспекте смены широтно-зональных условий, от лесостепи до сухих степей.

По данным метеостанций (Оренбург, Илек, Уральск, Актобе), имеющих более продолжительный период наблюдений (1926–2017), рассчитаны значения аномалий среднегодовых и сезонных метеопараметров. Отдельные аспекты рассматриваемой проблемы потребовали более частных подходов. Так, при выявлении факторов перераспределения внутригодового речного стока, проанализированы показатели, отражающие нарастание значимости зимних оттепелей (суммы зимних положительных среднесуточных температур, продолжительность дней с оттепелями).

Результаты исследования и их обсуждение

Общеизвестно, что температура воздуха, в отличие от осадков, относится к косвенным факторам формирования речного стока и, соответственно, при оценке климатических изменений данные показатели рассматриваются независимо друг от друга [3, 4]. Но вместе с тем при сопоставлении гидрометеорологических данных по отдельным сезонам наблюдается достаточно тесная связь и, прежде всего, в холодный период года [5].

Температурный режим. Согласно выводам Межправительственной группы экспертов по изменению климата [6], потепление климатической системы является неоспоримым фактом, и начиная с 1950-х гг. многие наблюдаемые изменения являются беспрецедентными в масштабах от десятилетий до тысячелетий. Каждое из трех последних десятилетий характеризовалось более высокой температурой у поверхности Земли по сравнению с любым предыдущим десятилетием, начиная с 1850 г. В многолетнем ходе глобальной температуры наиболее интенсивное потепление прослежи-

вается в течение последних 30–40 лет, так в пределах территории России скорость потепления составляет более $0,45^{\circ}\text{C}/10$ лет, причем интенсивность потепления неодинакова в разных частях страны [7, 8]. Тенденция потепления климата отмечается и на региональном уровне для рассматриваемой территории. В целом текущее потепление началось в Заволжско-Уральском регионе с 1970-х гг. с максимальным ростом температуры воздуха с середины 1990-х гг. [9].

Еще одним из распространенных подходов к анализу современных тенденций трансформации климата является расчет показателей аномальности среднегодовой температуры по отношению к нормированным значениям (рис. 2). Согласно данным Росгидромета [10], 2016 г. стал пятым среди самых теплых с 1936 г. – осредненная по территории России среднегодовая аномалия температуры воздуха (отклонение от среднего за 1961–1990 гг.) составила $+1,69^{\circ}\text{C}$ и соответствует средней тенденции роста за период с 1976 г.

Полученные оценки аномалий среднегодовых температур воздуха (Оренбург и Уральск) свидетельствуют о том, что 2016 г. был самым теплым начиная с 1926 г. – среднегодовая аномалия (отклонение от среднего за 1961–1990 гг.) состави-

ла $+2,6^{\circ}\text{C}$, даже несмотря на то, что летний экстремум в пределах исследуемой территории отмечается не в 2016 г., а в 2010 г. (Оренбург $+4,8^{\circ}\text{C}$).

Отметим, что для анализа условий стокоформирования существенное значение имеет также определение сезонных тенденций температуры приземного слоя (таблица).

Изменение значений среднегодовых температур по сезонам

Метеостанции	Сезоны года, периоды			
	зима	весна	лето	осень
1926–1960				
Оренбург	–13,9	3,9	20,7	4,6
Илек	–13,4	3,9	17,8	3,6
Актобе	–14,0	4,2	21,3	4,7
Уральск	–13,1	4,4	21,3	5,1
1961–1990				
Оренбург	–12,2	5,4	20,6	5,0
Илек	–12,7	4,4	19,2	3,9
Актобе	–12,5	5,5	21,2	5,2
Уральск	–11,2	6,2	21,0	5,7
1990–2017				
Оренбург	–11,0	6,2	21,3	6,0
Илек	–12,3	4,3	19,2	4,3
Актобе	–11,4	6,1	21,8	5,8
Уральск	–9,7	7,1	22,0	6,6

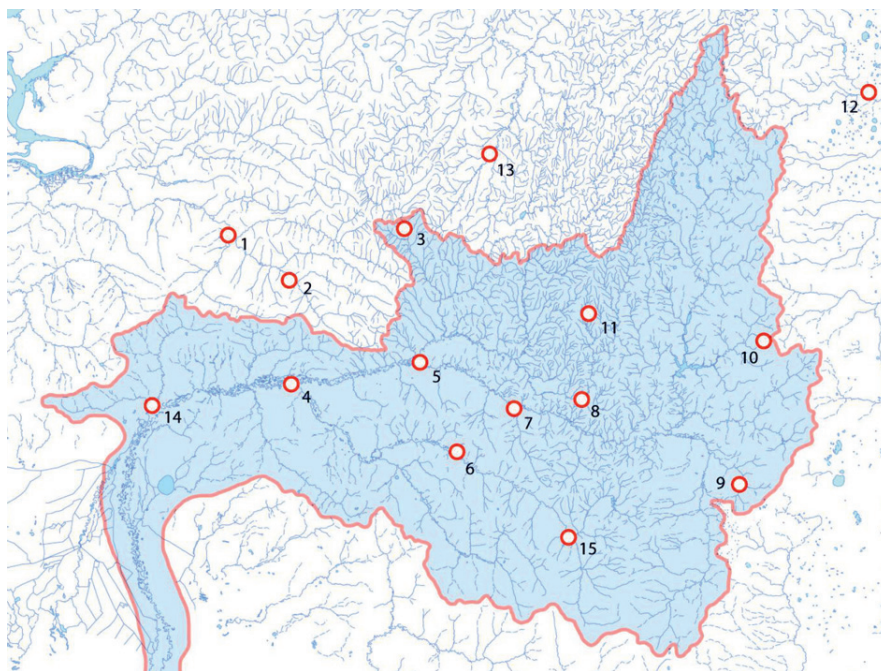


Рис. 1. Схема расположения метеостанций: 1 – Бузулук, 2 – Сорочинск, 3 – Шарлык, 4 – Илек, 5 – Оренбург, 6 – Акбулак, 7 – Беляевка, 8 – Кувандык, 9 – Домбаровка, 10 – Айдырля, 11 – Зилаир, 12 – Троицк, 13 – Стерлитамак, 14 – Уральск, 15 – Актобе

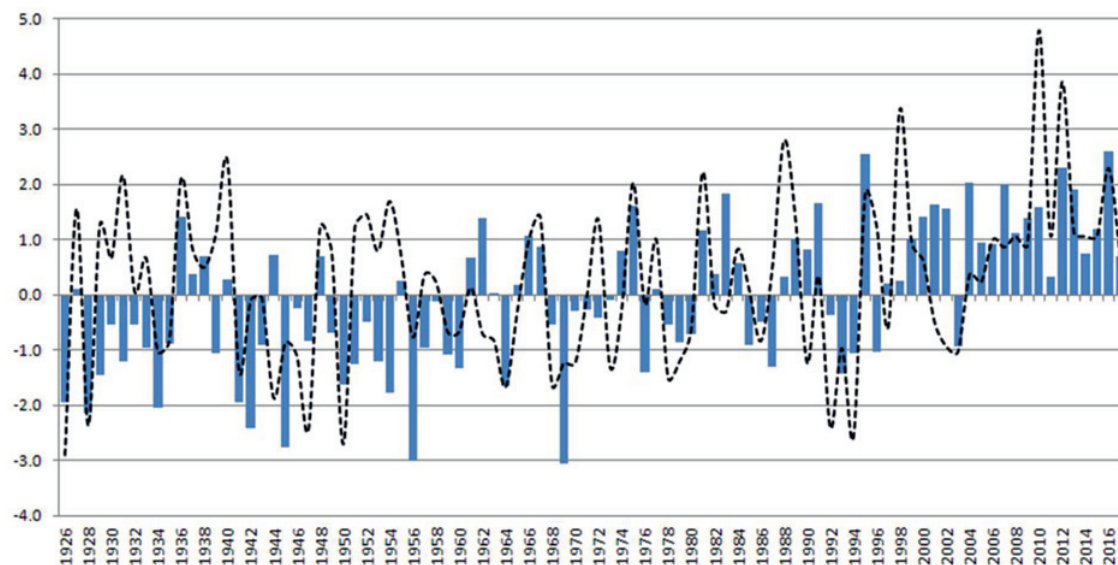


Рис. 2. Аномалии среднегодовой (столбцы) и летней (график) температур воздуха ($^{\circ}\text{C}$, Оренбург, 1926–2017)

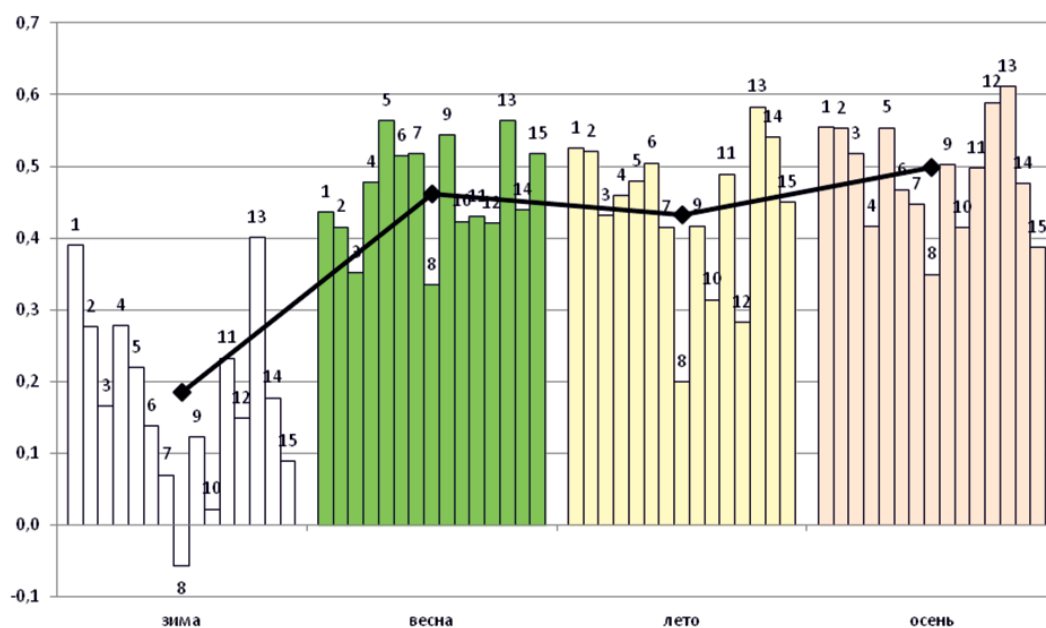


Рис. 3. Сезонное распределение коэффициентов линейного тренда динамики температур за 1977–2015 гг. по метеостанциям ($^{\circ}\text{C}/10$ лет). В подписях – номера метеостанций, согласно рис. 1

Согласно полученным данным, в пределах Заволжско-Уральского региона выявлена следующая тенденция – наиболее заметное потепление отмечается в весенний и зимний периоды с максимальными положительными аномалиями в южной части рассматриваемой территории.

Региональные тенденции изменения температуры воздуха во внутригодовом

разрезе подтверждаются расчетом коэффициентов линейного тренда (рис. 3). В целом исследуемый регион по росту среднегодовых температур относится к единой с европейской частью России зоне, для которой характерны значения $0,4\text{--}0,5^{\circ}\text{C}/10$ лет [7]. Обращает внимание определенное снижение многолетнего роста температурных значений по направлению к восточным

и юго-восточным районам территории, соответствующим наиболее значимым зонам формирования речного стока р. Урал. Наиболее значительный и повсеместный рост температур происходит в безморозные сезоны года, составляя в среднем $0,4\text{--}0,5^\circ\text{C}/10$ лет. Нарастание температур в весенний период несколько существеннее для центральной зоны (Оренбург, Беляевка, Акбулак) и некоторых южных районов. Наоборот, более значимое повышение многолетних температур летом и осенью характерно для западных лесостепных и степных районов (Бузулук, Сорочинск, Уральск, Стерлитамак).

Абсолютные максимумы роста среднемесячных температур отмечаются в марте и в августе, достигая $0,80$ и $0,86^\circ\text{C}/10$ лет (соответственно) при средних значениях за месяц в $0,63$ и $0,72^\circ\text{C}/10$ лет. Зимой тенденции нарастания температур не столь однозначны, в среднем скорость составляет $0,18^\circ\text{C}/10$ лет. Наименьший рост температур отмечается в юго-восточных районах (Беляевка, Актобе, Айдырля), а по метеостанции Кувандык наблюдается единственное снижение зимних температур – $-0,06^\circ\text{C}/10$ лет за декабрь–февраль, с максимумом снижения в феврале – $-0,25^\circ\text{C}/10$ лет.

Кроме оценки изменений климатических средних, существенный интерес для выявления региональных тенденций представляет исследование непосредственно измеренных экстремальных значений метеорологических величин [11]. Так, абсолютные минимумы по данным метеостанции Оренбург изменяются от $-43,2$ до $-23,1^\circ\text{C}$.

Анализ повторяемости абсолютных минимумов показал, что интервал максимально низких температур преимущественно изменяется от -30 до -38°C и в редких случаях они опускаются ниже -40°C .

Обращает внимание наблюдаемая тенденция увеличения повторяемости абсолютных максимумов в интервале $23\text{--}24^\circ\text{C}$. Прежде всего, данная тенденция характерна для периода 1976–2006 гг., который характеризуется переходом к современному режиму потепления климата. Абсолютные максимумы температуры воздуха изменяются в диапазоне от 34 до 40°C . В последний 30-летний период повторяемость экстремально высоких температур (выше 38°C) возросла с 10 до 20% , а частота повторяемости абсолютных максимумов в диапазоне $36\text{--}37^\circ\text{C}$, наоборот, снизилась по отношению к базовому периоду.

Еще одним доказательством трансформации региональной климатической системы, непосредственно влияющей на условия формирования речного стока, служит увеличение суммы положительных температур воздуха за зимний период (рис. 4). Данный показатель важен для накопления снежных и водных ресурсов и прохождения весеннего половодья, так и формирования запасов подземных вод, питающих реку в межень [9].

Согласно полученным данным, значительное увеличение суммы положительных температур отмечается с середины 1990-х гг. – экстремальными по продолжительности оттепели были в 2000, 2002 и 2008 гг.

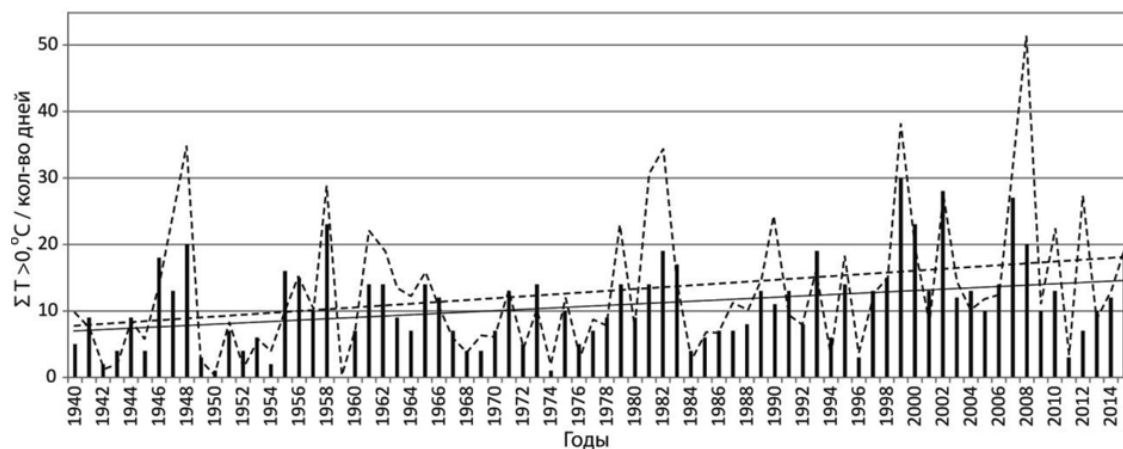


Рис. 4. Совмещенный график сумм зимних положительных среднесуточных температур и диаграмма продолжительности дней с положительными температурами (г. Оренбург)

В целом для территории России отмечается более заметное потепление в зимний и весенний периоды, в остальные сезоны года рост температуры менее выражен [12]. Одним из следствий изменения температурного режима является увеличение водности рек в период зимней межени, преимущественно в пределах Европейской части России, в том числе для бассейна р. Урал [13].

Динамика осадков. Нарастание температур не ведет к однозначному снижению увлажненности территории в связи с тем, что количество выпадающих атмосферных осадков определяется в большей степени характером циклональной деятельности. Естественно, что количество осадков – более «случайный» климатический параметр, чем ход температуры, тем не менее в многолетнем разрезе можно проследить основные тенденции в динамике влагообеспеченности рассматриваемого региона.

Ниже приведены сведения о динамике атмосферных осадков в аспекте сезонов года и в аспекте положения рассматриваемых 13 метеостанций (рис. 5). Сезонное распределение динамики осадков отчасти имеет сходную с температурой общность – осадки по станциям в безморозный период значительно более однотипны, чем зимой. Но вместе с тем повсеместный рост наблюдается лишь весной, а летом и осенью – практически постоянное снижение осадков. Рост зимних осадков отмечается лишь в лесостепной части Южного Приуралья, на

остальной территории наблюдается снижение количества выпадаемых осадков, либо их неясная динамика.

Обобщая полученные данные, можно констатировать общее снижение количества атмосферных осадков за год по всему бассейну р. Урал и прилегающим территориям. Увеличение осадков в зимне-весенний период должно было бы привести к увеличению стока в период весеннего половодья, но, как показывают предшествующие исследования [13], этого не происходит. Следует учитывать, что большая часть осадков в регионе выпадает преимущественно в теплое время года, но, как известно, сток рек казахстанского типа формируют осадки холодного периода.

Осадки теплого периода, хотя и не имеют столь значимую роль (как зимние) в питании степных рек, существенное сокращение их количества не может не отразиться на водности рек. Наиболее заметно это для районов Южного Урала (Зилаир, Кувандык, Беляевка) и Зауралья (Домбаровка), являющихся зоной активного формирования стока р. Урал.

От общерегиональной динамики климата существенно отличаются данные по метеостанциям Илек (практически абсолютным постоянством по осадкам по всем сезонам) и Кувандык (минимальный рост по температурным значениям), что, по-видимому, связано с особенностями их географического расположения.

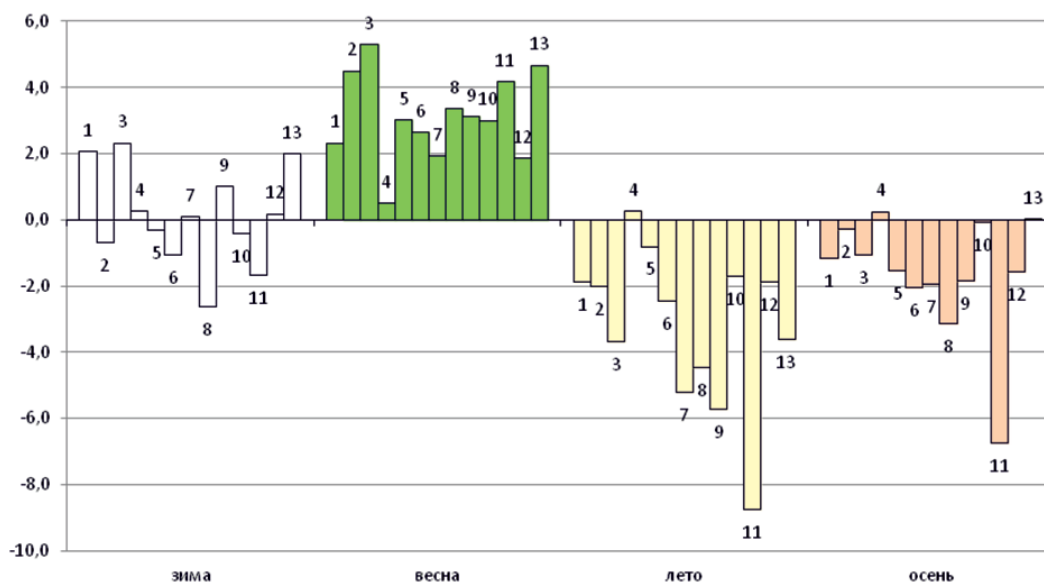


Рис. 5. Сезонное распределение коэффициентов линейного тренда динамики осадков за 1977–2015 гг. (мм/10 лет). В подписях – номера метеостанций, согласно рис. 1

Заключение

Полученные данные по динамике температуры воздуха и количества осадков свидетельствуют о том, что регион испытывает тенденции изменения климата, в целом присущие всей европейской части России. Наиболее отчетливо наблюдается повышение среднемесячных показателей температуры, характерное для безморозных сезонов года. В совокупности со снижением количества атмосферных осадков эта тенденция создает риски для традиционного водо- и землепользования.

В то же время зимний период – наиболее неоднородный и разнонаправленный сезон года в многолетней динамике климатических показателей. По температурным параметрам зимой в Предуралье наблюдается проявление нарастания континентальности, выражающееся в снижении значений линейного тренда по направлению на восток, до предгорий Южного Урала. При этом метеостанции, расположенные в южной степной части Предуралья, показывают минимальный рост температур, тогда как находящаяся в лесостепной части (Стерлитамак) – максимальный рост, как в зимний, так и в безморозные сезоны.

Линейные тренды показывают лишь общую (долговременную) направленность климатической динамики, но не отражают такие важные показатели природных процессов, как цикличность и изменчивость, являющиеся актуальной проблемой для природопользования в засушливых регионах.

Работа выполнена в рамках госзадания ИС УрО РАН № АААА-А17-117012610022-5 и № АААА-А18-118011690034-6.

Список литературы / References

1. Закономерности гидрологических процессов / Под ред. Н.А. Алексеевского. М.: ГЕОС, 2012. 736 с.
The laws of hydrological processes. / Ed. Alekseevsky. M.: GEOS, 2012. 736 p. (in Russian).
2. Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты. М.: МГУ, 1990. 304 с.
Evstigneev V.M. River runoff and hydrological calculations. M.: MGU, 1990. 304 p. (in Russian).
3. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С. Влияние изменения годовых значений температуры воздуха и осадков на сток рек Русской равнины // Известия РАН. Серия Географическая. 2007. № 5. С. 64–70.
Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Zaitseva I.S. The effect of changes in the annual values of air temperature and precipitation on the river flow of the Russian Plain // Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya. 2007. № 5. P. 64–70 (in Russian).
4. Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Особенности реакции рек Русской равнины на изменение температуры воздуха // Известия РАН. Серия Географическая. 2012. № 6. С. 55–62.
Dolgov S.V., Koronkevich N.I. Peculiarities of the Russian Plain Rivers Response to the air Temperature Change // Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya. 2012. № 6. P. 55–62 (in Russian).
5. Долгов С.В. Климатические изменения годового речного стока и его составляющих в Европейской части России // Известия РАН. Серия Географическая. 2011. № 6. С. 78–86.
Dolgov S.V. Climate Changes of the Annual Rivers' Runoff and its Components in the European Part of Russia // Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya. 2011. № 6. P. 78–86. (in Russian).
6. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. IPCC Working Group Bern, Switzerland, 29 January 2016. [Electronic resource]. URL: <http://climate2013.org> (date of access: 5.09.2019).
7. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата на территории РФ, 2014. [Электронный ресурс]. URL: <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/publikatsii/2016-03-21-16-23-52> (дата обращения: 5.09.2019).
8. Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Телегина Е.А. Внутригодовое распределение стока рек с оценкой роли зимней межени // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 6. С. 603–611. DOI: 10.7868/S0321059617060049.
Dzhamalov R.G., Safronova T.I., Telegina E.A. Annual distribution of river runoff with estimated contribution of winter low-water season // Water Resources. 2017. V. 44. № 6. P. 785–792. DOI: 10.1134/S0097807817060045.
9. Магрицкий Д.В., Кенжебаева А.Ж. Закономерности, характеристики и причины изменчивости годового и сезонного стока воды рек в бассейне р. Урал // Наука. Техника. Технология (Политехнический вестник). 2017. № 3. С. 39–61.
Magritsky D.V., Kenzhebaeva A.Zh. Regularities, characteristics and causes of the rivers in the Ural river catchment annual and seasonal water flow variability // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). 2017. № 3. P. 39–61.
10. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год. М.: Росгидромет, 2017. 70 с. [Электронный ресурс]. URL: http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/Доклад2016.pdf (дата обращения: 5.09.2019).
11. Кочугова Е.А., Кошкин Д.А. Тенденции изменения годовых экстремумов приземной температуры воздуха на территории Иркутской области // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С. 63–69.
Kochugova E.A., Koshkin D.A. Trends in annual extremes of surface air temperature in the Irkutsk region // Geography and Natural Resources. 2010. № 2. P. 63–69 (in Russian).
12. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Современные и перспективные изменения стока рек России под влиянием климатических факторов // Водные ресурсы суши в условиях изменяющегося климата. СПб: Наука, 2007. С. 20–32.
Shiklomanov I.A., Georgievsky V.Yu. Modern and perspective changes in the flow of Russian rivers under the influence of climatic factors // Vodnyye resursy sushi v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata. SPb: Nauka, 2007. P. 20–32 (in Russian).
13. Сивохип Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибилёв А.А., Падалко Ю.А. Проблемы устойчивого водопользования в трансграничном бассейне р. Урал // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 4. С. 504–516. DOI: 10.7868/S0321059617040162.
Sivokhip Zh.T., Pavleichik V.M., Chibilev A.A., Padalko Yu.A. Problems of sustainable water use in the transboundary basin of the Ural River // Water Resources. 2017. V. 44. № 4. P. 504–516 (in Russian).

УДК 504.75:582.29 (571.63)

ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ГОРОДА УССУРИЙСКА С ПОМОЩЬЮ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)**¹Родникова И.М., ²Недоросткова И.Г., ¹Киселёва А.Г.**¹ФГБУН «Тихоокеанский институт географии» Дальневосточного отделения
Российской академии наук, Владивосток, e-mail: rodnikova_ilona@mail.ru;²Филиал Дальневосточного федерального университета, Школа педагогики Уссурийск

В работе проводится оценка качества воздушной среды в г. Уссурийске по видовому составу, особенностям распространения и состоянию эпифитных лишайников. На территории города было заложено 34 лишеноиндикационных участка. Видовой состав эпифитных лишайников насчитывает 23 вида, что является достаточно низким показателем. Наиболее чувствительные к загрязнению кустистые виды отсутствуют. На территории города чаще встречаются лишайники, устойчивые к высокому и среднему уровню загрязнения. В центральной, наиболее загрязненной части города наблюдается снижение разнообразия накипных видов. На основании состояния эпифитного лишайникового покрова все исследованные участки были разделены на четыре группы по уровням загрязнения. На участках первой группы (максимальное загрязнение) лишайники отсутствуют. Эти участки находятся в центральной части города. Большая часть участков относится ко второй группе – сильного загрязнения. Здесь отмечено низкое видовое разнообразие, проективное покрытие и жизненное состояние лишайников. Третья группа участков подвержена среднему уровню загрязнения и находится на территории парковых зон и ближе к окраинам города. На этих участках видовое разнообразие и проективное покрытие немного выше. Четвертая группа участков испытывает низкую степень загрязнения и характеризуется наилучшим состоянием эпифитных лишайников. В этой группе преобладают виды, устойчивые к низкому и среднему уровням загрязнения, отмечается более высокое видовое разнообразие и проективное покрытие. Угнетенные лишайники встречаются реже, чем на предыдущих участках. Участки четвертой группы расположены на восточной окраине города. В пределах города зоны загрязнения представляют собой локальные участки, переходящие из одной зоны в другую. Это обусловлено наличием множества источников загрязнения, рельефом, особенностями ветрового режима. Лишеноиндикационные данные на территории г. Уссурийска свидетельствуют о наличии значительного воздушного загрязнения даже на удаленных от центральной части города участках.

Ключевые слова: биоиндикация, лишайники, загрязнение воздуха, Уссурийск, Приморский край**INDICATION OF AIR QUALITY IN THE CITY OF USSURIYSK USING EPYPHITIC LICHENS****¹Rodnikova I.M., ²Nedorostkova I.G., ¹Kiseleva A.G.**¹Pacific geographical institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, e-mail: rodnikova_ilona@mail.ru;²Branch of the Far Eastern Federal University, School of Education, Ussuriysk

Air quality in the city of Ussuriysk according to species composition of epiphytic lichens, their distribution patterns and vitality is considered in the paper. Thirty-four plots were set in the city. A total of 23 epiphytic lichens were found in the study area, which is quite low. Fruticose lichen species, which are the most sensitive to air pollution, are absent. High tolerant lichen species are common in the city. The diversity of crustose lichens decreases in the central, most polluted part of the city. Based on the epiphytic lichen conditions, all the studied plots were divided into four groups according to the level of pollution. There are no lichens on the plots of the first group (maximal pollution) located in the central part of the city. Most of the plots belong to the second group – high polluted area. These plots are characterized by low species diversity, projective cover, and vitality of lichens. The third group of plots (medium pollution level) is located in the park areas and closer to the outskirts of the city. The species diversity and projective cover are slightly higher. The fourth group of the plots undergoes low level of pollution. It is characterized by the best conditions of epiphytic lichens, high species diversity and projective cover. Species resistant to low and medium pollution levels prevail. Injured lichen thalli are less common. The plots of the fourth group are located on the eastern outskirts of the city. Within the city, pollution zones are local areas. They fluctuate from one zone to another. This is due to the presence of multiple sources of pollution, relief, wind regime features. The lichenindication data in Ussuriysk indicates the presence of significant air pollution, even at remote parts of the city.

Keywords: bioindication, lichens, air pollution, Ussuriysk, Primorsky krai

Уссурийск – второй по величине город Приморского края, с населением 173 тыс. чел., расположен в 112 км севернее Владивостока в котловине между сопками на реках Раковка и Комаровка. Город является центром пищевой, перерабатывающей, легкой, металлообрабатывающей, дерево-

обрабатывающей и строительной промышленности. На его территории насчитывается более 250 котельных, значительное количество автономных источников отопления, в том числе и дымовые трубы частного сектора, работающие в 90% случаев на твердом топливе низкого качества или мазуте.

В основном источники выбросов не имеют пылегазоочистных сооружений, либо они технически устаревшие, высоты труб также невелики (30 м и менее). Более двадцати предприятий города размещены в жилой застройке. По количеству выбросов загрязняющих веществ автотранспортом г. Уссурийск занимает второе место после г. Владивостока. Основные загрязняющие вещества от этого источника – диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода, аммиак, метан [1]. В 1960–1970-х гг. г. Уссурийск был признан одним из самых зеленых городов страны. Растительность города выполняет как эстетическую роль, так и функциональную – поглощает углекислый газ, химикаты и токсины, улавливает пыль, что способствует очищению атмосферы. Городское озеленение началось с середины 1950-х гг. в связи с высокими темпами роста города и имело хаотичный характер без генеральной схемы озеленения. Основу рекреационного потенциала зелёной зоны составляют леса Уссурийского городского округа; 87% занимают естественные насаждения дуба монгольского и 13% – искусственные (сосна корейская 7%, сосна обыкновенная 2%, орех маньчжурский 1,2%, ясень маньчжурский 2%, бархат амурский 0,3%, тополь Максимовича 0,5%) [2, 3].

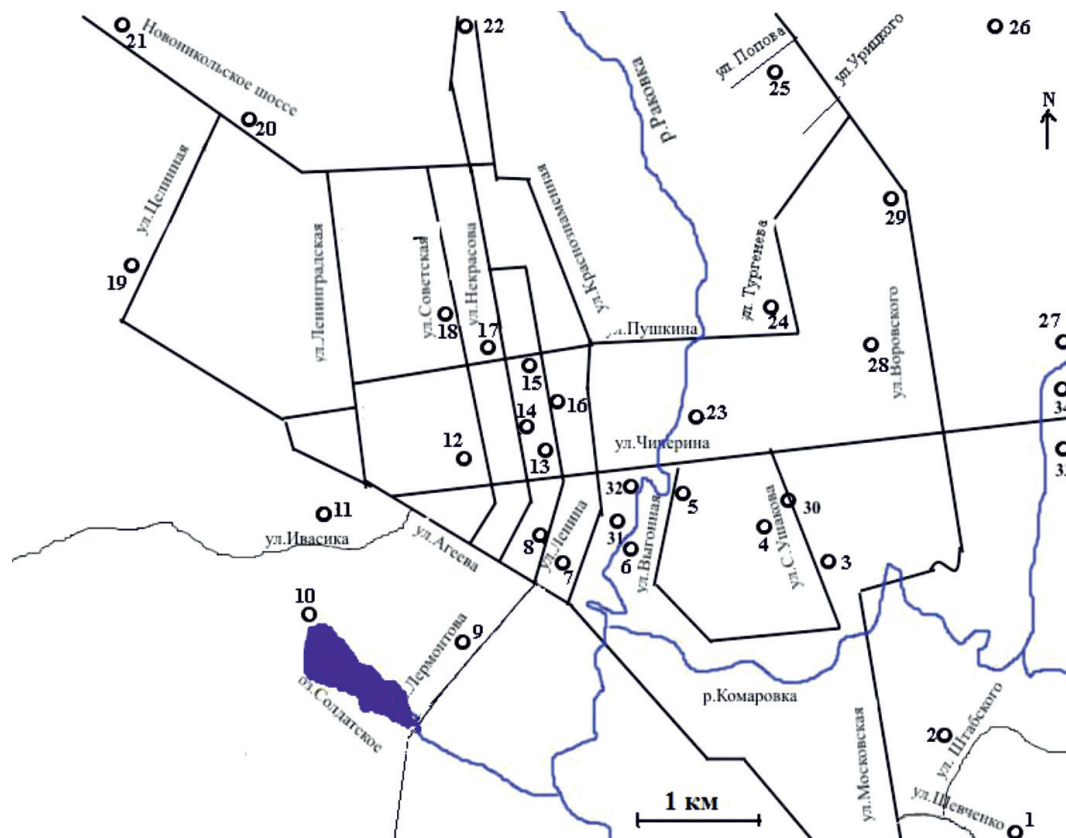
Сейчас Уссурийск является одним из наиболее загрязнённых городов в Приморском крае. По данным Примгидромета в течение десяти лет в городе отмечается высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха [4, 5]. Более всего воздух загрязнён бенз(а)пиреном, окислами азота и взвешенными веществами. Так, среднегодовые концентрации бенз(а)пирена в 2018 г. превысили допустимую норму в г. Уссурийске в 2,8 раза, диоксида азота в 2,3 раза, а среднее содержание пыли составило 1 ПДК. Следует отметить тенденцию к снижению показателей загрязняющих веществ, превышающих ПДК. Закрытие четырех мазутных котельных в центре города, замена на котельные пылегазоочистного оборудования, ввод в эксплуатацию объездной дороги вокруг Уссурийска заметно снизили показатели загрязнения атмосферного воздуха [6].

Однако низменное расположение города, окруженного сопками, невысокая скорость ветров, преобладание однонаправленности ветра в течение сезона, штили и туманы, высокая повторяемость приземных инверсий, а также застроенность его территории способствуют созданию неблагоприятной экологической ситуации.

В то же время контроль состояния воздушной среды проводится всего на двух станциях мониторинга, что не позволяет в полной мере оценить качество воздуха на территории города. Одним из методов оценки качества воздушной среды является использование биологических индикаторов. Благодаря высокой чувствительности к изменениям среды лишайники широко применяются в качестве биоиндикаторов [7]. В условиях городской среды видовое разнообразие и распределение лишайников в первую очередь определяется загрязнением воздуха, кроме этого влияет локальное изменение микроклиматических условий (повышение температуры и снижение влажности), а также наличие источников, откуда могут расселяться лишайники [8, 9]. Цель нашей работы – выявить видовой состав, особенности распространения и состояние эпифитных лишайников на территории г. Уссурийска для индикации качества воздушной среды в городе. В предыдущие годы лишайноиндикационные исследования в Приморском крае были проведены в таких городах, как Владивосток, Находка, Дальнегорск, однако в городе Уссурийске подобные работы не проводились [7].

Материалы и методы исследования

Сбор материала осуществлялся в 2018 г. маршрутным методом с учетом физико-географических условий, архитектурной застройки и расположения источников загрязнения. Всего в городе заложено 34 пробных участка размером 20×20 м (рисунок). На каждом пробном участке проводилось описание растительности и эпифитного лишайникового покрова. Параметры лишайникового покрова фиксировались на пяти деревьях доминирующего вида одинакового диаметра, на высоте ствола 1,3 м по стандартной методике [7]. На каждом дереве учитывался видовой состав лишайников, проективное покрытие и жизненное состояние по 5-балльной шкале [7]: 1 балл – слоевище полностью разрушено; 2 балла – слоевище сильно повреждено (более 50%); 3 балла – разрушено менее 50% слоевища; 4 балла – лишайник угнетён – слоевище деформировано; 5 баллов – слоевище здоровое. При дальнейшем анализе использовалась классификация лишайников по отношению к загрязнению воздуха, включающая 4 группы: I – устойчивые к высокому уровню загрязнения, II – устойчивые к среднему загрязнению, III – к низкому, IV – неустойчивые к загрязнению воздуха [7].



Расположение лишеноиндикационных участков на территории г. Уссурийска

Для каждого вида был рассчитан коэффициент встречаемости: $R = a \times 100 / N$, где R – коэффициент встречаемости, a – число пробных участков, где данный вид встречается, N – общее число пробных участков. Названия видов лишайников приводятся в соответствии с [10], сосудистых растений – по электронному ресурсу [11].

В озеленении города Уссурийска участвуют 34 древесных вида как хвойных, так и лиственных пород. В связи с тем, что флориты по территории города распределены неравномерно, сбор лишайников проводился на лиственных деревьях: берёзе плосколистной, (*Betula platyphylla* Sukaczew), ильме долинном (*Ulmus japonica* (Rehder) Sarg.), ясене маньчжурском (*Fraxinus mandshurica* Rupr.), груше уссурийской (*Pyrus ussuriensis* Maxim. ex Rupr.), иве Шверина (*Salix schwerinii* E.L. Wolf). В пригородной зоне распространены дубняки леспедцево-разнотравные с лианами. Лишайниковые сообщества были описаны на дубе монгольском (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.).

Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследования на территории г. Уссурийска выявлено 23 вида эпифитных лишайников. Жизненные формы представлены только листоватыми (16 видов) и накипными (7 видов). Низкое видовое разнообразие и полное отсутствие кустистых лишайников, чувствительных к загрязнению среды, свидетельствует о сильном антропогенном воздействии. Так, например, для города Находка и его окрестностей было выявлено 75 видов лишайников, из которых 6 являются кустистыми [12]. По отношению к загрязнению воздуха все найденные виды относятся к трем группам [7]: 3 вида – к первой группе устойчивых к высокому уровню загрязнения воздуха (I группа), 13 видов – ко второй группе видов, устойчивых к среднему загрязнению (II группа) и 7 видов, устойчивых к низкому загрязнению (III группа) (таблица). Лишайники, относящиеся к четвертой группе, неустойчивые к загрязнению, на исследуемой территории отсутствуют.

Общая характеристика исследованных участков на территории г. Уссурийска

Номера участков	Кол-во видов	Среднее проективное покрытие, %	Жизненное состояние, баллы	I группа*	II группа*	III группа*
1	8	53	4	1	6	1
2	5	37	3	2	2	1
3	3	25	3	2	1	0
4	6	9,5	3	2	2	2
5	3	12	3	2	1	0
6	6	8	3	2	3	1
7	3	5,5	3	1	2	0
8	3	2	3	1	0	2
9	2	3	3	0	1	1
10	2	3	3	1	1	0
11	4	12,5	3	1	3	0
12	4	4,25	3	1	2	1
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	3	2,5	3	1	2	0
16	2	3	3	1	1	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	5	17,5	3	1	3	1
20	3	30	3	1	2	0
21	3	11	3	0	3	0
22	3	5	3	0	3	0
23	4	5,6	3	2	1	1
24	2	2,5	3	1	1	0
25	1	2	3	1	0	0
26	9	50	4	0	6	3
27	8	45	4	0	8	0
28	3	1,5	3	2	1	0
29	2	2	3	2	0	0
30	2	4	3	0	2	0
31	4	3	3	2	2	0
32	2	5	3	1	1	0
33	12	40	3	2	7	3
34	9	50	3	1	6	2

Примечание. *Приводится количество видов, относящихся к соответствующей группе по отношению к загрязнению (см. текст).

Наиболее распространенными видами являются *Candelaria concolor* (Dicks.) Arnold и *Phaeophyscia hirtuosa* (Kremp.) Essl. ($R > 50$). Эти виды отмечены на всех исследованных форофитах. *Ph. hirtuosa* является лишайником, устойчивым к высокому уровню загрязнения, а *C. concolor* – нитрофильный лишайник, развивающийся при повышенном содержании соединений азота в воздухе [7]. Вторую по частоте встречаемости группу образуют *Oxneria fallax* (Arnold) S.Y. Kondr. & Kärnefelt, *Physciella melanchra* (Hue) Essl., *Flavopuncte-*

lia soledica (Nyl.) Hale, *Physciella chloantha* (Ach.) Essl., *Rinodina olivaceobrunnea* C.W. Dodge & G.E. Baker ($R = 20–50$). Из этой группы только *O. fallax* встречается на всех форофитах. Виды этой группы являются в основном устойчивыми к высокому и среднему уровням загрязнения. Остальные 16 видов встречаются достаточно редко ($R < 20$). *Parmotrema reticulatum* (Taylor) M. Choisy, включенный в Красные книги Российской Федерации и Приморского края, отмечен только на одном участке на окраине города (в районе жилого комплек-

са «Радужный»). Наибольшее число видов было отмечено на участках, расположенных на окраинах города.

На основании данных о видовом составе эпифитных лишайников, проективном покрытии, жизненном состоянии, чувствительности к загрязнению все участки были разделены на четыре группы.

Первая группа участков (13, 14, 17, 18) испытывает максимальное загрязнение. На данных участках лишайники отсутствуют. Участки находятся в центральной части города и в непосредственной близости к основным автомагистралям.

Вторая группа участков включает большую часть территории города (3, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 16, 20, 22, 23, 24, 25, 28, 29, 30, 31, 32). Эти участки испытывают сильное загрязнение. Здесь отмечено низкое видовое разнообразие (в среднем 2,6 вида) с небольшим проективным покрытием (6,3%), преобладание видов, устойчивых к высокому и среднему уровням загрязнения. Жизненное состояние 2–3 балла, преобладают лишайники с 3 баллами. Как правило, форофиты здесь произрастают в непосредственной близости от проезжей части дорог, в районе жилой многоквартирной застройки, новостроев, а также окруженные домами с автономным отоплением (участки 3, 7, 9, 10, 12, 16, 28, 29).

Третья группа участков (2, 4, 6, 11, 19, 21) находится в условиях меньшего антропогенного воздействия. Среднее видовое разнообразие на этих участках – 4,8 вида, среднее проективное покрытие – 16%. Здесь преобладают виды средней и низкой степени загрязнения. Жизненное состояние в среднем 3 балла. Эти участки расположены в удалении от основных жилых построек города и дорог с большим грузопотоком, представляя собой небольшие микрорайоны или парки.

Четвертая группа участков (1, 26, 27, 33, 34) испытывает наименьшее загрязнение. Для этих участков характерно максимальное видовое разнообразие (9,2 вида в среднем) и максимальное проективное покрытие (47,6%). На этих участках виды, устойчивые к высокому уровню загрязнения, отсутствуют или встречаются единично. Жизненное состояние лишайников наиболее часто соответствует 4 баллам, при этом встречаются угнетенные виды. Участки этой группы находятся на восточной окраине города, форофиты представлены естественной растительностью.

В целом отмечено, что в пределах города зоны загрязнения представляют собой

локальные участки, переходящие из одной зоны в другую. Это обусловлено наличием множества источников загрязнения, рельефом, особенностями ветрового режима. На изученных деревьях наблюдался эффект, отмеченный И.Ф. Скириной с соавторами [13], когда на деревьях, находящихся в непосредственной близости к автодороге лишайниковый покров характеризуется более высоким видовым разнообразием и лучшим жизненным состоянием, чем находящийся на удалении 150–200 м вглубь дворов. Это можно объяснить тем, что вблизи автодороги активные воздушные потоки способствуют рассеянию загрязняющих веществ, которые в свою очередь накапливаются и осаждаются, задерживаясь стенами строений в глубине дворов. В наиболее загрязненной части города отмечен обедненный видовой состав накипных видов. Такое же снижение участия накипных видов в составе лишайниковых сообществ было отмечено для г. Находка [12].

Заключение

Эпифитный лишайниковый покров г. Уссурийска отличается низким видовым разнообразием. В самом городе и ближайшем пригороде в лишайниковом покрове преобладают виды, устойчивые к высокому и среднему уровню загрязнения. Данные лишеноиндикации на территории города свидетельствуют о наличии сильного воздушного загрязнения, что проявляется в крайне обедненном видовом составе, низком проективном покрытии и сильном угнетении лишайников. Даже удаленные участки с естественной древесной растительностью характеризуются невысоким разнообразием лишайников.

Список литературы / References

1. Коломейцева О.Л. Загрязнение атмосферы городов Приморского края Уссурийска и Спасска-Дальнего и его влияние на заболеваемость населения: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2013. 18 с.
Kolomejceva O.L. Air pollution of the cities of Primorsky krai Ussuriisk and Spassk-Dal'niy and its influence on illness rate: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Petrozavodsk, 2013. 18 p. (in Russian).
2. Розломий Н.Г., Острошенко В.В., Краткая характеристика зелёной зоны г. Уссурийска // Вестник Красноярского ГАУ. 2009. № 9. С. 83–86.
Rozlomy N.G., Ostroshenko V.V. Short characteristics of the Ussuriisk public green area // Vestnik KrasGAU. 2009. № 9. P. 83–86 (in Russian).
3. Сидоренко А.Н. Оценка жизненного состояния древесных растений города Уссурийска // Вестник КрасГАУ. 2017. № 7. С. 166–174.
Sidorenko A.N. The assessment of vital condition of woody plants of the city of Ussuriisk // Vestnik KrasGAU, 2017. P. 166–174 (in Russian).

4. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2017 году. Администрация Приморского края. Владивосток, 2018. 233 с.
- Report on the environmental situation in Primorsky Krai in 2017. Administraciya Primorskogo kraya. Vladivostok, 2018. 233 p. (in Russian).
5. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2018 году. Администрация Приморского края. Владивосток, 2019. 252 с.
- Report on the environmental situation in Primorsky Krai in 2018. Administraciya Primorskogo kraya. Vladivostok, 2019. 252 p. (in Russian).
6. Котляр Е.В. Загрязнение атмосферного воздуха Уссурийска по данным социально-гигиенического мониторинга // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2016. № 3 (66). С. 197–201. DOI: 10.18411/hmes.d-2016-141.
- Kotlyar E.V. Air pollution Ussuriisk of Primorsky Region of according public health monitoring // Health. Medical ecology. Science. 2016. № 3 (66). P. 197–201 (in Russian).
7. Скирина И.Ф., Коженкова С.И., Родникова И.М. Эпифитные лишайники Приморского края и использование их в экологическом мониторинге. Владивосток: Дальнаука, 2010. 134 с.
- Skirina I.F., Kozhenkova S.I., Rodnikova I.M. Epiphytic lichens of Primorsky kray and their application in environmental monitoring. Vladivostok: Dalnauka, 2010. 134 p. (in Russian).
8. Coffey H.M.P., Fahrid L. Relative effects of vehicle pollution, moisture and colonization sources on urban lichens. Journal of applied ecology. 2012. Vol. 49. P. 1467–1474. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2012.02208.x.
9. Munzi S., Correia O., Silva P., Lopes N., Freitas C., Brinquinho C., Pinho P. Lichens as ecological indicators in urban areas: beyond the effect of pollutants. Journal of applied ecology. 2014. Vol. 51. P. 1750–1757. DOI: 10.1111/1365-2664.12304.
10. CABI Bioscience Databases. [Electronic resource]. URL: <http://www.indexfungorum.org> (date of access: 02.08.2019).
11. The Plant List a working list of all plants species. [Electronic resource]. URL: <http://www.theplantlist.org> (date of access: 02.08.2019).
12. Скирина И.Ф., Коженкова С.И. Лихеноиндикация загрязнения приземного воздуха города Находка (Приморский край) // Ботанический журнал. 2005. Т. 90. № 8. С. 1184–1196.
- Skirina I.F., Kozhenkova S.I. Lichenindication of the air pollution in the city of Nakhodka (Primorskii krai) // Botanicheskii zhurnal. 2005. № 8. P. 1184–1196 (in Russian).
13. Скирина И.Ф., Родникова И.М., Скирин Ф.В., Царенко Н.А. Использование методов лихеноиндикации в приморских геосистемах юга Дальнего Востока России // Геосистемы Северо-Восточной Азии: особенности их пространственно-временных структур, районирование территории и акватории. Сборник научных статей. Владивосток: ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, 2019. С. 328–332.
- Skirina I.F., Rodnikova I.M., Skirin F.V., Tsarenko N.A. Lichenindication application in coastal geosystems of South of the Russian Far East // Geosystems of North-East Asia: the Peculiarities of their Spatialtemporal Structures, Zoning of Land and Waters. Collection of scientific articles. Vladivostok: FGBUN Tihookeanskij institut geografii DVO RAN, 2019. P. 328–332 (in Russian).

УДК 551.5:58.02

ХАРАКТЕР ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПАЛОВ И РОЛЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В СОХРАНЕНИИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Рябцов С.Н.

*ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный педагогический университет», Оренбург,
e-mail: Ryabtsovs@mail.ru*

Статья посвящена исследованию факторов, которые влияют на восстановление растительного покрова после пожаров. Приводятся данные, полученные при измерении влияния пирогенной нагрузки на растительность. Предпринят анализ ключевых факторов и зависимость результатов пожара от сопутствующих факторов. Обозначены виды растительности, являющиеся наиболее чувствительными к действию огня. В результате исследований постпирогенного восстановления растительного покрова мы выявили группы факторов, которые являются значимыми для возобновления растительности территории исследования. Приведены результаты исследования влияния пирогенного фактора на лесные экосистемы. Изучено влияние климатических условий региона на частоту возникновения лесных палов в Соль-Илецком районе Оренбургской области. Нами определены причины и периодичность возникновения палов в Соль-Илецком лесничестве. Проведя статистический анализ, мы определили характер возникновения пожаров. По нашему мнению, именно лесные палы способны привести к изменению биоценоза, изменяют их структуру. В то же время большую роль имеет и территориальное возникновения пала, климатические условия региона, почвы, видовой состав древостоя. На территории где проходили наши исследования, отмечен подавляющий рост одних видов и угасание других. При низовом пожаре отмечено доминирование клена ясенелистного. Так же отмечен интенсивный рост травянистой растительности с обильным видовым составом, по сравнению с контрольным, на второй год после пожара. Восстановление после пожаров при таких условиях происходит намного быстрее, чем в степной зоне. Поэтому сохранение лесного фонда в степи является очень актуальной проблемой.

Ключевые слова: пирогенный фактор, климатические условия, лесные экосистемы, естественное восстановление, характер пожара

THE NATURE OF THE OCCURRENCE OF FOREST BURNING AND THE ROLE OF CLIMATE CONDITIONS IN THE PRESERVATION OF FOREST ECOSYSTEMS

Ryabtsov S.N.

Orenburg State Pedagogical University, Orenburg, e-mail: Ryabtsovs@mail.ru

The article is devoted to the study of factors that affect the restoration of vegetation after fires. The data obtained by measuring the effect of pyrogenic load on vegetation are presented. The analysis of the key factors and the dependence of the results of the fire on the accompanying factors. The types of vegetation are the most sensitive to the action of fire. The result of studies on the impact of fires on vegetation is to identify a group of factors that have a leading role in the restoration of vegetation after fires. The results of the study of the influence of the pyrogenic factor on forest ecosystems are presented. The influence of climatic conditions of the region on the frequency of forest fires in the Sol-Iletsky district of the Orenburg region is studied. The regularities of occurrence of fires in the forests of Sol-Iletsk forestry. The nature of fires in the forests of the Sol-Iletsk region is determined. Forest fires cause changes in biocenoses, transform their structure. Fires are distinguished by their characteristic effects on the ecological communities in different regions. Each region has its own climatic conditions, soils, amount of moisture, quality and composition of the forest stand. In the forests of the Sol-Iletsk region fires change forest biogeocenosis, suppress the growth of some species and intensify the development of other species. On the site passed the grassroots fire in adolescence is dominated by maple ash. Also, the death of trees of the first and second tiers, significantly increase the illumination under the canopy of the forest, which creates favorable conditions for intensive growth of grassy vegetation in the area damaged by fire, compared with the control, in the second year after the fire. Recovery after fires, under such conditions is much faster than in the steppe zone. Therefore, the preservation of forest resources in the steppe is a very urgent problem.

Keywords: pyrogenic factor, climatic conditions, forest ecosystems, natural recovery, nature of fire

Самой большой экосистемой на планете являются леса, которые занимают около 38 млн км², которые занимают третью часть от площади суши. Климатические процессы, погода, взаимодействие компонентов окружающей среды во многом зависят от лесов.

С каждым годом из-за промышленной заготовки древесины, расчистки лесов под сельхозпользование, строительства и добычи полезных ископаемых, гибели от промышленных выбросов, сведение лесов при

строительстве ГЭС, урбанизации и т.д. количество площадей занятых лесом сокращается, так же одним из факторов сокращения являются пожары. По статистике только за 2016 г. в России по причине пожара погибло 4,3 млн га леса.

Нами отмечено, что наиболее чувствительны к пожарам редкие представители фауны и флоры. После пожаров отмечается уменьшение урожайности сельскохозяйственных культур в связи с уничтожением

лесных полос, в степных районах происходит превращение древостоя в сухостой с последующей гибелью лесов.

Цель исследования: изучить влияние пожаров на лесные биоценозы, выявить причины их возникновения, определить влияние климатических условий на возникновение пожаров и постпирогенное восстановление лесов.

Материалы и методы исследования

В исследовании применялись общенаучные методы: анализ, сравнение. Для проведения анализа пирогенной нагрузки на растительный покров Соль-Илецкого лесничества мы провели статистический анализ климатических условий периода постпирогенного восстановления в вегетационный период. Определены периоды с высокими температурами (характерным засушливым летом) и периоды с благоприятными климатическими условиями (относительно высоким увлажнением и низкими температурами). Кроме летних температур и осадков, мы отметили и условия перезимовки растительности на горах. Как оказалось, важное значение имеет и величина снежного покрова, что непосредственно влияет на период весенней вегетации и промерзания семян и корневой системы в зимний период.

Оренбургская область относится к степной зоне, леса располагаются лишь на территории в 18,1 тыс. га, остальное это степи. За 2016 г. на территории Оренбургской области было зафиксировано 37 лесных пожаров, площадь уничтоженных пожаром лесов составила 58,3 га. За пять лет, в 2011–2016 гг. огнем было уничтожено 1253 га леса.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время проблемы истребления лесов практически не менялись, промышленная заготовка древесины для различных нужд, расчистка лесов для выделения сельскохозяйственных угодий, добычи полезных ископаемых, катастрофически уменьшает лесной фонд, так же одним из факторов, уничтожающих леса, является пожар. Согласно статистическим данным за 2016 г. в России из-за пирогенного воздействия уничтожено 4,3 млн га леса.

Лесные пожары обуславливают изменения в биоценозах, трансформируют их структуру. Пожары отличаются своей характеристикой воздействия на биоценозы в различных регионах. Каждый регион отли-

чается своими климатическими условиями, почвами, количеством влаги, качеством и составом древостоя и т.д. [1, с. 15–20].

Исследования многих ученых проводились на территории России в основном там, где леса занимают значительную площадь, и климатические условия (обилие осадков) снижают пожарную опасность. Восстановление после пожаров, при таких условиях происходит намного быстрее, чем в степной зоне. Поэтому сохранение лесного фонда в степи является очень актуальной проблемой [2, с. 9–16, 100–165].

Нами было изучено влияние климатических условий региона на частоту возникновения лесных палов в Соль-Илецком районе Оренбургской области. Выявили закономерность возникновения пожаров в лесах Соль-Илецкого лесничества. Определили характер влияния пожаров на леса Соль-Илецкого района.

Леса Соль-Илецкого лесничества характеризуются следующими доминантными видами древесной растительности: сосна обыкновенная, дуб, ясень, клен, вяз мелколистный, береза, осина, ольха черная, тополь, ива, тальник. Преобладающими породами являются Сосна обыкновенная, занимающая площадь в 1025 га (17,22%), тополь произрастающий на площади в 780 га (13,1%), вяз, занимающий 694 га (11,66%) и осина, площадь произрастания которой составляет 681 га (11,44%). На остальные же породы приходится 35,5% от всей площади занимаемой лесами. Кустарники в свою очередь произрастают на площади в 659 га, что составляет 11,07% от площади земель покрытых лесной растительностью.

На территории Соль-Илецкого лесничества в период с 2011 по 2016 г. было зафиксировано 13 пожаров (таблица).

Согласно данным, приведенным в таблице, основными причинами возникновения пожаров послужил антропогенный фактор, а именно неосторожное обращение с огнем, на его долю приходится 76% всех возгораний. На долю же естественных причин возникновения пожаров (грозовые разряды, самовозгорание) приходится около 7%. Это так же подтверждает исследование, проведенные ранее Н.П. Курбатским, Ю.А. Андреевым, С.Н. Рябцовым, Е.Г. Щегловой, которые также склоняются к тому, что по естественным причинам пожары возникают достаточно редко [1, 3].

Для оценки масштаба пожаров за период 2011–2016 гг. на территории Соль-Илецкого лесничества была взята шкала Курбатского,

в которой автор выделяет 6 классов пожаров: А – загорание; Б – малый; В – небольшой; Г – средний; Д – крупный; Е – катастрофический.

А – менее 0,2 га, Б – от 0,2 до 2 га, В – от 2 до 20 га, Г – от 20 до 200 га, Д – от 200 до 2000 га, Е – более 2000 га.

В 2011 г. пожар наблюдался только в августе, его класс Б (малый). В 2012 г. пожары наблюдались в июле и августе, класс пожара был Б (малый). В 2013 г. пожар наблюдался только в июле, его класс пожара Б (малый). В 2014 г. было зафиксировано 5 пожаров, один из которых в июле – класс пожара Б (малый); два в августе с классами пожара Б (малый) и В (небольшой); два в сентябре с классами пожара Б (малый) и А (загорание). В 2015 г. пожар наблюдался только в августе, его класс пожара Б (малый). В 2016 г. пожары были зафиксированы: в июле с классом пожара Б (малый) и августе с классом пожара В (небольшой) [4].

Таким образом за период 2011–2016 гг. пожары в Соль-Илецком лесничестве преимущественно имели класс пожара Б – малый (рис. 1). Это говорит о том, что возгорания в большинстве случаев были от 0,2 га до 2 га.

К одной из основных причин стихийного возгорания относится наличие лесных горючих материалов (ЛГМ). Они представляют собой растительные (древесные и травянистые) остатки, способные воспламеняться от любых источников высоких температур.

Лесные горючие материалы относятся к группам:

- легковоспламеняемые и быстрогоримые (сухие сучья, мелкие ветки, сухая трава);
- медленно воспламеняемые и медленно горимые (нижние слои лесной подстилки, кустарники, деревья, молодой древесный подрост, пни) [5].

Основной причиной, характером пожара и его последствий является степень влажности территории возгорания различных периодов. Для каждого вида лесных горючих материалов принято выделять три порога влажности:

- 1) минимальный порог влажности (конец засушливого периода);
- 2) максимальный порог влажности (полная влагоемкость горючих материалов);
- 3) критический порог влажности (максимальная влажность, при которой возможно горение того или иного горючего материала).

Пожары на территории Соль-Илецкого лесничества

Дата	Причины	Вид	Площадь га
14.08.2011	Неосторожное обращение с огнем	Низовой устойчивый сильной интенсивности	0,6
15.07.2012	Повреждение дерева грозовым разрядом	Низовой устойчивый слабой интенсивности	1,6
02.08.2012	Неосторожное обращение с огнем	Низовой устойчивый средней интенсивности	0,7
03.08.2012	Неосторожное обращение с огнем	Низовой устойчивый слабой интенсивности	0,5
23.07.2013	Неосторожное обращение с огнем	Низовой устойчивый слабой интенсивности	0,4
13.07.2014	Неосторожное обращение с огнем	Низовой устойчивый средней интенсивности	0,3
19.07.2014	Неосторожное обращение с огнем	Низовой устойчивый сильной интенсивности	6
28.08.2014	Неосторожное обращение с огнем	Низовой устойчивый средней интенсивности	0,2
02.09.2014	Неосторожное обращение с огнем	Низовой устойчивый слабой интенсивности	1,1
03.09.2014	Неосторожное обращение с огнем	Низовой устойчивый сильной интенсивности	0,1
08.08.2015	Неосторожное обращение с огнем	Низовой устойчивый сильной интенсивности	1,5
27.07.2016	Неосторожное обращение с огнем	Низовой устойчивый слабой интенсивности	0,9
05.08.2016	Неосторожное обращение с огнем	Низовой устойчивый сильной интенсивности	8

Распределение пожаров по шкале Курбатского

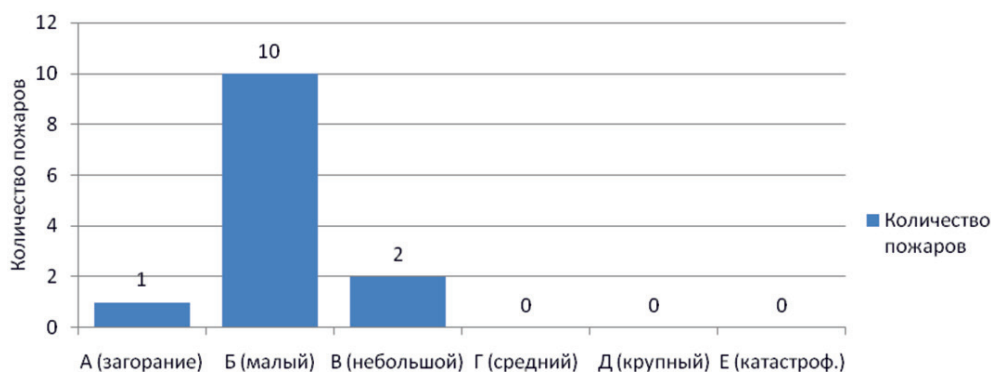


Рис. 1. Распределение пожаров по шкале Курбатского

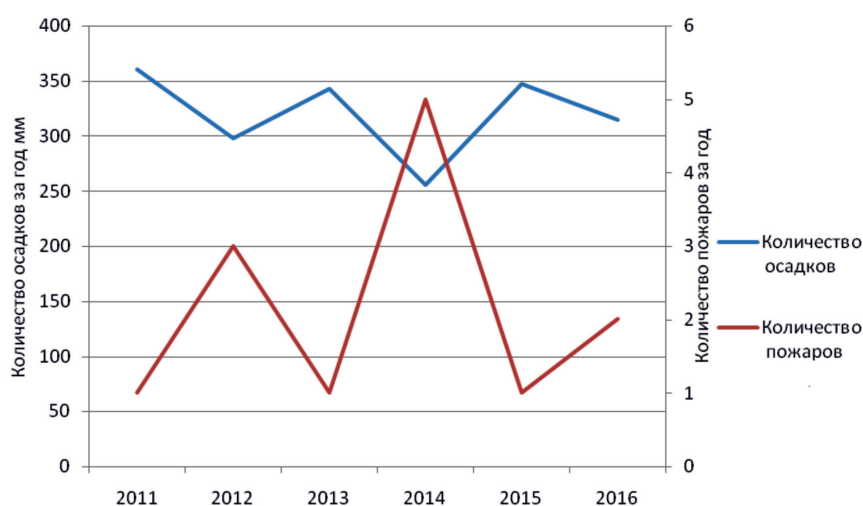


Рис. 2. Зависимость количества пожаров от количества осадков

На территории Соль-Илецкого лесничества минимальный порог влажности приходится на конец августа – начало сентября. В этот период отмечается снижение количества пожаров. Максимальный же порог влажности начинается с конца сентября и продолжается по март. Критический порог влажности характерен для апреля.

Начиная с мая по август идет нарастание пожарной опасности на территории Соль-Илецкого лесничества, в связи с уменьшением влажности горючих материалов.

Так же одной из причин возникновения лесных пожаров являются метеорологические условия. Погода является фактором либо способствующим, либо препятствующим распространению пожаров: жара и ве-

тер создают прямую угрозу выгоранию леса на больших площадях, затрудняют борьбу с огнем: обложные дожди, сырая, ненастная погода предотвращают лесные пожары. На рис. 2 четко прослеживается зависимость количества пожаров от годового количества осадков. 2011, 2013 и 2015 гг. были самыми увлажненными, количество осадков составляло от 348 до 361 мм, поэтому эти годы характеризуются минимальным количеством пожаров. В 2014 г. наблюдалась засуха, и годовое количество осадков составило 256 мм, а количество пожаров за период 2011–2016 гг. было максимальным и равнялось 5. Таким образом, нами отмечена прямая зависимость количества осадков на число пожаров на территории Соль-Илецкого лесничества.

Выводы

Таким образом, наши исследования позволили сделать следующие выводы: причиной возникновения пожаров в Соль-Илецком лесничестве является человеческий фактор, а именно неосторожное обращение с огнем. На его долю приходится 93 % всех возгораний. Так же косвенно этому способствуют метеорологические условия (количество осадков), так как в засушливые годы наблюдается рост количества пожаров.

В лесах Соль-Илецкого района пожары изменяют лесные биогеоценозы, подавляют рост одних видов и интенсифицируют развитие других видов. На участке пройденным низовым пожаром, в подросте преимущественно преобладает клен ясенелистный. Так же гибель деревьев первого и второго ярусов значительно увеличивает освещенность под пологом леса, что создает благоприятные условия для интенсивного роста травянистой растительности на участке поврежденном пожаром, по сравнению с контрольным, на второй год после пожара.

Естественное лесовосстановление на территории Соль-Илецкого лесничества после пожара можно охарактеризовать как неудовлетворительное, так как количество подроста на гарях составило менее 5000 шт/га. Связано это с климатическими факторами. Недостаток влаги, сухое жаркое лето, холодная малоснежная зима, резкое изменение количества выпадающих осадков, большая сухость воздуха – все это негативно влияет на ход естественного лесовосстановления.

Для предотвращения возникновения лесных пожаров мы считаем, что необходимо:

1. Периодическое «прочесывание» лесополос с целью сбора сухостоя.

2. Два раза в год обновлять мелиоративную полосу территорий лесничеств, находящихся в зоне риска.

3. Размещение агитационных баннеров и проведение разъяснительных бесед.

4. В период активной пожарной опасности усиливать контроль со стороны соответствующих органов.

5. Периодически проводить высадку пород наиболее устойчивых к возгораниям.

Список литературы / References

1. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Сколов Ю.И. Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы. М.: Декс-Пресс, 2004. 312 с.

Vorobev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. Forest fires in Russia: state and problems. M.: Dex-Press, 2004. 312 p. (in Russian).

2. Бурлаков П.С., Хмара К.А. Лесные пожары от гроз как геоэкологический фактор устойчивости светлехвойных лесов бассейна реки Сояна на Беломорско-Кулойском плато // Труды Карельского научного центра РАН. 2011. № 1. С. 48–53.

Burlakov P.S., Khmara C.A. Lightning Ignited Forest Fires as a Geoecological Factor Influencing the Stability of Light Coniferous Forests of the Soyana River Basin on Belomorsk-Kuloyskoe Plateau // Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN. 2011. № 1. P. 48–53 (in Russian).

3. Рябинина З.Н., Янтурин С.И., Рябцов С.Н., Абдулина К.Х., Юнусбаев У.Б. Роль степных пожаров в формировании растительного покрова Южного урала: монография. Уфа: АН РБ, Гилем, 2010. 219 с.

Ryabinina Z.N., Yanturin S.I., Ryabtsov S.N., Abdulina K.Kh., Yunusbayev U.B. The role of fires in shaping vegetation of the southern Urals: monograph. Ufa: AN RB, Gilem, 2010. 219 p. (in Russian).

4. Щеглова Е.Г. О влиянии погодных условий на пожары природных объектов // Вестник ОГУ. 2013. № 1. С. 166–170.

Shcheglova E.G. The effect of weather conditions fires of natural objects // Vestnik OGU. 2013. № 1. P. 166–170 (in Russian).

5. Щеглова Е.Г. Влияние низовых пожаров на лиственные леса Оренбуржья // Вестник ОГУ. 2012. № 10. С. 15–20.

Scheglova E.G. The Influence of ground fires in the deciduous forests of the Orenburg region // Vestnik OGU. 2012. № 10. P. 15–20 (in Russian).

ОБЗОРЫ

УДК 504:379.85

ФОТОТУРИЗМ: ИСТОРИЯ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ**Волкова Т.А.***ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», Краснодар, e-mail: mist-next4@inbox.ru*

Фототуризм относится к малоосвоенному направлению путешествий. Впервые данное понятие появилось еще в 1990 г. История возникновения и развития фототуризма тесно связана с развитием науки и техники, достижениями научно-технического прогресса. Впервые фототур в современном виде был организован в начале 1980-х гг. в Западной Европе. С течением времени фотографирование становилось модным занятием среди очень обеспеченных слоев населения, в связи с чем приобретало не только научный интерес. С распространением фотографии многие деятели данного направления добились больших коммерческих высот. В России организация фотопутешествий считается относительно новой сферой деятельности. Данное направление стало более активно осваиваться лишь с 2000-х гг., но исторические предпосылки появления фототуризма относят к Советскому Союзу. В последнее время занятие фотографией становится модным направлением, в особенности среди молодежи. Немалую роль в популяризации фототуризма играет развитие современных технологий, а также повсеместное распространение социальных сетей и постоянное расширение количества их пользователей. Появляется и популяризируется такое направление, как блоггинг, где особое внимание уделяется именно представленным фотографиям. Благодаря интернет-ресурсам, появилась новая разновидность фототуризма, которая в настоящее время заинтересовала многих пользователей виртуального мира. Данный тип фотографических путешествий получил название фотопозирование в туризме. В статье дается краткий ретроспективный анализ и характеристика современного состояния фототуризма в целом, поднимаются вопросы развития фототуризма на территории Краснодарского края. На сегодняшний день фототуризм стал довольно популярным видом отдыха за рубежом, но остается на начальном этапе развития в России.

Ключевые слова: туризм, туристско-рекреационная отрасль, фототуризм, фотопутешествия, история, ретроспективный анализ, фотопоход, фотопозирование в туризме

PHOTOTOURISM: HISTORY AND DEVELOPMENT TRENDS**Volkova T.A.***Kuban State University, Krasnodar, e-mail: mist-next4@inbox.ru*

Phototourism is an underdeveloped travel destination. This concept first appeared in 1990. The history of the emergence and development of phototourism is inextricably linked with the development of science and technology, the achievements of scientific and technological progress. The first photo tour in its modern form was organized in the early 1980s. in Western Europe. Over time, photographing became a fashionable activity among the very wealthy segments of the population, and therefore acquired not only scientific interest. With the spread of photography, many figures in this direction have achieved great commercial heights. In Russia, the organization of photo travel is considered a relatively new area of activity. This direction began to be more actively mastered only in the 2000s, but the historical prerequisites for the emergence of phototourism relate to the Soviet Union. Recently, photography has become a fashionable trend, especially among young people. The development of modern technologies, as well as the widespread dissemination of social networks and the constant expansion of the number of their users, play a significant role in the popularization of phototourism. A direction such as blogging appears and is popularized, where special attention is paid to the submitted photographs. Thanks to Internet resources, a new kind of phototourism has appeared, which is currently of interest to many users of the virtual world. This type of photographic travel is called photoposing in tourism. The article provides a brief retrospective analysis and characterization of the current state of phototourism as a whole, raises issues of the development of phototourism in the Krasnodar Territory. Today, phototourism has become a fairly popular type of vacation abroad, but remains at the initial stage of development in Russia.

Keywords: tourism, tourist and recreational industry, phototourism, phototravel, history, retrospective analysis, photocamera, photo positioning in tourism

На сегодняшний день туризм считается очень крупной, а также активно формирующейся отраслью экономики. Помимо этого, туризм воздействует на другие секторы хозяйства, а именно на транспорт, торговлю, связь и т.д.

На сегодняшний день наблюдается развитие туризма на территории Российской Федерации. Необыкновенная красота природы, богатая история и большое число памятных объектов, ежегодно привлекают все большее количество экскурсантов. В связи

с этим на отечественный рынок активно внедряются новые виды и формы организации путешествий. По мере развития общества, а также роста производительных сил происходит определенное усовершенствование рынка непродовольственной сферы. Отмечается рост технической оснащенности труда, введение все более развитых технологий [1, 2].

В связи с тем, что количество туристов постоянно увеличивается, а их запросы возрастают, появляется все больше нестан-

дартных форм туризма, ориентированных на различные интересы людей. Сегодня, кроме привычных для многих экскурсионных, лечебно-оздоровительных, спортивных и экстремальных видов туризма, существуют и такие малораспространённые разновидности путешествий, как сельский, космический, тёмный туризм, а также джайлоо-туризм, кинотуризм и другие формы путешествий. К относительно новым направлениям можно отнести фототуризм.

Появление и развитие новых видов туризма – процесс, требующий особого внимания. Своевременное выявление тенденций и трендов формирования туристской отрасли позволяет достичь устойчивости ее развития. Трансформация структуры туристско-рекреационной отрасли влечет за собой изменения и в смежных видах хозяйственной деятельности, особенно значимое влияние оказывая на малый бизнес. В современных условиях развитие малого бизнеса является своеобразным индикатором здорового развития экономики и социума. Таким образом, целью исследования стал анализ особенностей развития и современного фототуризма, как отдельного вида туристской активности, при этом для анализа особенностей развития указанного вида туристской деятельности в первую очередь необходимо определиться с дефинициями, используемыми в рамках исследования.

Современная наука о туризме изобилует терминами, к определению которых разные ученые подходят по-разному. И если некоторые термины прописаны законодательно, что исключает возможности разночтений, то в отношении других мнения исследователей

могут расходиться как в самой формулировке, так и в структуре определяемого объекта [3, 4]. Методологической основой исследования стал анализ статистических данных, научной и учебной литературы, ГОСТов и нормативно-правовых источников. Фототуризм относится к малоосвоенному направлению путешествий. Впервые данное понятие появилось еще в 1990 г. Его автором является британский ученый, историк Джон Феннел. В настоящее время точного научного определения данного понятия в ФЗ РФ «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации» и других документах, которые можно отнести к регулированию туристской деятельности в Российской Федерации, не существует [5], но дано немало всевозможных трактовок, которые были составлены авторами различных книг о фотоискусстве. А.И. Астапова в своей статье, посвященной данному направлению путешествий, рассмотрела различные определения как зарубежных, так и отечественных авторов, чьи работы направлены на изучение фототуризма. В публикации были приведены следующие определения, представленные в таблице.

На основании представленных приведенных трактовок можно дать следующее определение данного направления в туризме. Фототуризм – это организованное путешествие, включающее в себя элементы познавательного, этнографического и других видов туризма, направленное как на профессиональных фотографов, так и на любителей фотографии, с целью получения или совершенствования фотографических навыков и (или) получения фотографий под руководством организатора.

Определение понятия «фототуризм» [6]

Авторы понятия, год	Определение
Дж. Феннел (1990 г.)	Это вид туризма, который в основном зависит от знаний и обслуживания и не имеет высоких требований к туристским объектам, тем самым сохраняя природу и культуру, а также способный приносить экономические и социальные выгоды
Г.П. Робинсон, Г. Пикарт (2009 г.)	Это путешествие, позволяющее фотографам и фотолюбителям открывать для себя новые уголки в компании единомышленников, направленное на повышение фотографического уровня и пополнения портфолио новыми фотографиями. Фототуризм включает в себя элементы следующих видов туризма: познавательного, экологического, этнографического, спортивного и т.д.
Синь Лу (2010 г.)	Это новое решение для продления туристского сезона с низким воздействием на окружающую среду, которое способствует обеспечению роста и повышению конкурентоспособности туристских направлений
А.А. Волошина, В.М. Теньгушева (2015 г.)	Это вид организованного туризма, рассчитанный на любителей фотографии, желающих увидеть новые интересные уголки земли и под чутким руководством организатора грамотно и профессионально запечатлеть эту красоту на свою фотокамеру

История возникновения и развития фототуризма неотрывно связана с развитием науки и техники, достижениями научно-технического прогресса. Благодаря огромному количеству открытий в области фотографии, методы создания изображений становились все более совершенными, а технология их получения становилась все более доступной в различных странах, в связи с чем появлялись все новые направления фотоискусства. К одному из таких направлений можно отнести развитие фототуризма.

С давних времен путешественники старались передать красоту природы и поделиться своими открытиями и впечатлениями. Такая возможность представилась с появлением первых аппаратов, при помощи которых можно было получить фотоизображения. Считается, что такое направление, как туристическая фотография, стало популярным не только от тяги людей к искусству и запечатлению природной красоты, но и в силу того, что именно закрепленные изображения являлись достоверным источником информации об окружающем мире и происходящих в нем событиях. Полученные снимки могли также использоваться для различных научных исследований. В особенности в качестве исследовательского инструмента такие изображения применялись в археологии. Как известно, появление фотографии совпало с активным распространением и строительством железных дорог и пароходов, что позволяло состоятельным слоям населения путешествовать и при этом привозить из поездок фотоизображения. С середины XIX в. благодаря развитию прогресса, активной торговле иностранными товарами, выпуску печатной продукции об экзотических странах, а также моде тех времен на все новое, необычное и неизведанное, у многих людей появилось желание выехать за пределы своего места проживания, увидеть различные природные и архитектурные достопримечательности, познакомиться с традициями других народов, а также поделиться полученными впечатлениями с окружающими людьми. Исследователи и путешественники стали все чаще организовывать фотографические экспедиции, в развитых странах создавались фотоателье, которые встречались как правило, на оживленных улицах, где нередко прогуливались туристы или проводились групповые экскурсии. Во многих туристских городах стали устраивать выставки работ, сделанных за рубежом. Все это способство-

вало популяризации фотоискусства, а затем и зарождению фототуризма [7].

После того, как востоковед Жан Шампольн в 1829 г. совершил экспедицию в Египет, данное направление стало осваиваться и фотографами, но изначально лишь в научных целях. С течением времени в 1950-х гг., после изобретения калотипии, число фотопутешествий по египетской местности резко возросло. В этот период времени и происходит расцвет такого жанра, как туристическая фотография. Популяризации египетского направления способствуют различные археологические описания. Маршрут фотографа как правила пролегал от Нубии до Каира.

Еще до 1850-х гг. среди обеспеченных слоев населения, интересующихся фотоискусством, стало популярным отправляться в длительные поездки, для запечатления природных и архитектурных достопримечательностей различных стран. Работа над созданием снимков имела большое количество неудобств в силу того, что переносные аппараты тех времен были довольно громоздкими и имели большой вес. Путешественникам необходимо было иметь при себе не только камеру, которая весила около 10 кг, но также набор пластин и реактивов, благодаря которым становилось возможным создать снимок. В начале 1850-х гг. был изобретен мокроколлоидный процесс проявления изображений, благодаря чему качество фотографий значительно возросло, а время экспонирования сократилось в разы. Не смотря на преимущества данного метода, для путешественников он представлял еще большие неудобства, из-за того, что сделанные изображения необходимо было сразу проявлять, т.е. фотографам приходилось брать в дорогу дополнительное оборудование. Можно сказать, что фотопутешественники использовали целые передвижные лаборатории, которые включали в себя специальную палатку, так как пластины обрабатывались в полной темноте, а также большой ящик, для хранения химикатов, посуды, новых пластин и других приспособлений [8].

Необходимыми атрибутами фотосъемки тех времен являлись штативы и специальные держатели для пластинок, запас чистой дистиллированной воды. Вес всех принадлежностей в среднем составлял от 150 фунтов, поэтому для их перемещения зачастую нанимали нескольких носильщиков, также с этой целью использовали мулов или верблюдов. Как пример, можно привести несколько экспедиций. Феликсом Муленом

в 1856 г. был проложен путь по Алжирской местности, вес необходимого для поездки багажа составил около 1150 кг. Путешествие Эме Сивиаля проходило в горах при отрицательной температуре, при этом ему приходилось нести на спине оборудование весом в 245 кг. Зачастую в связи с экстремальными условиями съемок и сложности технического оснащения, фотографам так и не удавалось получить снимки во время экспедиций.

Основателем туристической фотографии считается Френсис Фрит, который в 1855 г. решил продать свой бизнес для того, чтобы всерьез заняться фотоискусством и путешествиями. Наиболее известными являются его снимки, сделанные в странах Ближнего Востока, куда он совершил три поездки в 1850-х гг. За весь период деятельности фотограф выпустил семь книг со своими работами. Первая его поездка была совершена в Египет, затем он исследовал Палестину, Сирию и Нубию. Впоследствии он создал альбом со множеством снимков различных форматов, который был назван «Египет, Синай и Иерусалим». Еще одним путешественником, проявившим интерес к туристической фотографии, является Джордж Бриджес. В 1852 г. он создал примерно 1 500 негативов, которые были сделаны в различных странах Средиземноморья, а также в Египте. Немало фоторепортажей создавалось в странах Ближнего Востока, Френсисом Бедфордом. Именно он отправился в одну из поездок вместе с принцем Уэльским по приказу королевы Англии. Впоследствии, около 170 его снимков, сделанных в период путешествия, были опубликованы [9].

В 1853 г. было сформировано «Фотографическое общество», затем переименованное в «Королевское фотографическое общество». Его основателем является англичанин Роджер Фентон, считающийся первым военным фотографом. Все выполненные снимки доставались ему большим трудом так как создавались в условиях боевых действий. Помимо составления фоторепортажей, Фентон в своих работах отображал живописные уголки России, Великобритании и т.д., но наиболее привлекательным направлением для него являлась съемка архитектурных достопримечательностей различных стран и отображение жизни людей. Фотограф принимал активное участие в иллюстрировании различных книг, являлся владельцем самой крупной в Великобритании фотографической ком-

пании, которая была столь популярна, что Уилсон Фентон основал множество филиалов по всей стране.

До начала 1860-х гг. фотографию все еще причисляли к живописи, но именно в этот период происходит понимание разницы между фотоумением и мастерством художника. Рождается понятие «искусство фотографии». Во многих европейских странах происходит активное распространение фотографической профессии. На тот момент существовало два вида деятельности фотографа: студийная съемка и странствующая (когда мастер старался отобразить достоверную картину окружающего мира) [7]. Совершенно новым направлением для фотомастеров являлось исследование ледников. Первопроходцами в данной области называют братьев Биссон – знаменитейших парижских фотографов.

С распространением туризма и появлением большого количества курортных городов рождается новый жанр фотографии – топография, направленный на помощь в благоустройстве территории для отдыхающих. Основателем данного вида является Олимп Араго, приближенный императорского двора. К 1860-м гг. в каждом регионе обязательно был мастер, работающий в данном направлении. Топографическая фотография не получила широкого распространения лишь в Германии. Из работ того времени, сделанных немецкими мастерами, известны изображения Дрездена, отражавшие архитектурные и природные достопримечательности Неккара, Нюрнберга, Вюртемберга, Аугсбурга и Бамберга [10].

С распространением фотографии многие деятели данного направления добились больших коммерческих высот. Например, Дж. Вашингтон Уилсон, который разработал и подробно описал в своих трудах концепцию получения качественного снимка во время путешествий. Основой его теории был простой ракурс, немного притемненный передний план и гармоничное расположение объектов. Вскоре он открыл свое производство, для тиражирования фотографий, изображавших пейзажи. Особенно интерес при съемке он проявлял к закатам и туманам. Помимо этого, он работал с различными изданиями, выпускавшими энциклопедии, а его работы зачастую выставлялись на выставках, так как Уилсон в большей степени был ориентирован на получение коммерческой выгоды, многие путешествия, с целью получения новых изображений, совершали его ассистенты.

Таким образом были отпечатаны прекрасные снимки из Марокко, Испании, Франции и Швейцарии [11].

Постепенно люди стали проявлять все больший интерес к фотографии и путешествиям, что породило появление тематических журналов. В 1888 г. был выпущен первый журнал, посвященный данной тематике, под названием «National Geographic Magazine». Изначально, его содержание состояло в большей степени из текстов, но в 1905 г. редактор Гилберт Гросвенор решил изменить формат подачи материала. Под его руководством вышел журнал объемом в 11 страниц, включающий в себя преимущественно фотоснимки тибетского города Лхаса. В дальнейшем происходило все большее усовершенствование фототехники, впоследствии были созданы цифровые камеры, благодаря которым в разы улучшилось качество получаемых изображений. Массовое производство цифровой фототехники пришлось на 2003 г. Постоянно разрабатывались новые, улучшенные модели камер, а также стали производить дополнительное оборудование, позволяющее делать снимки более качественными и интересными. За счет постоянного выпуска новых моделей, розничная стоимость устаревших фотокамер снижалась и в связи с этим техника становилась все более доступной, получив массовое распространение [12].

Туризм также становился популярнее и доступнее для многих слоев населения. Фирмы по организации туров получили повсеместное распространение, благодаря чему многие люди отошли от самостоятельных путешествий, доверив организацию своего отдыха специалистам. Впоследствии запросы туристов возрастали и с целью привлечения новых потребителей и удержания постоянных клиентов стали появляться новые форматы путешествий, ориентированные на различные интересы людей. Таким образом туристическая фотография оформилась в отдельный вид путешествий и получила название фототуризм.

Впервые фототур в современном виде был организован в начале 1980-х гг. в Западной Европе. Ученые до сих пор затрудняются ответить на вопрос о том, кто же является автором идеи данного направления и первым организатором путешествий, ориентированных не только на отдых, получение новых знаний и впечатлений, но, прежде всего, на создание участниками профессиональных снимков и освоение или же

усовершенствование навыков в области фотоискусства. Около десяти лет назад, благодаря активному развитию техники, цифровые фотоаппараты стали более доступными для людей с различным материальным достатком и получили широкое распространение во многих странах. В это время, а именно в 2008 г., открылось агентство, которое специализировалось на организации и продвижении фототуров. Компания получила название «Photours», а ее основателями считаются профессионалы в области фотоискусства – Джефф Вандерпул и его коллега Марк Гудвин. Их основной целью было доказать, что в современном мире туризм невозможен без фотографии [10].

Путешествия, которые они организовывали могли быть как краткосрочными, и длиться всего несколько часов, так и продолжительными – порядка двух недель. Маршрут пролегал по различным странам Европы. Компания обещала своим клиентам проведение неспешных экскурсий, совершенствование уже имеющихся навыков или же познание азов в области фотодела, а также возвращение из путешествия с невероятными впечатлениями и необыкновенно красивыми снимками. По программе тура предусматривалось посещение и запечатление не только знаменитых на весь мир достопримечательностей, но также прогулка к тем объектам, которые являлись малоизвестными для большинства путешественников. Стоимость фототура была выше, чем обычной поездки, организованной фирмой [4].

В России организация фотопутешествий считается относительно новой сферой деятельности. Данное направление стало более активно осваиваться лишь с 2000-х гг., но исторические предпосылки появления фототуризма относят к Советскому Союзу. Толчком для зарождения подобных экскурсий послужил журнал, который назывался «Советское фото». В издании можно было увидеть снимки, сделанные путешественниками или же любителями фотографии. Известно, что возросший интерес к путешествиям и съемке способствовал тому, что в СССР стали основывать фотоклубы. В Советском Союзе существовало 450 таких школ, в которых не только проводились обучающие курсы, но и организовывались походы для оттачивания на практике полученных теоретических знаний. Данные путешествия относят к первым фототурам, которые проводились на территории СССР [10].

Большой вклад в развитие отечественного фототуризма внесла Илона Крыжановская. В 2003 г. под ее руководством был организован проект, под названием «ФотоТур». К его основным преимуществам относят абсолютную уникальность всех организованных программ и получение нестандартных снимков [12].

Постепенно организацией подобных туров стали заниматься и различные крупные фотошколы. Появлялось все большее количество новых проектов, созданных известнейшими фотографами. Например, «Фотосафари.ру» идея, разработанная Ольгой и Дмитрием Рудаковыми. Изначально данный проект не получил распространения среди любителей фотоискусства, и его разработчики путешествовали в основном с друзьями, но со временем бренд нашел свою аудиторию и на сегодняшний день занимается проведением экскурсий по всему миру. Особенно среди участников популярны маршруты по Японии, Италии, Антарктиде, Африке, Исландии и Канаде.

Стоит упомянуть и об успешно воплощенной в жизнь задумке С. Хлопкова и А. Безлепкина, получившей название «Бесконечная Планета». Впервые о турфирме стало известно в 2004 г. Ее деятельность направлена на проведение фотопутешествий с целью приобщения людей к традициям народов, проживающих на территории России и изучению их культуры. Организаторы самостоятельно разрабатывают все маршруты, стараясь сделать каждую экспедицию уникальной и непохожей на экскурсии, организованные конкурентами. Изначально туры проводились лишь по Центральной России, но, благодаря успешной реализации проекта, были созданы маршруты по Забайкалью, а затем и Кольскому полуострову [13].

В современном мире практически каждый человек имеет фотокамеру, и ни одна поездка большинства туристов не обходится без запечатления памятных моментов и интересных достопримечательных ресурсов [14, 15]. Многие люди хотят привозить из поездок не только множество приятных воспоминаний и впечатлений, но и большое число красивых фотокадров, напоминающих о путешествии. Кроме того, фотографии, которые туристы делают в своих турах, ценны сами по себе, поскольку являются неоспоримым доказательством путешествия [16, 17]. При этом именно фототуризм, в отличие от многих других видов туристской деятельности, не приводит

к истощению природных и исторических ресурсов [18, 19]. Немалую роль в популяризации фототуризма играет развитие современных технологий, а также повсеместное распространение социальных сетей и постоянное расширение количества их пользователей [16].

В последнее время занятие фотографией становится модным направлением, в особенности среди молодежи [20]. Появляется и популяризируется такое направление, как блоггинг, где особое внимание уделяется именно представленным фотографиям. В связи с этим многие стремятся заполнить свои профили качественным контентом, который будет интересен большому числу людей. Данные интернет-ресурсы могут выступать также и в роли привлечения потенциальных клиентов, в первую очередь молодых [21].

Рассмотрим статистику пользователей социальных сетей на январь 2019 г. На данный период времени аудитория интернета составляет 4,39 млрд пользователей, из которых 3,48 млрд чел. зарегистрировано в различных социальных сетях по всему миру. В Российской Федерации данный показатель почти достиг отметки в 68 млн чел. Изучив данные официального сайта «Statista», можно увидеть, что наибольшей популярностью в России пользуется «YouTube» (социальная платформа, ориентированная на размещение видеороликов). Ей отдают предпочтение 63% опрошенных россиян. На втором месте расположился сервер «ВКонтакте» (61% опрошенных). Далее следует социальная сеть под названием «Одноклассники.ru» – 42%, затем в строчке лидеров расположились такие мессенджеры, как «WhatsApp» и «Skype», набравшие равное число голосов, а именно 38%, немного меньше получил онлайн-мессенджер «Viber» (33%), который на 2% опередила социальная платформа «Facebook» (35%). На восьмом месте рейтинга разместился «Instagram», которому отдают предпочтение 31% опрошенных пользователей социальных сетей в России. Более того, известно, что Российская Федерация занимает шестое место во всем мире и первое в Европе, исходя из количества активных пользователей данного ресурса (32 млн пользователей), возраст большинства из которых не превышает 30 лет (59% чел.). Также есть сведения о том, что именно «Instagram» считается второй в списке социальных сетей, используемых для динамичного продвижения малого бизнеса. Далее, в рассмотренном на сайте статистическом гра-

фике, следуют «Google +», «FB Messenger», «Twitch» и др. ресурсы, набравшие менее 30 % голосов [21].

Из списка данных социальных платформ наиболее ориентированными на демонстрацию фотоснимков являются «ВКонтакте» и «Instagram». В связи с этим была рассмотрена статистика пользователей данных серверов в Краснодарском крае. Для этих целей были проанализированы материалы, размещенные на сайте «Brand Analytics» за март 2019 г. по регионам России. Напомним, что население Краснодарского края превышает 5,5 млн чел. Исходя из изученных данных можно увидеть, что Краснодарский край находится на седьмом месте в списке рейтинга по пользователям сети «ВКонтакте» (почти 925 тыс. чел. из более чем 31 млн пользователей всей страны) и на втором месте по количеству зарегистрированных человек в «Instagram» (более 1,5 млн чел. из более чем 22 млн пользователей по всей стране). Наиболее активная аудитория пользователей обоих ресурсов от 18 и до 35 лет, из которых преимущественный процент составляет молодежь. Учитывая рассмотренную статистику, можно сказать, что социальные сети могут стать полезным и весьма эффективным ресурсом, способствующим динамичному продвижению и популяризации фототуристского продукта на территории всего Краснодарского края [16].

Подробно рассмотрев историю зарождения и развития фототуризма, можно проследить, как с течением времени менялись смысл, заложенный в данное понятие, и цели, с которыми путешественники стремились получить снимки. Рассматриваемый вид деятельности является относительно новым в индустрии туризма, но несмотря на свое непродолжительное существование, изучаемое понятие претерпевало немало изменений. Если вернуться к истокам появления фотографических путешествий, то можно заметить, что изначально все поездки, в которых была задействована фототехника, совершались лишь в научных целях для получения достоверных данных. Прежде всего этот фактор был связан с высокой стоимостью необходимой для съемки техники, т.е. она не была доступна широкому кругу людей. Второе обстоятельство, которое затрудняло массовое распространение фотопроектов, заключалось в сложности перемещения необходимой техники, в силу ее тяжеловесности и громоздкости. Еще одной причиной можно назвать недо-

статочную развитость предприятий туризма и фотошкол тех времен [10].

С течением времени фотографирование становилось модным занятием среди очень обеспеченных слоев населения, в связи с чем приобретало не только научный интерес. Вскоре данное увлечение и породило такое понятие, как «туристическая фотография», которое с 1990-х гг. стало называться «фототуризм». Появление большого числа туристических фирм и школ для подготовки профессиональных фотографов также способствовало постепенной популяризации данного вида деятельности, но до 2000-х гг. фототуры все еще не получили широкого распространения. Причина этого прежде всего в дороговизне и недоступности необходимого минимального оборудования, в особенности самих фотокамер [9].

С 2003 г., после массового производства и резкого снижения цен на технику, фотографические экскурсии стали доступны большому количеству туристов. Теперь целью путешествия было прежде всего получение уникальных живописных снимков, а также приобретение фотографических знаний или оттачивание уже имеющихся навыков. В современном мире, фотография получила очень широкое распространение среди огромного количества людей, чему, как уже говорилось ранее, способствовали социальные сети. Благодаря интернет-ресурсам, два года назад появилась новая разновидность фототуризма, которая в настоящее время заинтересовала многих пользователей виртуального мира. Данный тип фотографических путешествий получил название фотопозирование в туризме [22, 23].

В связи с динамикой развития рассматриваемого типа путешествий можно сделать вывод, что на сегодняшний день для многих туристов, целью фотопутешествия становится не только запечатление достопримечательных ресурсов, приобретение и (или) усовершенствование навыков, но и запечатление себя и своих близких на фоне тех или иных природных и (или) культурно-исторических объектов для получения качественных, уникальных снимков и демонстрации их пользователям в социальных сетях. Позирование для фотографии – это умение принять такую позу, благодаря которой фотографируемый будет выглядеть наилучшим образом на полученном снимке. Таким образом, можно сказать о том, что суть фотопозирования в туризме заключается в том, чтобы путешественник не только улучшил фотографические навыки, но и по

итогу поездки получил уникальные кадры, на большинстве которых основным объектом съемки является сам экскурсант, а живописные достопримечательности выступают в роли фонов получаемых кадров. Здесь задача гида-фотографа усложняется. Он должен уметь объяснить не только правила построения удачного снимка той или иной местности в определенное время суток, но и уметь работать с моделью, в качестве которой в данном случае выступает турист. Фотограф должен знать азы правильного фотопозирования и уметь донести свои знания в этой области до экскурсанта.

Фотопозирование может стать также полезным курсом для обучения или наглядного совершенствования навыков будущих фотографов, чья деятельность связана со съемкой различных мероприятий или же индивидуальных и (или) групповых фотосессий в живописных природных условиях и (или) на фоне созданных человеком достопримечательных объектов. Таким образом, обучаясь посредством подобных туров, фотограф научится не только выстраивать кадр наилучшим образом, исходя из особенностей местности, световых и погодных условий, но и доступно объяснять своим клиентам, как более выигрышно выглядеть в кадре [24].

Цена такого тура, соответственно, возрастает за счет более объемной теоретической части, которую необходимо грамотно, понятно и интересно изложить туристам. Организацией и проведением фотопозирования занимаются на данный момент в большей степени самостоятельные профессиональные фотографы. Несмотря на более высокую стоимость, данный вид фототуризма в скором времени может получить широкое распространение, преимущественно среди молодежи, чему, как уже было отмечено ранее, в наибольшей степени может способствовать постоянный рост пользователей различных социальных сетей, в особенности делающих акцент именно на качественном контенте, представленном в первую очередь интересными и привлекательными фотоснимками, которые могут заинтересовать большое число пользователей. Также, помимо фотопозирования, постепенно появляются и др. новые формы фототуризма, как, например, фотопоходы. В настоящий момент фототуризм, как инновационное направление сферы путешествий, активно развивается в зарубежных странах, но в России лишь немногие фирмы организуют подобные туры.

Диверсификация деятельности всех субъектов туристского рынка с помощью развития фототуризма будет способствовать успешному выполнению важнейшей задачи по развитию внутреннего туризма в России [25].

Заключение

Таким образом, можно увидеть, что развитие фототуризма берет свое начало еще с XIX в. С давних пор ученые активно трудились над созданием техники, которая могла бы запечатлеть исторические моменты из жизни людей, их быт, а также передать красоту природы различных стран. Со временем аппарат совершенствовался, благодаря чему появилась возможность перемещения устройства на местности. Несмотря на то, что передвижение техники было связано с огромным количеством неудобств и зачастую экстремальными погодными условиями, многие путешественники отправлялись в экспедиции по странам для получения фотоснимков. Со временем стали появляться фотографические общества и тематические журналы, посвященные путешествиям и фотоискусству, а также организовывались выставки, где можно было увидеть снимки, сделанные в различных уголках планеты. С распространением фототехники, а также популяризацией туризма, появился новый формат туров, ориентированный не только на отдых, получение знаний и впечатлений, но, прежде всего, на создание участниками профессиональных снимков.

На сегодняшний день фототуризм стал довольно популярным видом отдыха за рубежом, но остается на начальном этапе развития в России. Как правило, фототуры в России организуют по таким направлениям, как Байкал, Алтай, Камчатка, по маршруту «Золотое кольцо России» и в такие города, как Москва, Санкт-Петербург, а также по Архангельской, Мурманской, Ленинградской, Московской, Тверской областях, республиках Коми, Карелия. На данный момент в Краснодарском крае фототуризм не получил широкого распространения. Фототуры являются прекрасной возможностью не только ознакомиться с различными удивительно прекрасными уголками планеты, но и помогут повысить уровень фотомастерства, познакомиться с единомышленниками, получить яркие и незабываемые впечатления от поездки, а также пополнить свой фотоальбом новыми, необыкновенно красивыми, качественными и уникальными снимками.

Список литературы / References

1. Алиева Ф.Б., Волкова Т.А., Карпова Ю.И., Ходыкина М.Ф. Непроизводственная сфера Краснодарского края // Научное обозрение. 2015. № 5. С. 160–165.
- Alieva F.B., Volkova T.A., Karpova Ju.I., Hodykina M.F. Non-manufacturing sphere of Krasnodar area // Nauchnoe obozrenie. 2015. № 5. P. 160–165 (in Russian).
2. Мищенко Т.А. Влияние туристских ресурсов на развитие регионального туризма и проблема их рекреационной оценки // Географические исследования Краснодарского края: сборник научных трудов. Краснодар, 2009. С. 237–241.
- Mishchenko T.A. The influence of tourist resources on the development of regional tourism and the problem of their recreational assessment // Geograficheskiye issledovaniya Krasnodarskogo kraia: sbornik nauchnykh trudov. Krasnodar, 2009. P. 237–241 (in Russian).
3. Волкова Т.А. Эволюция понятия «инфраструктура туризма» // Этносоциум и межнациональная культура. 2015. № 7 (85). С. 66–71.
- Volkova T.A. The evolution of the concept of «tourism infrastructure» // Etnosocium and interethnic culture. 2015. № 7 (85). P. 66–71 (in Russian).
4. Голубчиков Ю.Н., Клименко С.В., Кружалин В.И., Тикун В.С. Туризм в индивидуализации и географизации познания // Ситуационные центры и информационно-аналитические системы класса 4i для задач мониторинга и безопасности (SCVRT1516): труды международной научной конференции. Протвино, 2016. С. 119–226.
- Golubchikov Yu.N., Klimenko S.V., Kruzhalin V.I., Tikhov V.S. Tourism in the individualization and geographicalization of knowledge // Situatsionnyye tsentry i informatsionno-analiticheskiye sistemy klassa 4i dlya zadach monitoringa i bezopasnosti (SCVRT1516): trudy mezhnunarodnoy nauchnoy konferentsii. Protvino, 2016. P. 119–226 (in Russian).
5. Йошина Е.А., Киносян М.Р., Корнеев А.А. Основные аспекты развития фототуризма на территории Ямало-Ненецкого автономного округа // Сервис в России и за рубежом. 2014. № 7 (54). С. 98–106. DOI: 10.12737/7471.
- Ioshina E.A., Kinosyan M.R., Korneev A.A. Major Aspects of Photo Tourism in the Yamal-Nenets Autonomous District // Services in Russia and abroad. 2014. № 7 (54). P. 98–106 (in Russian).
6. Астапова А.И. Фототуризм как перспективное направление ответственного туризма // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. 2018. Т. 4. № 2. С. 3–10. DOI: 10.18413/2408-9346-2018-4-2-0-1.
- Astapova A.I. Phototourism as a promising area of responsible tourism // Research result. Business and Service Technologies. 2018. V. 4. № 2. P. 3–10 (in Russian).
7. Богачева Т.Л. О зарождении туристической фотографии // Электронный журнал «PROFOTOS». [Электронный ресурс]. URL: <https://prophotos.ru/lessons/9755-zarozhdenie-turisticheskoy-fotografii> (дата обращения: 20.06.2019).
- Bogacheva T.L. About the origin of tourist photography // Electronic journal «PROFOTOS». [Electronic resource]. URL: <https://prophotos.ru/lessons/9755-zarozhdenie-turisticheskoy-fotografii> (date of access: 20.06.2019). (in Russian).
8. Все о туристском бизнесе. Туристская библиотека «Все о туризме». [Электронный ресурс]. URL: http://tourlib.net/metod_tourism.htm (дата обращения: 20.06.2019).
- Everything about the tourism business. Turistskaya biblioteka «Vse o turizme». [Electronic resource]. URL: http://tourlib.net/metod_tourism.htm (date of access: 20.06.2019) (in Russian).
9. Агеев М.И. Фототуризм как бизнес-идея // Идеи для бизнеса. 2017. № 13. С. 8–9.
- Ageev M.I. Phototourism as a business idea // Idei dlya biznesa. 2017. № 13. P. 8–9 (in Russian).
10. История развития фотографии как искусства. Информационный портал «ФОТОКОМОК». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fotokomok.ru/istoriya-fotografii> (дата обращения: 02.07.2019).
- The history of the development of photography as art. Informatsionnyj portal «FOTOKOMOK». [Electronic resource]. URL: <http://www.fotokomok.ru/istoriya-fotografii> (date of access: 02.07.2019) (in Russian).
11. Волошина А.А., Теньгушева В.М. Фототуризм как оригинальный вид туризма // Молодежь, наука, творчество – 2015: сборник статей XIII межвузовской научно-практической конференции. Омск: Омский государственный институт сервиса, 2015. Ч. 2. С. 11–12. [Электронный ресурс]. URL: http://tourlib.net/statti_tourism/voloshina.htm (дата обращения: 21.07.2019).
- Voloshina A.A., Ten'gusheva V.M. Phototourism as an original type of tourism // Molodezh', nauka, tvorchestvo – 2015: sbornik statey XIII mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Omsk: Omskiy gosudarstvennyy institut servisa, 2015. Ch. 2. S. 11–12. [Electronic resource]. URL: http://tourlib.net/statti_tourism/voloshina.htm (date of access: 21.07.2019). (in Russian).
12. Колков Е.И. Фотопутешествия OPEN FOTO: мифы и реальность. Подробный разбор основных заблуждений, связанных с нашими поездками. «OPEN FOTO». [Электронный ресурс]. URL: <http://open-foto.ru/fototours> (дата обращения: 08.08.2019).
- Kolkov E.I. Photo Travel OPEN FOTO: Myths and Reality. A detailed analysis of the main misconceptions associated with our trips. «OPEN FOTO». [Electronic resource]. URL: <http://open-foto.ru/fototours> (date of access: 08.08.2019) (in Russian).
13. Рублев В.С. Фототуризм и фотоэкспедиции // Тонкости туризма. 2018. № 3. С. 5–7.
- Rublev V.S. Phototourism and photo expeditions // Tonkosti turizma. 2018. № 3. P. 5–7 (in Russian).
14. Статистика социальных сетей по регионам России. Информационный портал «YouScan». [Электронный ресурс]. URL: <http://youscan.io/researches> (дата обращения: 20.07.2019).
- Statistics of social networks by region of Russia. Informatsionnyj portal «YouScan». [Electronic resource]. URL: <https://youscan.io/researches> (date of access: 20.07.2019) (in Russian).
15. Злобина Е.В. Фототуризм: специфика, функции, перспективы развития в республике Марий Эл // Туризм как фактор модернизации экономики и развития регионов: материалы I Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Йошкар-Ола, 19–21 ноября 2015 г.). Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2015. С. 275–279.
- Zlobina E.V. Phototourism: specifics, functions, development prospects in the Mari El Republic // Turizm kak faktor modernizatsii ekonomiki i razvitiya regionov: materialy I Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhnunarodnym uchastiyem (Yoshkar-Ola, 19–21 noyabrya 2015 g.). Yoshkar-Ola: Povolzhskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet, 2015. P. 275–279 (in Russian).
16. Астапова А.И. Фототуризм как перспективное направление ответственного туризма // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. 2018. Т. 4. № 2. С. 3–10. DOI: 10.18413/2408-9346-2018-4-2-0-1.
- Astapova A.I. Phototourism as a promising area of responsible tourism // Research result. Business and Service Technologies. 2018. V. 4. № 2. P. 3–10 (in Russian).
17. Sun J. Tourist tales: A case study on Photography Tourism in Yuanyang, China. Senri Ethnological Studies. 2010. V. 76. P. 111–130. DOI: 10.15021/00002546.
18. Дугаренко И.А., Дугаренко Н.Ю. Фототуризм в Крыму: факторы развития и приоритеты // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2018. Т. 4 (70). № 3. С. 31–42.
- Dugarenko I.A., Dugarenko N.Yu. Phototourism in Crimea: development factors and priorities // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2018. V. 4 (70). № 3. P. 31–42 (in Russian).
19. Гордеева Д.А., Савинкина Л.А. Фототуризм как один из способов продвижения туристских территорий //

Индустрия туризма: возможности, приоритеты, проблемы и перспективы. 2019. Т. 14. № 1. С. 45–52.

Gordeeva D.A., Savinkina L.A. Phototourism as one of the ways to promote tourist areas // *Industriya turizma: vozmozhnosti, priority, problemy i perspektivy*. 2019. V. 14. № 1. P. 45–52 (in Russian).

20. Мищенко Т.А. Особенности территориальной дифференциации окружающей среды Краснодарского края с учетом ландшафтно-экологических особенностей // *Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистем южных регионов России и сопредельных территорий: материалы XIX межреспубликанской научно-практической конференции* (Краснодар, 21 апреля 2006 г.). Краснодар: Кубанский государственный университет, 2006. С. 153–154.

Mishchenko T.A. Features of the territorial differentiation of the environment of the Krasnodar Territory, taking into account landscape and ecological features // *Aktual'nyye voprosy ekologii i okhrany prirody ekosistem yuzhnykh regionov Rossii i sopredel'nykh territoriy: materialy XIX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Krasnodar, 21 aprelya 2006 g.). Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy universitet, 2006. P. 153–154 (in Russian).

21. Статистика социальных сетей. Информационный портал «BrandAnalytics». [Электронный ресурс]. URL: <https://br-analytics.ru/statistics/author/> (дата обращения: 15.03.2019).

Social network statistics. Informational portal. [Electronic resource]. URL: <https://br-analytics.ru/statistics/author/> (date of access: 15.03.2019) (in Russian).

22. Social media – Statistics & Facts. [Electronic resource]. URL: <https://www.statista.com/topics/1164/social-networks>. (date of access: 28.06.2019).

23. Коржонов Д.Н. Россия – самая неотснятая страна // *Российское фото*. 2018. № 5. С. 8–11.

Korzhonov D.N. Russia is the most unremarked country // *Rossiyskoe foto*. 2018. № 5. P. 8–11 (in Russian).

24. Хамнаева Н.И., Цынгунова Е.Т. Разработка познавательного тур маршрута по Баргузинскому району республики Бурятия «Прекрасное должно быть рядом» // *Россия-Казахстан: приграничное сотрудничество, музейно-туристический потенциал, проекты и маршруты к событиям мирового уровня: сборник статей Международной научно-практической конференции* (Самара, 09–11 декабря 2015 г.). Самара: Самарский государственный экономический университет, 2016. С. 68.

Khamnaeva N.I., Tsyngunova E.T. Development of a cognitive tour route in the Barguzinsky district of the Republic of Buryatia «The beautiful must be near» // *Rossiya-Kazakhstan: prigranichnoye sotrudnichestvo, muzeyno-turisticheskiy potentsial, proyekty i marshruty k sobytiyam mirovogo urovnya: sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Samara, 09–11 dekabrya 2015 g.). Samara: Samarskiy gosudarstvennyy ekonomicheskij universitet, 2016. P. 68 (in Russian).

25. Уденеева Н.В. Особенности организации фототуров // *Научный вестник МГИИТ*. 2018. № 5 (55). С. 39–43.

Udeneeva N.V. The special features of photo tours organization // *Nauchnyj vestnik MGIIТ*. 2018. № 5 (55). P. 39–43 (in Russian).