
УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 3

2017

ISSN 1681-7494

Импакт-фактор

РИНЦ – 0,906

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» – 70062

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.х.н., проф. Алоев В.З. (Нальчик); д.х.н., проф. Великородов А.В. (Астрахань); д.х.н., проф. Дресвянников А.Ф. (Казань); д.х.н., проф. Душкин А.В. (Новосибирск); д.х.н., проф. Ивашкевич А.Н. (Москва); д.х.н., проф. Микитаев А.К. (Нальчик); д.х.н., проф. Нилов А.П. (Егорьевск); д.х.н., проф. Танганов Б.Б. (Улан-Удэ); д.с.-х.н., проф. Анищенко Л.Н. (Брянск); д.с.-х.н., проф. Байрамбеков Ш.Б. (Камызяк); д.с.-х.н., проф. Берсон З. (Великий Новгород); д.с.-х.н., проф. Зволинский В.П. (Волгоград); д.с.-х.н., проф. Коцарева Н.В. (Белгород); д.с.-х.н., проф. Ланцева Н.Н. (Новосибирск); д.с.-х.н., проф. Морозова Н.И. (Рязань); д.с.-х.н., проф. Тихановский А.Н. (Салехард); д.с.-х.н., проф. Улимбашев М.Б. (Нальчик); д.с.-х.н., проф. Ухтверов А.М. (Самара); д.с.-х.н., проф. Хазиахметов Ф.С. (Уфа); д.с.-х.н., проф. Шамшиев Б.Н. (Ош); д.г.-м.н., проф. Абилхасимов Х.Б. (Астана); д.г.-м.н., проф. Алексеев С.В. (Иркутск); д.г.-м.н., проф. Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.г.-м.н., проф. Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.г.-м.н., проф. Ерофеев В.И. (Томск); д.г.-м.н., проф. Костицын В.И. (Пермь); д.г.-м.н., проф. Лебедев В.И. (Кызыл); д.г.-м.н., проф. Мельников А.И. (Иркутск)

Журнал «УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ» зарегистрирован
в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия.

Свидетельство – **ПИ № 77-11311.**

Все публикации рецензируются. Доступ к журналу бесплатен.

Импакт-фактор РИНЦ = 0,906.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

Учредитель – ИД «Академия Естествознания»
Издательство и редакция: Издательский Дом «Академия Естествознания»

Почтовый адрес –
105037, г. Москва, а/я 47,
АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ,
редакция журнала «УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ»

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

Подписано в печать – 31.03.2017

Формат 60х90 1/8
Типография
ООО «Научно-издательский центр
Академия Естествознания»,
г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка
Митронова Л.М.
Корректор
Галенкина Е.С.

Способ печати – оперативный.
Усл.п.л. 17,13
Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/3-2017
Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Химические науки (02.00.00)

МОНОДИСПЕРСНЫЕ КАТИОННЫЕ ЧАСТИЦЫ: ДОСТИЖЕНИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ <i>Байгильдин В.А., Лаишевкина С.Г., Лавров Н.А., Панкова Г.А., Шевченко Н.Н.</i>	7
УКРУПНЕННО-ЛАБОРАТОРНОЕ БАКТЕРИАЛЬНО-ХИМИЧЕСКОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ЗОЛОТА ИЗ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАКЫРЧИК <i>Канаев А.Т., Баймырзаев К.М., Семенченко Г.В., Канаева З.К., Советова Н.Ж., Токпаев К.М., Шемшеева Ж.Б., Умирбекова Ж.Т., Аманбаева У.И.</i>	14
ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИТОТОКСИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ХЛОРОФИЛЛА α В ОТНОШЕНИИ КЛЕТОК КРОВИ <i>Криштоп В.В., Пахрова О.А., Кустов А.В., Худяева И.С., Белых Д.В., Макаров В.В., Кручин С.О., Березин Д.Б.</i>	20
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПУНКТА ХРАНЕНИЯ МОНАЦИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА <i>Майстренко Т.А., Рачкова Н.Г., Белых Е.С., Рыбак А.В.</i>	30
ПРИМЕНЕНИЕ ГУМИНОВОГО ПРЕПАРАТА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ БРИКЕТОВ, СОДЕРЖАЩИХ УГОЛЬНОЕ СЫРЬЕ <i>Шевченко Т.В., Новикова Я.А.</i>	35

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

ВЛИЯНИЕ АМОРФНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ НА РОСТОВЫЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ НА РАННИХ СТАДИЯХ ОНТОГЕНЕЗА <i>Анищенко Л.Н., Борздыко Е.В., Москаленко И.В., Сковородникова Н.А., Лось С.Л., Прохоренко Ф.В.</i>	40
ПРОДУКТИВНОСТЬ НУТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКОВ И СХЕМ ПОСЕВА В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ ЧУЙСКОЙ ДОЛИНЫ <i>Асаналиев А.Ж., Султанбаева В.А., Хегай С.В., Содомбеков И.С.</i>	46
ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ КОМПЛЕКСНОГО УДОБРЕНИЯ НА СТАБИЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО (TRIFOLIUM PRATENSE) <i>Бибик Т.С., Шукин И.М., Баранов С.Г.</i>	51
ТЕМНОХВОЙНЫЕ ЛЕСА ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ АМГИ (ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ) <i>Габышева Л.П., Кузнецова Л.В.</i>	56
РАСТИТЕЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА БАССЕЙНА Р. АРКАЧАН (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ВЕРХОЯНСКОГО ХРЕБТА) <i>Исаев А.П., Михалева Л.Г., Чикидов И.И.</i>	62

Науки о Земле (25.00.00)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ «ЗЕЛЕННОГО» ОБЩЕНАЦИОНАЛЬНОГО СЧЕТОВОДСТВА <i>Астахова Л.В., Черняев С.И.</i>	67
ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА Г. ЭЛИСТА <i>Горяшкина З.В., Щербакова Л.Ф., Цомбуева Б.В.</i>	75
ПОСТРОЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ МНОГООКОННЫХ ГИС СИСТЕМ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ <i>Жигалов К.Ю.</i>	80
ЗОНАЛЬНОСТЬ МНОГОМЕТАЛЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ КУМИРНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕРЕБРА (СЕВЕРНОЕ ПРИМОРЬЕ) <i>Ивин В.В., Медведев Е.И., Фатьянов И.И.</i>	85

ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТОКСИЧНОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА АВТОМАГИСТРАЛЕЙ НИЖНЕГО НОВГОРОДА <i>Козлов А.В., Миронова Ю.И., Машакин А.М., Кондрашин Б.В., Дедык В.Е., Тарасов И.А., Воронцова А.А., Акафьева Д.В.</i>	92
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КОЛЛЕКТИВНОЙ ФЛОТАЦИИ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ РУД ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМ МЕТОДОМ <i>Коростовенко В.В., Стрекалова Т.А., Степанов А.Г.</i>	97
ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПЛАТФОРМЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ) <i>Лютюев В.А., Лютюева Н.В.</i>	102
ТЕХНОГЕННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ НА ТЕРРИТОРИИ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ <i>Ошхунова А.А., Кравченко И.В., Калашикова Л.М.</i>	112
ПРОБЛЕМЫ ЭВОЛЮЦИИ ГОРОДА-МИЛЛИОНЕРА И ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ПРЕДПОЧТЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ Г. УФЫ) <i>Сафиуллин Р.Г., Сафиуллина Р.М., Ибрагимова З.Ф.</i>	117
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СРЕДНЕГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА И КРЫМА <i>Хауптшева М.Х., Шугунов Т.Л., Шугунов Л.Ж.</i>	122
РАЗВИТИЕ ГОРОДОВ ПРОВИНЦИИ КУАНГ БИНЬ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ВЬЕТНАМ) <i>Хоанг Тхи Зиеу Хьонг, Денмухаметов Р.Р.</i>	128
ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ПРОМЫШЛЕННЫХ УРБОЛАНДШАФТОВ ЮГА РОССИИ <i>Шишкина Д.Ю.</i>	133

CONTENTS

Chemical sciences (02.00.00)

MONODISPERSE CATIONIC PARTICLES: ACHIEVMENTS AND PREPARATION RULES <i>Baygildin V.A., Laishevskina S.G., Lavrov N.A., Pankova G.A., Shevchenko N.N.</i>	7
BIOTECHNOLOGICAL LABORATORY TESTS ENLARGEMENT EXTRACTION OF GOLD FROM ORES AND PRODUCTS OF THEIR ENRICHMENT DEPOSIT BAKYRCHIK <i>Kanaev A.T., Baymyrzaev K.M., Semenchenko G.V., Kanaeva Z.K., Sovetova N.Zh., Tokpaev K.M., Shemsheeva Zh.B., Umirbekova Zh.T., Amanbaeva U.I.</i>	14
CYTOTOXIC PROPERTIES OF CHEMICALLY MODIFIED CHLOROPHYLL α DERIVATIVES AGAINST BLOOD CELLS <i>Krishtop V.V., Pakhrova O.A., Kustov A.V., Khudyaeva I.S., Belykh D.V., Makarov V.V., Kruchin S.O., Berezin D.B.</i>	20
RADIOECOLOGICAL RESEARCHES ON THE TERRITORY NEAR A MONAZITE CONCENTRATE STORAGE CELL <i>Maystrenko T.A., Rachkova N.G., Belykh E.S., Rybak A.V.</i>	30
USING HUMIC SPECIMEN FOR PRODUCTION COAL-CONTAINING RECLAMATION BRIQUETTES <i>Shevchenko T.V., Novikova Ya.A.</i>	35

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

ON THE EFFECT OF AMORPHOUS SILICA ON THE GROWTH AND PRODUCTION INDICATORS OF CULTIVATED PLANTS IN THE EARLY STAGES OF ONTOGENESIS <i>Anischenko L.N., Borzdyko E.V., Moskalenko I.V., Skovorodnikova N.A., Los S.L., Prokhorenko F.V.</i>	40
PRODUCTIVITY OF CHICKPEA DEPENDINDING OF SOWING DATE AND SOWING SCHEME IN THE FOOTHILL ZONE OF CHUI VALLEY <i>Asanaliev A.Zh., Sultanbaeva V.A., Kheday S.V., Sodobekov I.S.</i>	46
EFFECT OF MINERAL FERTILIZER ON RED CLOVER DEVELOPMENTAL STABILITY <i>Bibik T.S., Schukin I.M., Baranov S.G.</i>	51
DARK CONIFEROUS FORESTS OF THE UPPER REACHES OF AMGA RIVER (SOUTHERN YAKUTIA) <i>Gabysheva L.P., Kuznetsova L.V.</i>	56
VEGETATION OF THE ARKACHAN RIVER BASIN (CENTRAL PART OF VERKHOYANSK RANGE, NORTH-EAST OF RUSSIA) <i>Isaev A.P., Mikhaleva L.G., Chikidov I.I.</i>	62

Earth sciences (25.00.00)

CURRENT STATE OF «GREEN» NATIONAL BOOKKEEPING <i>Astakhova L.V., Chernyaev S.I.</i>	67
ASSESSMENT OF POLLUTION OF SOIL ELISTA <i>Goryashkieva Z.V., Scherbakova L.F., Tsombueva B.V.</i>	75
CREATION AND USAGE OF INTERACTIVE MULTIWINDOW GIS OF SYSTEMS FOR AUTOMATED PRODUCTION OF CONSTRUCTION WORKS <i>Zhigalov K.Yu.</i>	80
MINERALIZATION ZONING MNOGOMETALNOGO KUMIRNOE SILVER DEPOSIT (NORTHERN PRIMORYE) <i>Ivin V.V., Medvedev E.I., Fatyanov I.I.</i>	85
STATE OF ECOLOGY-CHEMICAL ASSESSMENT AND BIOLOGICAL TOXICITY OF SNOW COVER HIGHWAYS OF NIZHNY NOVGOROD <i>Kozlov A.V., Mironova Yu.I., Mashakin A.M., Kondrashin B.V., Dedyk V.E., Tarasov I.A., Vorontsova A.A., Akafeva D.V.</i>	92

INTENSIFICATION OF POLYSULPHIDE ORES BULK FLOTATION BY ELECTROPHYSICAL METHOD <i>Korostovenko V.V., Strekalova T.A., Stepanov A.G.</i>	97
FEATURES OF SEISMIC ZONING PLATFORM AREAS (ON EXAMPLE OF KOMI REPUBLIC) <i>Lutoev V.A., Lutoeva N.V.</i>	102
TECHNOGENIC ENVIRONMENTAL RISKS ON THE TERRITORY OF KABARDINO- BALKARIAN REPUBLIC <i>Oshkhunova A.A., Kravchenko I.V., Kalashnikova L.M.</i>	112
THE PROBLEM OF THE EVOLUTION OF THE CITY-MILLIONAIRE AND TERRITORIAL POPULATION PREFERENCE (FOR EXAMPLE UFA) <i>Safullin R.G., Safullina R.M., Ibragimov Z.S.</i>	117
COMPARATIVE ANALYSIS OF AVERAGE ANNUAL TEMPERATURE OF THE NORTH CAUCASUS AND CRIMEA <i>Khaupsheva M.Kh., Shugunov T.L., Shugunova L.F.</i>	122
DEVELOPMENT OF CITIES OF PROVINCE QUANG BINH (CENTRAL VIETNAM) <i>Hoang Thi Dieu Huong, Denmykhametov R.R.</i>	128
CHEMICAL CONTAMINATION OF SOILS OF INDUSTRIAL URBAN LANDSCAPES SOUTH OF RUSSIA <i>Shishkina D.Yu.</i>	133

УДК 544.777

МОНОДИСПЕРСНЫЕ КАТИОННЫЕ ЧАСТИЦЫ: ДОСТИЖЕНИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ

^{1,2}Байгильдин В.А., ²Лайшевкина С.Г., ²Лавров Н.А., ¹Панкова Г.А., ¹Шевченко Н.Н.

¹ФГБУН «Институт высокомолекулярных соединений РАН», Санкт-Петербург;

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», Санкт-Петербург, e-mail: natali.shevchenko29@gmail.com, vbaigildin@yahoo.com

В работе рассмотрены основные закономерности и достижения в области получения положительно заряженных полимерных частиц. Систематизированы особенности проведения эмульсионной, безэмульгаторной эмульсионной, микро- и миниэмульсионной и дисперсионной полимеризаций. Показано, что существуют два подхода к созданию положительно заряженных частиц: за счет ковалентного присоединения инициаторов, мономеров и полимеров, а также за счет физической адсорбции катионных поверхностно активных веществ. При этом основными направлениями исследований являются варьирование размера и формы частиц, а также направленное регулирование структуры поверхностного слоя. Установлено, что важнейшим фактором, определяющим размер латексных частиц, является концентрация функционального катионного мономера. Также рассмотрено влияние состава и природы дисперсионной среды на условия проведения синтеза и характеристики полимерных частиц.

Ключевые слова: гетерофазная полимеризация, катионные частицы, монодисперсность, биологически активные вещества

MONODISPERSE CATIONIC PARTICLES: ACHIEVEMENTS AND PREPARATION RULES

^{1,2}Baygildin V.A., ²Laishevkina S.G., ²Lavrov N.A., ¹Pankova G.A., ¹Shevchenko N.N.

¹Institute of Macromolecular Compounds of Russian Academy of Science, Saint Petersburg;

²St. Petersburg State Technological Institute (Technical University), Saint Petersburg,
e-mail: natali.shevchenko29@gmail.com, vbaigildin@yahoo.com

The article deals with the main rules and features of preparation positive charged polymer particles. The features of emulsion, emulsifier-free, micro- and miniemulsion and dispersion polymerizations are systematized. It is shown that there are two approaches to create positive charged particles. The first one is due to covalent binding of initiators, monomers and polymer and the second one is due to physical adsorption of cationic surfactants. The main development trends are ranged of particle size and shape as well as directed regulation of structure of surface layer. It is found that the most important factor determining size of latex particles is functional cationic monomer concentration. It is also reviewed the influence of composition and nature of dispersion medium on synthesis conditions and characteristics of polymer particles.

Keywords: heterophase polymerization, cationic particles, monodispersity, biologically active substances

В последние десятилетия значительно возрос интерес к полимерным латексным дисперсиям, которые образуются в процессах гетерофазных полимеризаций. Основными преимуществами таких полимерных частиц является возможность направленного регулирования их размера, узкое распределение по размерам и введение в поверхностный слой реакционноспособных функциональных групп. Немаловажную роль полимерные латексы играют в медицине и биотехнологии, где применяются как носители биологически активных веществ (БАВ), при инкапсуляции ферментов и идентификации, а также при разделении клеток. Большинство представленных публикаций и обзорных статей рассматривают применение отрицательно заряженных частиц. Это связано как с большим разнообразием реакционноспособных функциональ-

ных групп: карбоксильных, гидроксильных, альдегидных, сульфо- и хлорсульфоновых, так и с относительной легкостью в их получении. Однако в последнее время особый интерес представляют частицы с положительным поверхностным зарядом (катионные частицы). Интерес к таким частицам обусловлен их уникальными свойствами: положительный заряд, хорошие химические и механические свойства, низкое поверхностное натяжение. Кроме того, в работе [26] отмечена перспективность использования катионных частиц при постановке тестов латекс-агглютинации в результате большей сорбции БАВ.

Цель данной работы – это анализ современных достижений в области гетерофазной полимеризации монодисперсных катионных частиц, оценка достоинств и недостатков применяемых методов, а также

выявление перспектив применения частиц в медицине и биотехнологии. Проведен анализ как зарубежных, так и отечественных школ.

Существует два способа создания положительного заряда на поверхности частиц:

1. Ковалентное присоединение: инициаторов, мономеров и полимеров.

2. Физическая адсорбция катионных поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Наиболее часто в этих целях используют инициаторы и мономеры, в структуре которых присутствуют аминогруппы. Однако синтез частиц с такими группами является сложной задачей из-за их высокой реакционной способности. При этом аминогруппы достаточно универсальны, поскольку взаимодействуют с карбоксильными, альдегидными группами, которые присутствуют в структуре большинства хромофорных и люминофорных красителей, что увеличивает спектр применения латексов. Выбор реагента является ключевым этапом получения положительно заряженных частиц, так как определяет его конечные свойства и область применения.

Эмульсионная полимеризация

Получение катионных латексов по этому методу можно разделить на 3 подхода:

I. Синтез частиц с использованием катионных поверхностно-активных веществ (ПАВ).

В традиционной эмульсионной полимеризации для синтеза катионных частиц используются ПАВ, в структуре которых присутствуют длинноцепочечные первичные и вторичные амины или пиридиновые основания. Наиболее распространенными представителями катионных ПАВ являются цетилтриметиламмоний бромид (ЦТАБ), цетилтриметиламмоний хлорид (ЦТАХ), додецилтриметиламмоний бромид (ДТАБ), гексадецилтриметиламмоний бромид (ГТАБ) и тетрадецилдиметилбензиламмоний хлорид (ТБАХ). Кроме того, в литературе найдены данные по применению додецилпиридиний хлорида (ДПХ), октадецилпиридиний хлорида (ОПХ), бензотий хлорида (БХ) и 1-[ω -(4'-метокси-4-бифенилокси)]пиридиний бромида (МБП).

Эмульгирующие свойства этих соединений обусловлены тем, что в структуре их молекул наряду с гидрофобной углеродной цепочкой содержится положительный атом азота, способствующий адсорбции полимерных частиц. В связи с этим катионные ПАВ в эмульсионной полимеризации выполняют функцию активатора поляризации

онного процесса, значительно увеличивая скорость реакции и изменяя размер конечных частиц.

Влияние ДПХ, ДТАБ, МБП, ДБАХ, ОПХ на эмульсионную полимеризацию Ст было исследовано Виеболтом с соавторами [39]. Для всех ПАВ авторы предложили коагуляционный механизм формирования частиц, в котором определяющую роль играла концентрация эмульгаторов, влияющая на свойства границы раздела фаз. При низкой концентрации эмульгатора (ДПХ, ДТАБ, МБП, ДБАХ, ОПХ) поверхностный заряд частиц обеспечивается концевыми группами инициатора и не зависит от концентрации ПАВ. При повышении концентрации ПАВ плотность поверхностного заряда резко возрастает, и размер конечных частиц увеличивается. Дальнейшее увеличение концентрации эмульгаторов приводит к насыщению поверхности формирующихся частиц, и размер частиц не изменяется.

Сравнение эмульгаторов ДТАБ и ГТАБ на кинетику полимеризации, размер частиц и структуру поверхностного слоя было изучено Рамосом и Форкадой в работе [28, 29]. Авторами найдено, что при одинаковой концентрации катионных ПАВ использование ГТАБ не оказывает влияние на скорость полимеризации и количество образующихся частиц. Также влияние ДТАБ на процесс эмульсионной полимеризации ПММА и полибутилакрилата (ПБА) опубликовано Брэдли и Грейсером [6]. Показано, что ДТАБ выступает как стабилизатор формирующихся частиц. Конг с соавторами [18] изучили влияние ЦТАБ на процесс образования частиц на основе полистирола (ПСт) и ПБА. Сарагоса-Контрерас [42] применил эмульгатор МБХ для синтеза ПСт частиц. Оказалось, что механизм полимеризации изменяется при высоких концентрациях ПАВ (выше 36 ммоль/л). Авторами высказано предположение, что превалирует коагуляционный режим зарождения частиц, который становится более продолжительным за счет высоких концентраций ПАВ.

II. Синтез частиц с использованием катионных мономеров и инициаторов.

Использование такого подхода позволяет ввести положительно заряженные группы непосредственно в структуру поверхностного слоя. В большинстве случаев применяются азоинициаторы, распадающиеся на радикалы под действием повышенных температур ($> 50^\circ\text{C}$). Инициаторы, применяемые в эмульсионной полимеризации: 2,2'-азобис(2-

амидинопропан) дигидрохлоридом (V-50), 2,2'-азо-бис[2-(2-имидозалин-2-ил)пропан] дигидрохлорид (VA-044), 2,2'-диметил-2,2'-азобис[N-бензилпропиламин] дигидрохлорид (VA-552), 2,2'-азобис(1-имино-1-пирролидин-2-этилпропан) дигидрохлорид (VA-067) и 2,2'-азобис[2-[1-(2-гидроксиэтил)-2-имидазолин-2-ил]-пропан] дигидрохлорид (VA-060).

Все используемые азоинициаторы относятся к классу амидинов. Таким образом, они подвержены гидролизу как в присутствии оснований, так и под действием кислот [33]. Однако присутствие различного рода заместителей в структуре снижает активность инициаторов в реакциях гидролиза. Хавкинс и Биггс [14] показали, что благодаря циклической структуре амидиновой группировки инициатор V-044 более устойчив к реакциям гидролиза, что является его несомненным преимуществом перед другими азоинициаторами.

В работе [22] Меньшикова с соавторами синтезировали частицы на основе ММА с аминированным поверхностным слоем с применением катионных инициаторов V-044 и V-50. Было замечено, что при использовании V-50 стабильность частиц снижается по сравнению с латексами, полученными с применением V-044. Низкий барьер устойчивости V-50 связан с гидролизом концевых групп инициатора и образованием карбоксильных групп [9, 10]. Поскольку продукты гидролиза устойчивы к реакциям гомолиза [17, 38], стационарная концентрация радикалов инициатора V-50 остается достаточно низкой. Смещение химического равновесия в сторону реакции распада инициатора возможно путем изменения pH среды. Установлено, что при pH 10 отношение константы гомолиза инициатора к константе гидролиза (k_h/k_d) равняется 17, а при pH 7–1.11 [17]. Таким образом уменьшение pH ниже 7 способствует снижению процесса гидролиза азоинициатора V-50 до минимума.

Также выбор инициатора влияет и на размер частиц. В [22] было показано, что смена инициатора с V-50 на V-044 приводит к увеличению диаметров частиц в одинаковых условиях проведения синтеза. Это можно объяснить разными скоростями распада инициаторов, например за 10 часов при 57 °C концентрация V-50 уменьшается в 2 раза, а V-044 распадается за 10 ч при 61 °C, в результате чего иницирование при использовании V-044 происходит медленнее, что приводит к снижению

концентрации радикалов и, как следствие, к увеличению размера полимер-мономерных частиц (ПМЧ).

С другой стороны, для синтеза катионных частиц возможно использование инициаторов, содержащих в своей структуре четвертичный атом азота, например N,N'-диметил-4,4'-азобис(4-циано-1-метилпиперидин) динитрат (ДАЦМП) как аналог амидинов [24]. В литературе опубликована только одна статья [5], где применен ДАЦМП. В результате были получены катионные монодисперсные полистирольные частицы, поверхностный заряд которых составляет +74 мВ и не зависит от pH дисперсионной среды. Однако не было найдено данных о коммерческой доступности такого инициатора.

Использование мономеров, содержащих положительно заряженные группы в своей структуре, определяет все физико-химические свойства частиц и область их применения. Основные мономеры, используемые в процессах гетерофазной полимеризации, можно разделить по следующим классам:

1. Мономеры, содержащие первичные аминогруппы.
2. Винилпирридины и их четвертичные аммониевые соли.
3. Мономеры, содержащие вторичные и третичные атомы азота.
4. Мономеры, содержащие четвертичные атомы азота.
5. Аминопроизводные *n*-стирола.

При проведении традиционной эмульсионной полимеризации добавление любого из приведенных мономеров приводит к ускорению скорости реакции, более высокой степени конверсии мономеров, меньшему размеру частиц и более высокой степени растворимости полимерных цепей. Стоит отметить мономеры первого класса, так как в их структуре присутствует первичная аминогруппа. Благодаря этому открываются огромные возможности для химического связывания с биополимерами, а также для присоединения хромофорных или люминофорных красителей.

Холзепфелем [15] и Гертсем [13] было показано, что при проведении реакции нейтрализации для снятия защитной группы с аминогрупп возможно протекание двух побочных реакций: перегруппировки ацильной группы и реакции Михаэля. В реакции Михаэля в качестве побочного продукта образуется 2-гидроксиэтилметакриламид. Перегруппировка ацильной группы зависит от величины pH дисперсионной среды. Для

исключения возможности протекания этой побочной реакции реакцию полимеризации АМГХ необходимо проводить при значениях $\text{pH} < 4$.

Сополимеризация катионных частиц на основе Ст и 4-винилпиридина (4ВП) при варьировании pH среды от 2 до 11 в присутствии неионного эмульгатора полиоксиптиленоктилфенилового эфира была изучена Охцукой с сотрудниками [25]. В условиях низкой концентрации ПАВ и высокой 4ВП в процессе реакции образовывались частицы, имеющие бимодальное распределение по размерам. Это вызвано недостаточной как стерической, так и электростатической стабилизацией частиц. Выявлено, что при $\text{pH} = 2$ звенья 4ВП предпочтительно локализуются в поверхностном слое частиц (от 30 до 70%), а при $\text{pH} = 11$ имеют статический характер распределения, приводящий к локализации в поверхностном слое не более 2% от общей загрузки функционального мономера.

III. Синтез катионных частиц с помощью реакций полимер-аналогичных превращений.

Образование первичной аминогруппы возможно в процессе снятия формильной защиты в молекуле N-винилформамида (ВФА), который был детально изучен Меньшиковой [22]. При этом степень гидролиза достигает 90–95%. Однако проведение процесса протекает в достаточно жестких условиях, что может отрицательно повлиять на агрегативную устойчивость частиц вплоть до их полной коагуляции. Размер таких частиц уменьшается при использовании до 10 мас. % ВФА, а при более высокой концентрации – возрастает. Наблюдаемая зависимость связана с двумя разнонаправленными тенденциями. С одной стороны, увеличение положительного поверхностного заряда частиц при введении малых количеств ВФА обеспечивает уменьшение их размера. С другой – обогащение формирующихся в начале синтеза звеньями ВФА приводит к снижению их поверхностной активности, и, следовательно, стабилизирующей способности.

Эрдем и Тюрк [8] получили положительно заряженные латексы с поверхностными четвертичными аминогруппами путем аминолитического сшивания частиц на основе винилбензил хлорида (ВБХ) и дивинилбензола. Затем частицы были подвергнуты аминолитическому сшиванию с помощью триэтиламина, N,N-диметилоктиламина или N,N-диметилгексадециламина. Напротив,

Форкада и соавторы [7] из синтезированного ВБХ получили 4-винилбензил ацетон гидразон (ВБАГ) для предотвращения окисления аминогруппы в процессе синтеза. При сополимеризации Ст и ВБАГ отмечается, что функциональный сомономер выступает в качестве стабилизирующего агента.

Получение катионных латексных дисперсий с помощью реакций полимер-аналогичных превращений достаточно трудоемкий процесс, поскольку включает в себя не только стадию синтеза, но также и стадию функционализации поверхности частиц. В результате эти процессы неблагоприятно сказываются на конечных характеристиках частиц.

Безэмульгаторная эмульсионная полимеризация

В последнее время безэмульгаторная эмульсионная полимеризация (БЭП) становится наиболее популярным методом получения катионных частиц. Её преимущество обусловлено отсутствием в реакциях ПАВ, которые уменьшают количество функциональных групп. Традиционной рецептурой метода является использование гидрофобного мономера, гидрофильного аминосодержащего сомономера и катионного инициатора. Впервые о БЭП упомянуто в статье Баксендела и Эванса [4], где они продемонстрировали возможность проведения полимеризации метилметакрилата (ММА) в отсутствие катионных ПАВ. Одно из наиболее важных отличий БЭП от ЭП происходит на стадии иницирования – полимеризация протекает в полимер-мономерных частицах (ПМЧ), а не в мицеллах эмульгатора.

Отсутствие однозначных данных о механизме образования ПМЧ связано с тем, что исследование начальной стадии гетерофазной полимеризации затруднено, так как одновременно происходят эмульгирование мономера, иницирование, зарождение ПМЧ и формирование межфазных адсорбционных слоев, определяющих стабильность ПМЧ. Изучение каждой стадии отдельно не дает полного представления о реальном механизме процесса. Установлено, что небольшое количество катионного сомономера значительно увеличивает скорость сополимеризации за счет электростатической стабилизации.

При расчете среднего числа радикалов на частицу выявлено, что при высокой концентрации катионных сомономеров преобладает псевдоблочный механизм сопо-

лимеризации. В этом случае количество радикалов на частицу ≥ 1 . Низкая концентрация катионных сомономеров (например, АМГХ) обуславливает протекание сополимеризации по механизму, предложенному Смитом и Эвартом [35]. Тогда количество радикалов на частицу $= 0,5$. При этом соотношение между количеством частиц (N_p) и концентрацией мономера: $N_p \approx [\text{АМГХ}]^{1,45}$. Такое высокое значение (> 1) подтверждает сильное влияние катионных мономеров на стадию инициирования.

Действие катионных мономеров, содержащих вторичные, третичные и четвертичные атомы азота, также детально изучено в процессах БЭП. Сакота [30] исследовал процесс сополимеризации Ст с N,N-диметиламиноэтилметакрилатом (ДМАЭМА) и N, N-диэтиламиноэтилметакрилатом (ДЭАЭМА) при иницировании V-50. Оказалось, что увеличение степени нейтрализации функциональных сомономеров способствует возрастанию скорости реакции. Кроме того, в одинаковых условиях размеры частиц П(Ст-ДМАЭМА) больше по сравнению с частицами П(Ст-ДЭАЭМА). Это связано, с одной стороны, с различной растворимостью мономеров: ДМАЭМА – полностью растворим в воде, а ДЭАЭМА – ограниченно растворим. С другой стороны, с различными скоростями сополимеризации r_1 и r_2 мономеров с Ст: для ДМАЭМА 0.51 и 0.38 [19], для ДЭАЭМА 0.18 и 1.25 [41].

Лю изучил влияние диаллилдиметиламмоний хлорида (ДАДМАХ), [3-(метакрилоиламино)пропил]триметиламмоний хлорида (МАПТМАХ), (винилбензил)триметиламмоний хлорид (ВБТМАХ) и [2-(метакриолокси)этил]триметиламмоний хлорида (МАТМАХ) на кинетику полимеризации Ст и характеристики образующихся частиц [21]. За счет низкой электростатической стабилизации и низкой реакционной способности ДАДМАХ реакция сополимеризации П(Ст-ДАДМАХ) похожа на гомополимеризацию Ст. Более быстрая скорость реакции наблюдалась при использовании МАТМАХ и ВБТМАХ. При этом авторы отмечают высокую полидисперсность конечных частиц при использовании этих функциональных сомономеров. Образование более водорастворимых полимерных цепей за счет высокой реакционной способности мономеров приводило к тому, что ПМЧ не успевали сольбулизировать вновь образованные водорастворимые олигомеры. Таким образом, олигомеры формировали новые частицы, увеличивая индекс полидисперс-

ности. МАПТМАХ занимает промежуточное положение среди описанных мономеров в реакционной способности в реакциях сополимеризации со Ст. Частицы, полученные в присутствии МАПТМАХ, были больше, чем полученные в присутствии МАТМАХ и ВБТМАХ, и меньше, чем с частицы, синтезированные с ДАДМАХ.

Варьирование концентрации катионных сомономеров также влияет на изoeлектрическую точку (ИЭТ) латексных частиц. Хохла синтезировал ПСт-частицы с ДЭАЭМА при иницировании персульфатом калия [16]. ИЭТ частиц варьировалась от pH 5,5 до 8,5 в зависимости от концентрации ДЭАЭМА. В работах [1] и [32] исследовано влияние ВФА на сополимеризации Ст и ММА соответственно в присутствии сшивающего агента ДМЭГ. В обоих случаях установлено, что на начальной стадии сополимеризации формируется сетчатая структура, обогащенная ВФА-звеньями. Количество поверхностных функциональных групп после гидролиза ВФА-звеньев в случае ПСт частиц возрастало практически в 2 раза, а в случае ПММА-частиц – в 3 раза.

Мономеры 1,2-диметил-5-винилпирридинметилсульфат (ДМВП) и 1-этил-2-метил-5-винилпирридин бромид (ЭМВП) были исследованы Лю в полимеризации со Ст в присутствии инициатора V-50 [20]. С увеличением концентрации катионных сомономеров размер частиц сначала уменьшался, проходя через минимум, а затем увеличивался. Авторы такое поведение связывают с высокой растворимостью мономеров в воде, что приводило к быстрому взаимодействию с инициатором и образованию большого числа водорастворимых олигомеров с высоким электростатическим зарядом. При этом снижалась их скорость коагуляции до образования ПМЧ. Это обуславливало уменьшение размера частиц.

Увеличение концентрации функциональных сомономеров приводило к большему количеству ДМВП- и ЭМВП-звеньев в олигорадикалах, что способствовало увеличению их растворимости и меньшей вероятности сольбулизации в ПМЧ. Это обеспечивало формирование частиц с большим размером.

Твигт также отмечает, что увеличение концентрации 1-метил-4-винилпирридин хлорид или 1-метил-4-винилпирридин иодид при сополимеризации со Ст способствует сначала уменьшению размера частиц, а потом увеличению [37]. Введение в реакционную систему метанола, кото-

рый способствует лучшему растворению Ст, увеличивает концентрацию последнего в формирующихся водорастворимых олигорадикалах, и, таким образом, изменяет растворимость олигорадикалов, увеличивая число частиц в системе.

Микро- и миниэмульсионная полимеризация

Микро- и миниэмульсионная полимеризация являются частными случаями эмульсионной полимеризации. Объединение этих типов полимеризации обусловлено схожим механизмом реакций и использованием в обоих случаях как ПАВ, так и со-ПАВ. Со-ПАВ используется как агент, снижающий осмотическое давление внутри формирующихся частиц. Наносферы, синтезируемые по методу микроэмульсионной полимеризации, имеют размер в диапазоне от 10 до 30 нм, в миниэмульсионной – от 30 до 100 нм [12]. Однако эти границы диапазона размеров достаточно условны и существуют работы, где с помощью микроэмульсионной полимеризации синтезируют катионные частицы диаметром 50 нм, а при проведении миниэмульсионной полимеризации – 150–200 нм.

Впервые метод микроэмульсионной полимеризации применен для получения катионных частиц в 1994 г., когда Ган [11] изучил полимеризацию Ст в присутствии ТБАХ и октадецилтриметиламмоний хлорида. Ксю с соавторами [40] исследовали влияние смеси ПАВ на характеристики ПСт-частиц. Использование смеси отрицательно заряженных ПАВ приводит к образованию частиц с размером от 22 до 36 нм, использование смеси положительно заряженных эмульгаторов увеличивает размер частиц до 46–53 нм. Частицы с максимальным размером формируются в присутствии ДСН-ЦТАБ от 40 до 94 нм. Миниэмульсионная полимеризация по механизму радикальной полимеризации с переносом атома (ATRP-полимеризация) была проведена Симмсем [34] для синтеза частиц на основе бутилметакрилата (БМА) при эмульгировании ЦТАБ и инициирования V-044. Одностадийная безэмульгаторная миниэмульсионная сополимеризация проведена Барари [2] с использованием инициатора V-50. Авторы предположили, что в качестве эмульгатора выступают олигомерные радикалы с концевыми положительно заряженными группами. Благодаря формирующимся ПАВ дальнейший ход полимеризации возможен по двум путям: образование нанокapsул со структурой «ядро/оболочка» или образование ПСт-частиц.

Дисперсионная полимеризация

Для получения катионных частиц размером от 1 до 10 мкм применяют технику дисперсионной полимеризации, известную с 1970-х гг. [3]. Особенностью этого типа полимеризации является использование органической дисперсионной среды, например, гептана или этилового спирта и масло-растворимых инициаторов. Дисперсионная среда подбирается таким образом, чтобы в ней были растворимы мономеры, а полимер не растворим. Детально механизм полимеризации описан в [27, 31]. Существуют две точки зрения о механизме дисперсионной полимеризации. Первая предполагает адсорбцию ПАВ на поверхность формирующихся частиц и образование гидратных слоев, что предотвращает их агрегацию. Вторая – ПАВ прививаются к полимерным цепям и выдвигаются в дисперсионную среду. В ранних работах по дисперсионной полимеризации как со-стабилизаторы использовались заряженные ПАВ, например ди-2-этилгексильный эфир натриевой соли сульфосукциновой кислоты или Aerosol OT-100 в сочетании с катионными сомономерами [36]. Широкое применение также нашли блок-сополимеры с различными зарядами, которые используются в качестве стерических стабилизаторов.

В последнее время появились работы по дисперсионной полимеризации, где в качестве среды используется суперкритический диоксид углерода (scCO_2) [23]. Применение scCO_2 обусловлено его нетоксичностью, дешевизной, доступностью и легкой регулировкой его плотности путем изменения либо температуры, либо давления. Кроме того, его использование позволяет исключить операции сушки и очистки полимерных латексов. Таким образом, scCO_2 является перспективным растворителем при проведении дисперсионной полимеризации и, вероятно, в будущем найдет более широкое распространение.

Заключение

В обзорной работе систематизированы достижения в области получения полимерных катионных частиц. На данный момент получено широкое разнообразие частиц с первичными, вторичными, третичными и четвертичными аминогруппами. При этом наиболее исследованным способом получения частиц является традиционная эмульсионная полимеризация. Несмотря на значительные достижения в безэмульгаторной эмульсионной полимеризации, этот способ

остается самым перспективным. Микро-, миниемульсионная, дисперсионная полимеризация катионных частиц менее изучены. Перспективность этих способов обусловлена не только возможностью создания композитных частиц, но и увеличением диапазона размера латексов.

Список литературы

1. Baigil'din V.A. Cross-linked poly(methyl methacrylate) particles with surface amino groups / V.A. Baigil'din [et al.] // *Colloid J.* – 2015. – Vol. 77, № 1. – P. 6–10.
2. Barari M. Preparation of Nanocapsules via Emulsifier-Free Miniemulsion Polymerization / M. Barari [et al.] // *J. Nanosci. Nanotechnol.* – 2009. – Vol. 9, № 7. – P. 4348–4352.
3. Barret K.E.J. Dispersion Polymerization in Organic Media / K.E.J. Barret. – New York: John Wiley & Sons, 1975. – 576 p.
4. Baxendale J.H. The mechanism and kinetics of the initiation of polymerisation by systems containing hydrogen peroxide / J.H. Baxendale, M.G. Evans, C.S. Park // *Trans. Faraday Soc.* – 1945. – Vol. 42. – P. 155–169.
5. Blaakmeer J. Synthesis of a polystyrene latex with a positive, pH independent, surface charge / J. Blaakmeer, G.J. Fleer // *Colloids and Surfaces.* – 1989. – Vol. 36, № 3. – P. 439–447.
6. Bradley M. Emulsion polymerization synthesis of cationic polymer latex in an ultrasonic field / M. Bradley, F. Grieser // *J. Colloid Interface Sci.* – 2002. – Vol. 251, № 1. – P. 78–84.
7. Costoyas Á., Hydrazine-functionalized latexes / Á. Costoyas, J. Ramos, J. Forcada // *J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem.* – 2009. – Vol. 47, № 22. – P. 6201–6213.
8. Erdem M. Preparation of cationic latexes with different length alkyl groups on their quaternary ammonium ions and their use as supports for IBA catalyst in the hydrolysis of PNPDPP / M. Erdem, H. Türk // *React. Funct. Polym.* – 2008. – Vol. 68, № 1. – P. 321–331.
9. Goodwin J.W. Control of particle size in the formation of polymer latices / J.W. Goodwin [et al.] // *Br. Polym. J.* – 1978. – Vol. 10, № 3. – P. 173–180.
10. Goodwin J.W. Studies on the preparation and characterization of monodisperse polystyrene latices V.: The preparation of cationic latices / J.W. Goodwin, R.H. Ottewill, R. Pelton // *Colloid Polym. Sci.* – 1979. – Vol. 257, № 1. – P. 61–69.
11. Gan L.M. Formation of polystyrene nanoparticles in ternary cationic microemulsions / L.M. Gan [et al.] // *Polymer (Guildf)*. – 1994. – Vol. 35, № 12. – P. 2659–2664.
12. Gilbert R.G. Emulsion polymerization: a mechanistic approach / R. G. Gilbert, ed. Ottewill R.H., Rowell R.L. – London; San Diego: Academic Press, 1995. – 362 p.
13. Geurts J.M. Syntheses of new amino-functionalized methacrylates and their use in free radical polymerizations / J.M. Geurts [et al.] // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2001. – Vol. 80, № 9. – P. 1401–1415.
14. Hawkins W.L. Synthesis of Certain Aliphatic 1,2-Diamines / W.L. Hawkins, B.S. Biggs // *J. Am. Chem. Soc. American Chemical Society.* – 1949. – Vol. 71, № 7. – P. 2530–2531.
15. Holzapfel V. Preparation of Fluorescent Carboxyl and Amino Functionalized Polystyrene Particles by Miniemulsion Polymerization as Markers for Cells / V. Holzapfel [et al.] // *Macromol. Chem. Phys.* – 2005. – Vol. 206, № 24. – P. 2440–2449.
16. Homola A. Preparation and characterization of amphoteric polystyrene latices / A. Homola, R. James // *J. Colloid Interface Sci.* – 1977. – Vol. 59, № 1. – P. 123–134.
17. Ito K. Competition between thermal decomposition and hydrolysis of 2,2'-azobis(2-amidinopropane) in aqueous solution / K. Ito // *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.* – 1973. – Vol. 11, № 7. – P. 1673–1681.
18. Kong X.Z. Preparation and full characterization of cationic latex of styrene-butyl acrylate / X.Z. Kong [et al.] // *Polymer (Guildf)*. Elsevier Ltd. – 2009. – Vol. 50, № 17. – P. 4220–4227.
19. Leonard E.C. Vinyl and Diene Monomers / E.C. Leonard. – New York: Wiley-Interscience, 1970. – 477 p.
20. Liu L. Emulsifier-free emulsion polymerization with cationic comonomer / L. Liu, I.M. Krieger // *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.* – 1981. – Vol. 19, № 11. – P. 3013–3026.
21. Liu Z. Emulsifier-free emulsion copolymerization of styrene with quaternary ammonium cationic monomers / Z. Liu, H. Xiao, N. Wiseman // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2000. – Vol. 76, № 7. – P. 1129–1140.
22. Men'shikova A.I. Bifunctional monodisperse microspheres of copolymers of methyl methacrylate and N-vinylformamide / A.I. Men'shikova [et al.] // *Russ. J. Appl. Chem.* – 2006. – Vol. 79, № 10. – P. 1660–1665.
23. Mueller P.A. Dispersion Polymerization of Methyl Methacrylate in Supercritical Carbon Dioxide: Control of Molecular Weight Distribution by Adjusting Particle Surface Area / P.A. Mueller [et al.] // *Macromol. Symp.* – 2007. – Vol. 259, № 1. – P. 218–225.
24. Neuman R.C. Neutral and positively charged azonitriles. Decomposition rates and efficiencies of radical production / R.C. Neuman, R.P. Pankratz // *J. Org. Chem.* – 1971. – Vol. 36, № 26. – P. 4046–4050.
25. Ohtsuka Y. Preparation and characterization of cationic copolymer latex. 1. Emulsion copolymerization of styrene with 4-vinylpyridine in the presence of non-ionic emulsifier / Y. Ohtsuka, H. Kawaguchi, S. Watanabe // *Polymer (Guildf)*. – 1980. – Vol. 21, № 9. – P. 1073–1078.
26. Ortega-Vinuesa J.L. Particle enhanced immunoaggregation of F(ab')₂ molecules / J.L. Ortega-Vinuesa, J.A. Molina-Bolívar, R. Hidalgo-Álvarez // *J. Immunol. Methods.* – 1996. – Vol. 190, № 1. – P. 29–38.
27. Paine A.J. Dispersion polymerization of styrene in polar solvents. 7. A simple mechanistic model to predict particle size / A.J. Paine // *Macromolecules.* – 1990. – Vol. 23, № 12. – P. 3109–3117.
28. Ramos J. Kinetics of the batch cationic emulsion polymerization of styrene: A comparative study with the anionic case / J. Ramos, Á. Costoyas, J. Forcada // *J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem.* – 2006. – Vol. 44, № 15. – P. 4461–4478.
29. Ramos J. Which are the mechanisms governing in cationic emulsion polymerization? / J. Ramos, J. Forcada // *Eur. Polym. J.* – 2007. – Vol. 43, № 11. – P. 4647–4661.
30. Sakota K. Preparation of cationic polystyrene latexes in the absence of emulsifiers / K. Sakota, T. Okaya // *J. Appl. Polym. Sci.* – 1976. – Vol. 20, № 7. – P. 1725–1733.
31. Shen S. Dispersion polymerization of methyl methacrylate: Mechanism of particle formation / S. Shen, E.D. Sudol, M.S. El-Aasser // *J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem.* – 1994. – Vol. 32, № 6. – P. 1087–1100.
32. Shevchenko N.N. et al. Copolymerization of styrene with N-vinylformamide and ethylene glycol dimethacrylate and characteristics of the formed particles // *Polym. Sci. Ser. B.* – 2014. – Vol. 56, № 2. P. 132–138.
33. Shriner R.L. The Chemistry of the Amidines / R.L. Shriner, F.W. Neumann // *Chem. Rev.* – 1944. – Vol. 35, № 3. – P. 351–425.
34. Simms R.W., Cunningham M.F. Reverse atom transfer radical polymerization of butyl methacrylate in a miniemulsion stabilized with a cationic surfactant / R.W. Simms, M.F. Cunningham // *J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem.* – 2006. – Vol. 44, № 5. – P. 1628–1634.
35. Smith W.V., Ewart R.H. Kinetics of Emulsion Polymerization / W. V. Smith, R.H. Ewart // *J. Chem. Phys.* – 1948. – Vol. 16, № 6. – P. 592.
36. Tseng C.M. Uniform polymer particles by dispersion polymerization in alcohol / C.M. Tseng [et al.] // *J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem.* – 1986. – Vol. 24, № 11. – P. 2995–3007.
37. Twigt F. Preparation and co-catalytic properties of functionalized latices / F. Twigt, P. Piet, A.L. German // *Eur. Polym. J.* – 1991. – Vol. 27, № 9. – P. 939–945.
38. Wahl R.U.R. Mechanistic studies on the decomposition of water soluble azo-radical-initiators / R.U.R. Wahl [et al.] // *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2.* – 1998. – № 9. – P. 2009–2018.
39. Wieboldt J. Some aspects of polymer colloids / J. Wieboldt [et al.] // *Progr. Colloid. Polym. Sci.* – 1998. – Vol. 109. – P. 260–269.
40. Xu X.-J. Nanoparticles of Polystyrene Latexes by Semi-continuous Microemulsion Polymerization Using Mixed Surfactants / X.-J. Xu [et al.] // *J. Nanosci. Nanotechnol.* – 2003. – Vol. 3, № 3. – P. 235–240.
41. Young L.J. Copolymerization parameters / L.J. Young // *J. Polym. Sci.* – 1961. Vol. 54, № 160. – P. 411–455.
42. Zaragoza-Contreras, E.A. On the role of an unconventional rigid rodlike cationic surfactant on the styrene emulsion polymerization. Kinetics, particle size and particle size distribution / E.A. Zaragoza-Contreras, D. Navarro-Rodríguez // *Polymer (Guildf)*. – 2003. – Vol. 44, № 19. – P. 5541–5546.

УДК 579.66:54.058

**УКРУПНЕННО-ЛАБОРАТОРНОЕ БАКТЕРИАЛЬНО-ХИМИЧЕСКОЕ
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ЗОЛОТА ИЗ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАКЫРЧИК**¹Канаев А.Т., ¹Баймырзаев К.М., ²Семенченко Г.В., ³Канаева З.К., ¹Советова Н.Ж.,
¹Токпаев К.М., ²Шемшеева Ж.Б., ¹Умирбекова Ж.Т., ¹Аманбаева У.И.¹Жетысуский государственный университет им. И. Жансугурова,
Талдыкорган, e-mail: ashim1959@mail.ru;²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы;³Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы

Установлено, что эффективность биовыщелачивания напрямую зависит от концентрации acidophilic бактерий. Чем плотнее титр бактерий, тем меньше требуется времени для воздействия бактерий на руду. Бактериальный раствор с численностью бактерий 10^{3-4} кл/мл начинает воздействовать на руду спустя пять суток биовыщелачивания, когда его концентрация достигает 10^{6-7} кл/мл. Бактериальные растворы с численностью бактерий 10^{6-7} и 10^{9-10} кл/мл начинают работать практически без задержки. Наблюдается прямая зависимость эффективности процесса биовыщелачивания руды от концентрации трехвалентного железа в реакционной зоне. Наиболее существенное влияние достигалось при содержании 10,0–11,0 г/л Fe^{3+} в среде. Последующее извлечение золота тиосульфатом в концентрации 20,0 г/л позволило извлечь 50,7% золота в раствор. При исследовании влияния плотности орошения бактериальным раствором на эффективность процесса биовыщелачивания максимальное воздействие на руду установлено при плотности орошения 300 г/л сутки при концентрации 8,0 г/л Fe^{3+} в среде. Последующее извлечение тиосульфатом позволило извлечь 40,7% золота. С учетом разработанных параметров проведены укрупненно-лабораторные испытания перколяционного извлечения золота с предварительным биовыщелачиванием и без него. Выщелачивание тиосульфатом с концентрацией 20,0 г/л и плотностью орошения 25,0 л/т, сутки позволило извлечь за 20 суток эксперимента 72,2% золота. В аналогичных экспериментах химического выщелачивания за этот же период выщелачивания извлечено 53,5% золота в раствор. Составлены рекомендации для промышленного извлечения золота кучным способом с использованием предварительного биовыщелачивания.

Ключевые слова: биовыщелачивание руды, месторождение Бакырчик, переработка, золото, укрупненно-лабораторные, извлечение

**BIOTECHNOLOGICAL LABORATORY TESTS ENLARGEMENT
EXTRACTION OF GOLD FROM ORES AND PRODUCTS
OF THEIR ENRICHMENT DEPOSIT BAKYRCHIK**¹Kanaev A.T., ¹Baymyrzaev K.M., ²Semenchenko G.V., ³Kanaeva Z.K., ¹Sovetova N.Zh.,
¹Tokpaev K.M., ²Shemsheeva Zh.B., ¹Umirbekova Zh.T., ¹Amanbaeva U.I.¹Zhetysu State University named after I. Zhansugurov, Taldykorgan, e-mail: ashim1959@mail.ru;²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty;³Kazakh National Technical Research University after K.I. Satpaev, Almaty

It was found that the efficiency of bioleaching depends on the concentration of acidophilic bacteria. If the titer of bacteria is denser, the less time required for exposure of the bacteria to the ore. After 5 days of bioleaching, when the concentration reaches 10^{6-7} cells/ml, a bacterial solution with the number of bacteria 10^{3-4} cells/ml starts to affect the ore. Bacterial solutions with a number of bacteria 10^{6-7} and 10^{9-10} cells/ml start working without delay. Here we can notice a direct dependence of the efficiency of the bioleaching process of the ore with the concentration of ferric iron in the reaction zone. The most significant impact was achieved when the content had 10,0–11,0 g/l Fe^{3+} in the environment. The subsequent extraction of gold by thiosulfate in a concentration of 20 g/l have been learned from 50.7% of the gold in the solution. In the study of the influence of the density of irrigation of the bacterial solution on the efficiency of the bioleaching process, the maximum impact on ore was installed at a density of irrigation of 300 g/l day at a concentration of 8,0 g/l Fe^{3+} in the environment. Subsequent extraction of thiosulfate has been learned from 40,7% gold. With the elaborate parameters there were conducted enlarged-laboratory tests percolations of the gold extraction with preliminary bioleaching and without it. Leaching by thiosulfate with a concentration of 20 g/l and density of an irrigation of 25 l/t*day it was allowed to extract 72,2% of the gold for 20 days of the experiment. In similar experiments of chemical leaching for the same period of leaching there was extracted 53,5% of gold in solution. There were made recommendations for the industrial extraction of gold by heap method using preliminary bioleaching.

Keywords: bioleaching of ore, Bakyrchik field, processing, gold, close-up laboratory, extraction

Основными направлениями современных разработок фундаментальных основ переработки золоторудного сырья за рубежом является поиск природосберегающих, ресурсосберегающих и комплексных под-

ходов для повышения эффективности существующих методов переработки различного золотосодержащего сырья.

Последние десятилетия характеризуются выдающимися достижениями био-

технологии, являющейся междисциплинарной областью знаний. Биовыщелачивание является одной из передовых технологий переработки руд, к преимуществам которой можно отнести малоотходность, экологическую чистоту, а также простоту в применении, особенно для переработки руд с низким содержанием драгоценных металлов [5]. Она позволяет экономить материалы и энергию и в будущем может заменить такие способы переработки минерального сырья, как обжиг, автоклавное выщелачивание, металлургическая плавка, которые загрязняют окружающую среду ядовитыми газами и токсичными химикатами. В практике биовыщелачивания используют различные микроорганизмы в зависимости от поставленных целей. Наибольшей популярностью пользуются ацидофильные тионовые бактерии из рода *Acidithiobacillus ferrooxidans*. В ряде стран биовыщелачивание с успехом используется для добычи ценных металлов [1, 10].

Несмотря на достаточно интенсивные разработки в области биотехнологий основные проблемы золотодобывающей промышленности усугубляются быстрее, чем решаются, по причине глобальной урбанизации и нерационального использования природных ресурсов. Основным недостатком этих исследований является отсутствие систематических фундаментальных работ по структурным и фазовым превращениям в многокомпонентных системах, содержащих благородные металлы, в связи с этим разработка биохимических технологий переработки руд двойной упрощенности остается актуальной.

Цель работы – разработка рекомендаций по использованию биовыщелачивания в технологическом цикле извлечения золота из руды месторождения Бакырчик.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлась золото-мышьяковистая руда, полученная из месторождения Бакырчик (Восточно-Казахстанская область). Химический состав руды определяли на атомно-эмиссионном спектрометре ICP-OES Perkin Elmer Optima 8000. Пробы руды предварительно разлагали в микроволновом пробоподготовщике Milestone Ethos EZ с использованием концентрированных соляной и азотной кислот при 300 °C и 1500 Вт. Определение содержания золота в жидкой фазе осуществляли атомно-абсорбционным спектрофотометром 6200 Shimadzu (Япония) [9]. В процессе наработки раствора биогенного Fe^{3+} на первой стадии в качестве инокулята был использован хемолитотрофный микроорганизм – *A. ferrooxidans*, выращенный в питательной среде Сильвермана – Люндгрена 9К [4] с 8,0 г/л Fe^{2+} . В качестве рабочего раствора трехвалентного железа (рабочего раствора) была выбрана концентрация Fe^{3+} 8,0 г/л как благопри-

ятная для жизнедеятельности бактерий [6]. Нарработку биогенного Fe^{3+} проводили при температуре 28 ± 1 °C в стеклянных емкостях объемом 1 л при соотношении объемов инокулята и свежей питательной среды Сильвермана и Люндгрена 9К с 8,0 г/л Fe^{2+} 1:10. Перемешивание пульпы осуществляли компрессором. В процессе исследований измеряли pH, Eh жидкой фазы пульпы с помощью pH-метра ЭВ-74. Количество бактериальных клеток определяли методом десятикратного разведения [8]. Концентрацию $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ в жидкой фазе определяли методом комплексонометрического титрования трилоном Б [3]. Для предварительной обработки руды использовали 2% серную кислоту, а химическое выщелачивание проводили тиосульфатом натрия с концентрацией 20 г/л.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования по переработке золото-мышьяковистых руд Бакырчикского месторождения методом кучного выщелачивания были выполнены в широком объеме в наших ранних исследованиях [2, 7]. В комплекс исследований входили следующие этапы:

- лабораторные исследования по статическому выщелачиванию материала с применением теоретически и практически выбранного растворителя;
- перколяционное выщелачивание руд в укрупненно лабораторных условиях с определением параметров и показателей процесса;
- изыскание эффективных способов переработки продуктивных растворов;
- выдача исходных данных по результатам лабораторных и укрупненных исследований для составления технологического регламента полупромышленных испытаний, проектирование опытного полигона и оценка экономической эффективности процесса.

Для составления рекомендаций по использованию биовыщелачивания в технологическом цикле извлечения золота из руды месторождения Бакырчик были проведены укрупненно-лабораторные исследования с учетом всех исследованных параметров этого процесса.

При определении параметров и показателей кучного выщелачивания руд Бакырчикского месторождения критерием эффективности служила максимальная степень извлечения золота из руды. Нами был изучен химический состав руды позволяющий выбрать наиболее рациональные методы выщелачивания. Биовыщелачивание проводили пробами с содержанием Au – 2,93 г/т; % Fe – 7,1; S – 6,3; As – 2,8; C – 1,45. В экспериментах использовали руду месторождения Бакырчик вышеприведенного химического состава в количестве 5,0 кг. В процессе выщелачивания рудных материалов обратили

внимание на их крупность, и на первичных стадиях данного процесса руда подвергалась сортировке для удаления пустой породы, не содержащей ценных компонентов. Таким образом, получена руда классом крупности «> 10 > 0,5 мм» – 99%. Кучное выщелачивание в лабораторных условиях проводили в перколяторах, которые представляют собой пластиковый цилиндр диаметром 150 мм и высотой 3000 мм, с коническим перфорированным днищем, со слоем легко проницаемой для раствора. Руду помещали в пластиковую колонку, располагая ее в следующем порядке: наиболее крупные куски находились в нижней части колонны, в верхней части размещали более мелкие частицы руды. В начале перколяционного выщелачивания проводили влагонасыщение руды путем замачивания обычной водой в течение 24 часов для повышения эффективности процесса.

Отметили начальную высоту слоя руды (H_1) и медленно наполнили тестовую колонку водой до уровня 50 мм выше слоя руды через дренажное отверстие на дне (для удаления воздуха из колонны). Затем закрыли дренажное отверстие и оставили на 24 часа, для «замачивания» руды и впитывания влаги. Во время проведения «замачивания» данной порции руды были отмечены следующие характерные изменения:

1) равномерное и быстрое смачивание руды;

2) незначительное разрушение гранул руды.

Полное намокание руды произошло сразу после подачи в тестовую колонку воды. После «замачивания» и дальнейшего обстукивания стенок тестовой колонны наблюдали падение высоты слоя руды (H_2) и (H_3) соответственно.

Для проведения перколяции открыли дренажное отверстие и измерили количество выходящего из него раствора в литрах за единицу времени (1 час) с помощью градуированной емкости, при этом поддерживали постоянный уровень раствора над поверхностью руды, добавляя воду в колонку. После проведения перколяции отметили конечную высоту слоя руды (H_4) (табл. 1). Затем последовательно провели еще 10 опытов по перколяции с этой же порцией руды.

Во время проведения опытов по перколяции отметили скопление крупных частиц руды в нижней части тестовой колонны, а более мелких – в верхней. Наличие взвеси наблюдали только в первой порции выходящего раствора, последующие растворы оставались прозрачными.

На основании полученных данных рассчитали изменение уровня высоты слоя руды после «замачивания», уплотнения и теста по перколяции по следующей формуле

$$\%Slump = \frac{(H_1 - H_n)}{H_1} \cdot 100, \quad (1)$$

где $Slump$ – изменение высоты слоя руды.

Затем рассчитали скорость перколяции ϑ , (л/час·м²):

$$\vartheta = \frac{V}{\tau \cdot S}, \quad (2)$$

где V – объем раствора (л), τ – время (час), S – площадь сечения колонны (м²).

Начальная высота слоя руды (H_1) составила 332 мм, высота слоя руды после «замачивания» (H_2) и дальнейшего обстукивания стенок тестовой колонны (H_3) была равна 280 мм и 244 мм соответственно. Изменение высоты слоя руды после «замачивания» и уплотнения $Slump, \%$ составила 15,7 и 26,5 соответственно.

Таблица 1
Перколяционные характеристики исходной руды (классом крупности «– 10 + 0,5 мм»)

№ п/п	H_4 , мм	$Slump$, % после перколяции	V , л	ϑ , л/час·м ²
1	241	27,4	0,52	105,1
2	241	27,4	0,46	93,1
3	240	27,7	0,40	79,6
4	240	27,7	0,49	97,9
5	240	27,7	0,44	88,3
6	240	27,7	0,45	91,1
7	240	27,7	0,67	122,6
8	240	27,7	0,34	68,4
9	240	27,7	0,65	129,7
10	240	27,7	0,30	61,3



Рис. 1. Тестовая колонна с исходной рудой с классом крупности « $-10 + 0,5$ мм»

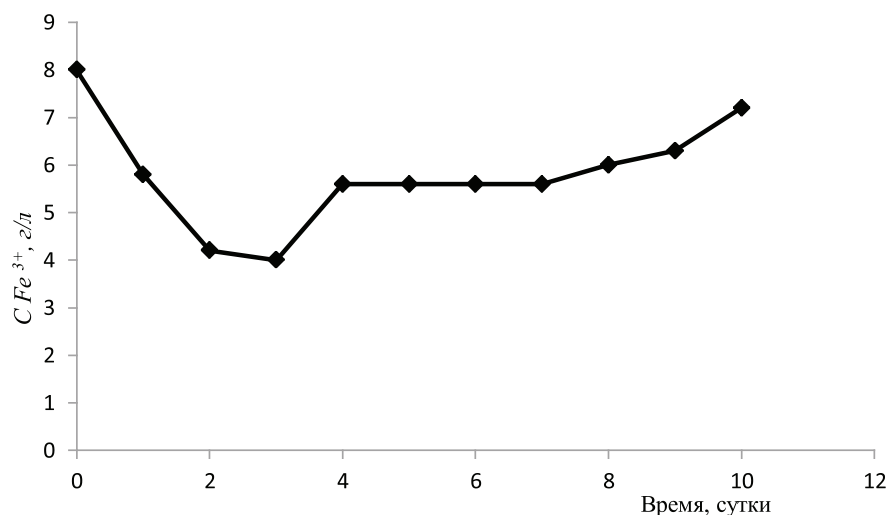


Рис. 2. Содержание трехвалентного железа в процессе биовыщелачивания руды (укрупненно-лабораторные испытания)

Результаты проведенных исследований по перколяции представлены в табл. 1.

Средняя скорость перколяции при классе крупности руды « $-10 + 0,5$ мм» составляет $86,49 \text{ л/час} \cdot \text{м}^2$. Влагонасыщение перколяторов в среднем составляло 332 мм.

Предобработку руды перед биовыщелачиванием проводили 2% H_2SO_4 до достижения pH 1,5–2,0. Расход серной кислоты для руды месторождения Бакырчик составил 55–60 г/кг руды. Процесс биовыщелачива-

ния проводили бактериальным раствором *Acidithiobacillus ferrooxidans* штамм 25, отличавшийся по ранее проведенным экспериментам наиболее высокой степенью разложения тиоцианатов. Поскольку для каждого вида руды характерны свои особенности, обусловленные определенным химическим и фазовым составом, то были предварительно выявлены оптимальные параметры выщелачивания, такие как концентрация растворителя, плотность орошения

и пауза между орошениями. Поскольку руда имела более мелкий класс крупности частиц, длительность эксперимента составляла 10 суток. Процесс биовыщелачивания проводили при плотности орошения 300 л/т, сутки, титром бактерий *A. ferrooxidans* 10^9 кл/мл и содержанием Fe^{3+} 8,0 г/л. Пауза между орошениями производилась каждые сутки. После биовыщелачивания испытуемая руда приобрела светло-коричневый цвет, что указывает на активное воздействие бактерий *A. ferrooxidans* (рис. 1). В течение всего эксперимента контролировали концентрацию трехвалентного железа в растворе, результаты которого представлены на рис. 2.

Как видим из рис. 2, в первые и во вторые сутки количество Fe^{3+} в выщелачивающемся бактериальном растворе интенсивно падает до 4,0 г/л. Динамика концентрации Fe^{3+} на 4–7 сутки биовыщелачивания стабилизировалась на уровне 5,5 г/л. Начиная с 8–10 суток содержание Fe^{3+} восстанавливается до 7,0 г/л. Соответственно, количество клеток *A. ferrooxidans* заметно уменьшается. Такой процесс связан с тем, что *A. ferrooxidans* активно участвует в окислительно-восстановительном процессе. То есть бактериальные клетки адсорбируются на поверхности рудных материалов.

Следующим этапом доизвлечения золота из золото-мышьяковистых руд Бақырчи-ка являлся тиосульфатное выщелачивание. Одним из перспективных растворителей благородных металлов является малотоксичный раствор тиосульфата натрия. Тиосульфаты – это соединения, содержащие группы $(\text{S}_2\text{O}_3)_2^-$, которые являются структурным аналогом сульфата, где один атом

кислорода замещён атомом серы. Уникальная химия иона тиосульфата, который имеет структуру $[\text{S}-\text{SO}_3]^{2-}$, определяется сульфидоподобным атомом серы, придающим ему восстановительные свойства, сильную способность к комплексообразованию, а также способность образовывать сульфиды.

После завершения биовыщелачивания с культурой *A. ferrooxidans* руду промывали водой, кислотность среды доводили до pH 8,0 и проводили химическое выщелачивание тиосульфатом натрия с концентрацией 20,0 г/л с плотностью орошения 25,0 л/т, сутки. Был исследован только первый этап выщелачивания – 20,0 суток. В контрольном варианте проводили рудоподготовку без биовыщелачивания. Результаты, представленные в табл. 2, показывают постепенное снижение концентрации золота в растворе, как в опытном, так и в контрольном вариантах. Более высокая концентрация золота практически во всех растворах после биовыщелачивания обеспечила к концу эксперимента увеличение извлечения золота на 18,7%. Кроме того, предварительное биовыщелачивание приводит к уменьшению длительности процесса.

Концентрация же мышьяка в растворах изменяется скачкообразно, без видимых закономерностей. Отмечено лишь значительное увеличение его концентрации в контрольном варианте к концу выщелачивания.

Процесс растворения золота в тиосульфате в присутствии кислорода протекает по реакции, аналогичной цианистому процессу:

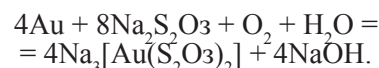


Таблица 2

Результаты укрупненно-лабораторных исследований по извлечению золота из руды месторождения Бақырчик

Длительность выщелачивания, сутки	Концентрация Au в растворе, мг/л		Концентрация As в растворе, г/л		Извлечение Au, %	
	ДБХВ	ХВ	ДБХВ	ХВ	ДБХВ	ХВ
1	2,799	1,644	3,635	8,825	21,7	15,9
4	3,1	1,912	0,782	4,496	26,0	16,7
6	0,797	0,614	0,661	2,691	6,6	5,8
8	0,464	0,46	1,892	3,123	3,6	3,6
12	0,404	0,464	2,318	11,66	3,4	3,2
15	0,292	0,463	4,113	4,769	2,4	3,0
18	0,243	0,35	3,998	43,1	1,8	2,8
22	0,156	0,276	5,22	21,24	1,3	2,5
					$\Sigma = 72,2$	$\Sigma = 53,5$

Примечание. * ДБХВ – Двухстадийное биохимическое выщелачивание, ХВ – Химическое (тиосульфатное) выщелачивание.

Термодинамическая вероятность приведённой реакции достаточно велика ($AG_0 = -96,5$ кДж/моль) и возрастает с повышением температуры.

Стойкость золото-тиосульфатного комплекса ($K_n = 4-10$) близка к стойкости золото-цианистого комплекса, комплекс не окисляется и не разлагается в кислой среде. Однако практическая реализация тиосульфатной технологии сталкивается с кинетическими препятствиями.

Таким образом, проведенные исследования по выбору оптимальных параметров и условий перколяционного выщелачивания руды Бакырчикского месторождения позволили определить наиболее оптимальный режим извлечения благородных металлов. Используя прием варьирования технологических параметров на различных этапах процесса: концентрации орошающего раствора, плотности орошения и применение определенных пауз, – можно регулировать выходные технологические показатели извлечения благородных металлов с учетом экономии расходных материалов и возможности осуществления последующих этапов переработки руды. В связи с тем, что в руде месторождения Бакырчик присутствуют сорбционно-активные углистые фракции, наиболее приемлемым способом ее переработки является бактериально-химический.

Список литературы

1. Башлыкова Т.В., Живаева А.Б., Дорошенко М.В. и др. Взаимодействие сульфидов и тионовых бактерий в различных условиях выщелачивания // Биотехнология: состояние и перспективы развития: матер. П Моск. междунар. конгресса. – М.: ЗАО ПИК Максима, 2003. – Ч. 2. – С. 243–251.
2. Булаев А.Г., Канаев А.Т., Канаева З.К., Кондратьева Т.Ф. Биоокисление упорных сульфидных золотых руд // Современные процессы комплексной и глубокой переработки труднообогатимого минерального сырья: материалы международного совещания (Плаксинские чтения – 2015) (Иркутск, 21–25 сентября 2015). – Иркутск, 2015. – С. 357–359.
3. Булаев А.Г., Пивоварова Т.А., Меламуд В.С., Цаплина И.А., Журавлева А.Е., Кондратьева Т.Ф. Полиморфизм штаммов *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*, доминирующих в процессах высокотемпературного окисления золотомышьякового концентрата // Микробиология. – 2011. – Т. 80, № 3. – С. 320–328.
4. Канаев А.Т. Методы биоготехнологии: методическое руководство. – Алматы, 2001. – С. 51.
5. Куликова О.В., Клец А.Н., Космухамбетов А.Р. Применение бактериального выщелачивания при вскрытии труднообогатимых золотосодержащих флотоконцентратов // Инновационные разработки в горно-металлургической отрасли: Материалы 6 Международной конференции, посвященной 20-летию независимости Республики Казахстан, проведенной в рамках 9 Международной выставки «MinTech-2011» (Усть-Каменогорск, 19 мая, 2011). – 2011. – С. 186–188.
6. Цаплина И.А., Журавлева А.Е., Григорьева Н.В., Белый А.В., Пивоварова Т.А., Булаев А.Г., Меламуд В.С., Кондратьева Т.Ф. Биоокисление золотосодержащего сульфидного концентрата при изменении физико-химических условий // Микробиология. – 2012. – Т. 81, № 3. – С. 314–324.
7. Kanayev A.T., Bulaev A.G., Semenchko G.V., Kanayeva Z.K., and Shilmanova A.A. Biooxidation of Gold-Bearing Sulfide Ore and Subsequent Biological Treatment of Cyanidation residues // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2016. – Vol. 52. – № 4. – P. 397–405.
8. Kondrat'eva Tamara F., Pivovarova Tatiana A., Bulaev Alexandr G., Melamud Vitaliy S., Muravyov Maxim I., Usolcev Alexey V., Vasil'ev Evgeniy A. Percolation bioleaching of copper and zinc and gold recovery from flotation tailings of the sulfide complex ores of the Ural region, Russia // Hydrometallurgy. – 2012. – Vol. 111–112. – № 1. – P. 82–86.
9. Shigehiro Kagaya, Yusaku Hosomori, Hidekazu Arai and Kiyoshi Hasegawa Determination of Cadmium in River Water by Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry after Internal Standardization-Assisted Rapid Coprecipitation with Lanthanum Phosphate//Analytical Sciences – 2003. – № 7. – P. 1061–1064.
10. Spasova I.I., Nicolova M.V., Georgiev P.S., Groudev S.N. Bacterial pretreatment of a gold-bearing pyrite/arsenopyrite concentrate for improving the subsequent gold extraction: Proceedings of the 14 Balkan Mineral Process Congress (Tuzla, 14–16 June, 2011). – 2011. – Vol. 2. – P. 600–603.

УДК [612.118.22 + 576.314 + 57.085.2]:547.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИТОТОКСИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ХЛОРОФИЛЛА α В ОТНОШЕНИИ КЛЕТОК КРОВИ**¹Криштоп В.В., ¹Пахрова О.А., ^{1,2,3}Кустов А.В., ⁴Худяева И.С., ⁴Белых Д.В., ^{2,3}Макаров В.В., ²Кручин С.О., ³Березин Д.Б.**¹ФГБОУ ВО «Ивановская государственная медицинская академия» Минздрава России, Иваново, e-mail: chrishtop@isma.ivanovo.ru;²ФГБУН «Институт химии растворов им. Г.А. Крестова» Российской академии наук, Иваново;³Научно-исследовательский институт макрогетероциклов ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново;⁴ФГБУН «Институт химии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар

С использованием современного подхода к оценке биологических эффектов новых химических соединений проведено исследование цитотоксических свойств потенциальных фотосенсибилизаторов (ФС) хлоринового типа в отношении клеток крови *in vitro*. Для этого инкубировали цельную кровь белых крыс с исследуемыми веществами в концентрациях 10^{-4} , $5 \cdot 10^{-4}$, 10^{-3} и $5 \cdot 10^{-3}$ моль/кг в течение 0,5; 1; 2; 3 и 4 часов и определили поверхностную цитоархитектонику эритроцитов. Обнаружен последовательный рост темновой токсичности макрогетероциклов в отношении эритроцитов в исследуемом ряду соединений при переходе от незаряженного фотосенсибилизатора к соединениям, несущим соответственно одну, две и три полярных катионных группы. Очевидно, все рассматриваемые ФС в ходе эксперимента проникают через клеточные мембраны эритроцитов, при этом более полярные молекулы, накапливаясь в цитозоле клетки, проявляют более высокую цитотоксичность.

Ключевые слова: фотосенсибилизаторы, цитотоксичность, цитоархитектоника эритроцитов, *in vitro***CYTOTOXIC PROPERTIES OF CHEMICALLY MODIFIED CHLOROPHYLL α DERIVATIVES AGAINST BLOOD CELLS****¹Krishtop V.V., ¹Pakhrova O.A., ^{1,2,3}Kustov A.V., ⁴Khudyaeva I.S., ⁴Belykh D.V., ^{2,3}Makarov V.V., ²Kruchin S.O., ³Berezin D.B.**¹Federal State Budgetary Institution of Higher Professional Education «Ivanovo State Medical Academy» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Ivanovo, e-mail: chrishtop@isma.ivanovo.ru;²G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Ivanovo;³Research Institute of Chemistry of Macroheterocyclic Compounds of Federal State Budgetary Institution of Higher Professional Education «Ivanovo State University of Chemistry and Technology», Ivanovo;⁴Institute of Chemistry of Komi scientific center of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktывкар

Using a modern approach to the evaluation of the biological effects of new chemical compounds the cytotoxic properties of potential photosensitizers (PS) of chlorin type with regard to blood cells are studied *in vitro*. For this purpose, whole blood of white rats was incubated with the test substances in concentrations of 10^{-4} , $5 \cdot 10^{-4}$, 10^{-3} and $5 \cdot 10^{-3}$ mol/kg for 0,5, 1, 2, 3 and 4 hours and the surface cytoarchitectonics of erythrocytes was determined. Consistent growth of macroheterocycles dark toxicity against red blood cells was detected in the series of compounds studied on going from an uncharged photosensitizer to compounds, bearing one, two or three polar cationic groups, respectively. Obviously, all the considered in an experiment PSs, penetrate cell membranes of erythrocytes, meantime, the more polar molecules accumulated in the cell cytosol exhibit greater cytotoxicity.

Keywords: photosensitizers, cytotoxicity, cytoarchitectonics of erythrocytes, *in vitro* study

Фотодинамическая терапия (ФДТ) и связанная с ней флуоресцентная диагностика (ФД) представляют собой принципиально новую стратегию обнаружения и лечения ряда заболеваний, основанную на накоплении в патологических клетках особых веществ – фотосенсибилизаторов (ФС), что позволяет визуализировать их в режиме реального времени и эффектив-

но разрушать путем запуска каскада фотохимических реакций с помощью видимого света [11–13, 15]. К настоящему времени в клинической практике используется множество ФС для диагностики и лечения онкологических заболеваний, бактериальных инфекций, псориаза и т.д. [11, 12]. Большинство препаратов представляют собой малотоксичные водорастворимые субстанции,

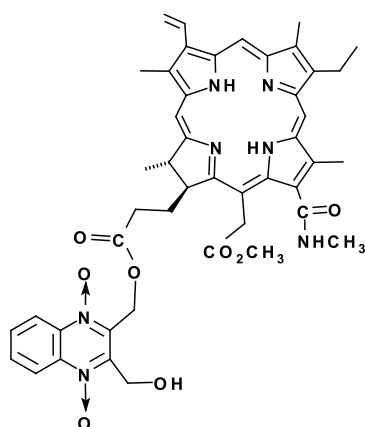
обычно вводимые в организм внутривенно капельно в дозе 0,5–2,5 мг/кг веса либо аппликационно непосредственно в очаг воспаления. Основным побочный эффект при проведении ФДТ – достаточно длительный период остаточной фототоксичности [12, 14]. Вследствие этого пациентам рекомендуется после проведения сеанса избегать воздействия прямых солнечных лучей на открытые участки кожи от нескольких дней до двух и более месяцев в зависимости от использованного ФС [11, 12].

Что касается каких-либо системных эффектов, связанных с токсическим воздействием ФС на организм в целом, многочисленные исследования указывают на крайне малую токсичность используемых препаратов [11, 13, 15]. В частности, один из наиболее часто используемых ФС хлоринового ряда «Фотолон» имеет величину летальной дозы LD_{50} порядка 200 мг/кг веса, что почти в 100 раз выше максимально используемых доз при проведении

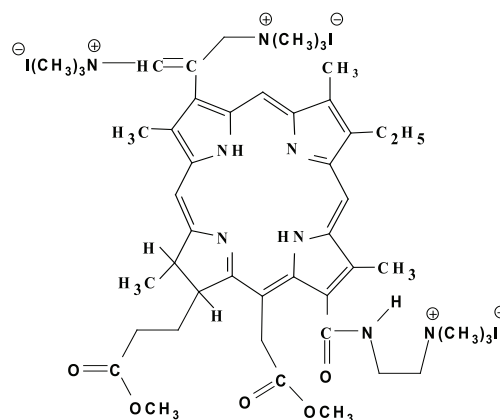
ФДТ. Тем не менее информация о взаимодействии как самих ФС, так и используемых при приготовлении их лекарственных форм различных добавок с биообъектами важна для оценки токсичности и взаимодействия с биомембранами [1].

Ранее [2, 5, 14] нами был получен и протестирован ряд растворимых в воде или водных растворах ПАВ ФС хлоринового типа (соединения I–IV), обладающих значительной фототоксичностью в отношении как грамположительных, так и грамотрицательных микроорганизмов при культивировании последних в жидких средах с содержанием фотосенсибилизатора $5 \cdot 10^{-5}$ – $1 \cdot 10^{-3}$ моль/кг и облучении видимым светом с плотностью энергии 40 Дж/см² и длиной волны 660 нм.

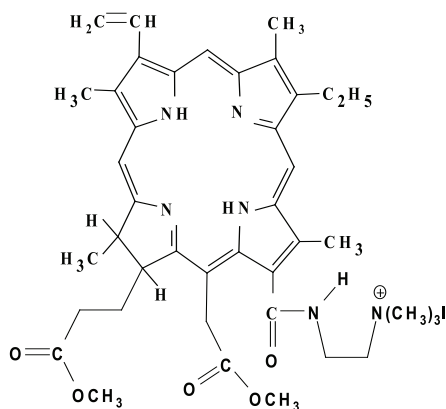
Полученные результаты позволили предложить исследованные соединения в качестве потенциальных ФС для борьбы с различными, в том числе резистентными к антибиотикам, штаммами микроорганизмов.



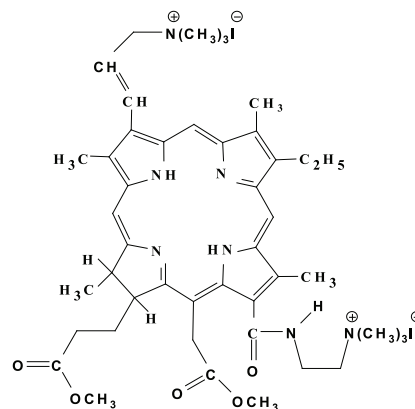
I



II



III



IV

В моделях культуры тканей или при моделировании *in vivo* разнообразие экспрессируемых участков генома клеточных диферонов, а как следствие, и тканеспецифичные особенности метаболизма, обуславливают широкий спектр цитотоксических проявлений воздействия экзогенных химических агентов. В связи с этим мембрана эритроцитов рассматривается в качестве удобной интегральной модели строения, свойств и типовых реакций плазматических мембран клеток различных тканей и органов человека. Структурно-функциональное состояние мембран эритроцитов является чутким маркером различных неблагоприятных воздействий на организм [6, 7, 9].

Цель исследования

Оценить вероятное защитное действие и темновую токсичность ряда заряженных и незаряженных производных хлорофилла α на клетки крови *in vitro*.

Материалы и методы исследования

В работе использовался современный подход к оценке биологических эффектов новых химических соединений путем тестирования веществ на клетках крови *in vitro*.

В качестве объектов исследования выступали четыре потенциальных фотосенсибилизатора: 13(1)-N-метиламид, 17(3)-[2,3-дигидроксиметил-1,4-хиноксалиниловый эфир] хлорина e_6 (I), 3(1),3(2)-бис-(N'N'N'''-триметиламинометил)-13(1)-(N'N'N'''-триметиламиноэтил)амид хлорина e_6 триодид (II), 13(1)-(N'N'N'''-триметиламиноэтил) амид хлорина e_6 йодид (III) и 3(1),3(2)-бис-(N'N'N'''-триметиламинометил)-13(1)-N-метиламид хлорина e_6 дийодид (IV). Соединения были синтезированы, очищены и спектрально идентифицированы в соответствии с методиками, представленными в работах [11, 15].

Растворы макрогетероциклов I–IV в 0,9 % водном растворе NaCl, содержащем от 1 до 3 массовых процентов ТВИН 80 (Panreac, EU), готовили следующим образом: растворяли навески ФС и солюбилизатора в легколетучем органическом растворителе, затем с целью повышения растворимости ФС в воде через включение его в мицеллу ПАВ, сосаждали компоненты раствора путем полного выпаривания растворителя; полученную матрицу растворяли в изотоническом растворе NaCl.

Цельную кровь белых крыс инкубировали с исследуемыми веществами в исходной концентрации (до разбавления) 10^{-4} , $5 \cdot 10^{-4}$, 10^{-3} и $5 \cdot 10^{-3}$ моль/кг в течение 0,5, 1, 2, 3 и 4 часов, причем в каждом случае к 1 мл крови прибавляли 0,5 мл раствора фотосенсибилизатора, после чего определяли поверхностную цитоархитектонику эритроцитов.

Для исследования цитоархитектоники клеток кровь фиксировали в 1%-ном растворе глутарового альдегида («Fluka», Switzerland). Затем, после 24-часовой фиксации при температуре + 4°C готовился препарат «раздавленная капля». Подсчет клеток производился в процентах на 200 эритроцитов с использованием фазово-контрастного устройства светового микроскопа под иммерсией. Использовалась классификация, предложенная Г.И. Козинцом с соавторами [4]. Согласно этой классификации эритроциты подразделяли на десять классов:

- 1) дискоцит;
- 2) дискоцит с одним выростом;
- 3) дискоцит с гребнем;
- 4) дискоцит с множественными выростами (эхиноцит);
- 5) сфероцит с шипиками на поверхности;
- 6) куполообразный эритроцит (стоматоцит);
- 7) сфероцит с гладкой поверхностью;
- 8) эритроцит в виде «спущенного мяча»;
- 9) дегенеративные формы эритроцитов;
- 10) «тени» эритроцитов.

Первые четыре класса эритроцитов (с признаками эхиноцитарной трансформации) принято считать обратимо деформированными, так как эти клетки способны спонтанно восстанавливать форму. Остальные классы эритроцитов относятся к группе необратимо деформированных или предгемолитических форм.

Таблица 1

Концентрационно-временная динамика показателей поверхностной цитоархитектоники эритроцитов при инкубации крови с водным раствором, содержащим 0,9 % NaCl + 1–3 % ТВИН 80 (далее – растворитель)

Время инкубации, ч	0	0,5	1	2	3	4
Дискоциты	57	0	0	4	50	19
С одним выростом	7	0	0	0	4	0
С гребнем	0	0	0	0	0	0
Эхиноциты	27	0	10	69	24	4
Сферозхиноциты	2	100	90	26	5	0
Стоматоциты	5	0	0	1	1	32
Сфероциты	0	0	0	0	15	15
«Спущенный мяч»	1	0	0	0	0	0
Дегенеративные	1	0	0	0	1	4
«Тени»	0	0	0	0	0	26

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенного исследования *in vitro* выявлено, что при инкубации крови с растворителем в отсутствие фотосенсибилизатора в первые полчаса все клетки приобретали форму сфероэхиноцитов; далее, в течение 3 часов инкубации, форма клеток постепенно восстанавливалась, но через 4 часа наблюдалась стоматоцитарная трансформация с появлением сфероцитов и «теней» эритроцитов (см. табл. 1).

По всей видимости, четырех часовая инкубация приводила к старению клеток, уменьшению образования АТФ в ходе метаболизма глюкозы. Результатом этого процесса явилось ухудшение транспорта катионов, уменьшение восстановительного потенциала в клетке, снижение защиты эритроцита от окисления, мембрана теряла сиаловые кислоты, что вызывало потерю эластичности и изменение формы клетки вплоть до сферуляции [8].

В ходе исследования установлено, что образец соединения I в концентрации 10^{-4} моль/кг в первые три часа инкубации оказывал защитное цитопротективное действие, что подтверждается увеличением содержания в крови дискоцитов за счет снижения клеток эхиноцитарного ряда (см. табл. 2). Однако к 4 часу инкубации этот эффект исчезает, снижается количество

дискоцитов и увеличивается процент необратимомодифицированных форм. Вероятно, это связано с повреждающим действием «старения» на эритроциты. В больших концентрациях ($5 \cdot 10^{-4}$ и 10^{-3} моль/кг) ФС I оказывал защитное действие на эритроциты в течение первого часа инкубации, снижая эхиноцитарную трансформацию, вызываемую растворителем. Начиная со 2 часа инкубации наблюдался рост стоматоцитов, а к окончанию наблюдения в крови появлялись сфероциты и «тени» эритроцитов, что говорит о появлении гемолитической направленности изменения цитоархитектоники эритроцитов. Самая высокая концентрация ($5 \cdot 10^{-3}$ моль/кг) приводила к резкому снижению числа дискоцитов в крови через полчаса инкубации в основном за счет необратимой трансформации, в дальнейшем число эхиноцитов снижалось, а процент стоматоцитов и особенно сфероцитов повышался. К 4 часу инкубации практически все клетки были необратимомодифицированными. Таким образом, образец ФС I в самой низкой концентрации обладает защитным цитопротекторным эффектом в отношении эритроцитов. Более высокие концентрации вызывают отсроченную стоматоцитарную трансформацию клеток, которая в максимальной концентрации вещества приводит к практически полной необратимой трансформации клеток.

Таблица 2

Концентрационно-временная динамика показателей поверхностной цитоархитектоники эритроцитов при инкубации крови в присутствии соединения I

Время инкубации, ч	0	0,5	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7
10^{-4}						
Дискоциты	57	68	85	92	92	79
С одним выростом	7	7	3	3	3	2
С гребнем	0	2	1	1	0	0
Эхиноциты	27	18	7	2	2	0
Сфероэхиноциты	2	0	0	0	0	0
Стоматоциты	5	3	3	1	3	13
Сфероциты	0	0	0	0	0	0
«Спущенный мяч»	1	0	0	0	0	3
Дегенеративные	0	2	1	1	0	3
«Тени»	0	0	0	0	0	0
$5 \cdot 10^{-4}$						
Дискоциты	57	15	42	64	49	20
С одним выростом	7	3	4	3	2	0
С гребнем	0	0	0	1	1	0
Эхиноциты	27	66	48	8	10	9
Сфероэхиноциты	2	12	2	0	0	0

Окончание табл. 2						
1	2	3	4	5	6	7
Стоматоциты	5	2	1	23	35	59
Сфероциты	0	0	0	0	0	7
«Спущенный мяч»	1	0	0	0	1	3
Дегенеративные	0	2	3	1	2	2
«Тени»	0	0	0	0	0	0
10^{-3}						
Дискоциты	57	16	24	44	31	12
С одним выростом	7	6	1	3	3	0
С гребнем	0	0	0	1	2	0
Эхиноциты	27	57	43	14	21	4
Сферозхиноциты	2	18	31	0	7	0
Стоматоциты	5	1	1	35	28	62
Сфероциты	0	0	0	0	3	10
«Спущенный мяч»	1	0	0	1	2	2
Дегенеративные	0	2	0	2	0	4
«Тени»	0	0	0	0	3	6
$5 \cdot 10^{-3}$						
Дискоциты	57	23	23	7	8	6
С одним выростом	7	3	1	0	1	0
С гребнем	0	0	1	1	1	1
Эхиноциты	27	27	15	8	11	2
Сферозхиноциты	2	15	8	4	7	2
Стоматоциты	5	11	15	5	17	33
Сфероциты	0	19	36	72	52	42
«Спущенный мяч»	1	1	0	1	1	2
Дегенеративные	0	1	1	2	0	4
«Тени»	0	0	0	0	2	8

Примечание. Реальная концентрация фотосенсибилизатора, а также компонентов растворителя в растворе крови понижалась за счет разбавления системы «растворитель – кровь» в соотношении 1÷2.

Таблица 3

Концентрационно-временная динамика показателей поверхностной цитоархитектоники эритроцитов при инкубации крови в присутствии соединения II

Время инкубации, ч	0	0,5	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7
10^{-4}						
Дискоциты	66	3	18	51	36	13
С одним выростом	8	0	2	3	5	0
С гребнем	1	0	0	0	1	2
Эхиноциты	21	18	44	30	27	6
Сферозхиноциты	0	79	36	10	7	0
Стоматоциты	2	0	0	5	14	31
Сфероциты	0	0	0	0	5	14
«Спущенный мяч»	0	0	0	0	0	0
Дегенеративные	2	0	0	1	2	5
«Тени»	0	0	0	0	3	29
$5 \cdot 10^{-4}$						
Дискоциты	66	8	27	15	8	3
С одним выростом	8	2	0	0	1	0
С гребнем	1	0	1	0	1	0

Окончание табл. 3						
1	2	3	4	5	6	7
Эхиноциты	21	47	11	5	7	3
Сферозехиноциты	0	41	11	1	1	0
Стоматоциты	2	1	16	10	17	22
Сфероциты	0	0	31	63	61	51
«Спущенный мяч»	0	0	0	0	0	0
Дегенеративные	2	1	2	2	2	4
«Тени»	0	0	1	4	2	17
10^{-3}						
Дискоциты	66	65	73	50	16	6
С одним выростом	8	6	2	4	1	0
С гребнем	1	0	0	1	0	0
Эхиноциты	21	27	20	24	2	2
Сферозехиноциты	0	0	2	1	0	0
Стоматоциты	2	2	1	16	38	19
Сфероциты	0	0	0	0	35	33
«Спущенный мяч»	0	0	0	0	0	0
Дегенеративные	2	0	2	4	3	6
«Тени»	0	0	0	0	5	34
$5 \cdot 10^{-3}$						
Дискоциты	66	68	61	37	6	0
С одним выростом	8	0	1	0	0	0
С гребнем	1	1	0	1	0	0
Эхиноциты	21	4	1	0	3	0
Сферозехиноциты	0	0	0	0	0	0
Стоматоциты	2	26	31	20	28	12
Сфероциты	0	0	4	11	0	10
«Спущенный мяч»	0	0	1	0	3	0
Дегенеративные	2	1	1	1	0	0
«Тени»	0	0	0	30	60	78

Таблица 4

Концентрационно-временная динамика показателей поверхностной цитоархитектоники эритроцитов при инкубации крови в присутствии соединения III

Время инкубации, ч	0	0,5	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7
10^{-4}						
Дискоциты	68	7	21	42	26	14
С одним выростом	5	1	7	5	1	0
С гребнем	1	0	0	3	3	0
Эхиноциты	23	32	36	11	6	3
Сферозехиноциты	0	59	22	10	8	0
Стоматоциты	2	1	0	21	31	45
Сфероциты	0	0	14	8	9	26
«Спущенный мяч»	0	0	0	0	0	0
Дегенеративные	1	0	0	0	2	4
«Тени»	0	0	0	2	12	8
$5 \cdot 10^{-4}$						
Дискоциты	68	2	0	3	8	29
С одним выростом	5	0	0	0	1	0
С гребнем	1	0	0	0	2	1

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
Эхиноциты	23	5	11	14	20	9
Сферозехиноциты	0	92	87	83	62	5
Стоматоциты	2	0	0	0	2	12
Сфероциты	0	0	0	0	0	36
«Спущенный мяч»	0	0	0	0	0	0
Дегенеративные	1	1	2	0	2	1
«Тени»	0	0	0	0	3	7
10^{-3}						
Дискоциты	68	0	0	0	2	9
С одним выростом	5	0	0	0	0	0
С гребнем	1	0	0	1	1	0
Эхиноциты	23	0	8	10	7	4
Сферозехиноциты	0	81	49	58	5	0
стоматоциты	2	0	0	7	46	12
Сфероциты	0	19	41	21	13	31
«Спущенный мяч»	0	0	0	0	2	4
Дегенеративные	1	0	0	0	0	3
«Тени»	0	0	2	3	24	37
$5 \cdot 10^{-3}$						
Дискоциты	68	0	0	0	0	2
С одним выростом	5	0	2	2	0	0
С гребнем	1	0	0	2	0	1
Эхиноциты	23	0	27	10	7	2
Сферозехиноциты	0	23	35	12	26	8
Стоматоциты	2	0	3	31	28	21
Сфероциты	0	77	33	42	19	25
«Спущенный мяч»	0	0	0	0	7	0
Дегенеративные	1	0	0	0	3	6
«Тени»	0	0	0	3	10	35

Соединение II уже в низких концентрациях (10^{-4} и $5 \cdot 10^{-4}$ моль/кг) вызывало существенные изменения поверхностной цитоархитектоники эритроцитов (см. табл. 3). Через 0,5 часа инкубации процент дискоцитов в крови падал практически до нуля за счет эхиноцитарной трансформации. Далее (через 1–2 часа) число дискоцитов повышалось, эхиноцитарная трансформация сменялась стоматоцитарной за счет противоположных эффектов фотосенсибилизатора и растворителя.

Спустя 3–4 часа в инкубируемой крови преобладали стоматоциты, сфероциты и появлялись гемолизированные эритроциты. Более высокие концентрации образца II (10^{-3} и $5 \cdot 10^{-3}$ моль/кг) не вызывали снижение числа эритроцитов и изменение поверхностной цитоархитектоники в течение 1–2 часов инкубации, вероятно, в результате антагонистического действия стоматоцитарной направленности ФС II и эхиноци-

тарным эффектом действия растворителя, а затем концентрация дискоцитов резко падала. К четвертому часу эксперимента в крови практически не было нормальных клеток, присутствовали в основном предгемолитические формы, а в образце с наибольшей концентрацией – «тени» эритроцитов. Таким образом, фотосенсибилизатор II не оказывал защитного действия относительно эффекта растворителя, его повреждающее действие на эритроциты связано с выраженной стоматоцитарной трансформацией, которая при низких концентрациях ФС II противодействовала эхиноцитарному эффекту растворителя и временно замедляла трансформацию клеток. Более высокие концентрации этого вещества вызывали сильный цитотоксический эффект гемолитической направленности.

При исследовании *in vitro* цитотоксического влияния фотосенсибилизатора III обнаружено, что в минимальной концен-

трации его действие аналогично образцу II (см. табл. 3, 4). Однако при более высоком содержании это вещество вызывает снижение числа дискоцитов вплоть до их полного отсутствия в образцах. При этом трансформация клеток крови в пробе с концентрацией вещества $5 \cdot 10^{-4}$ моль/кг в течение 3 часов инкубации шла по эхиноцитарному пути и лишь на четвертый час наблюдалось увеличение стоматоцитов и сфероцитов (эффект старения). В образцах с концентрацией вещества 10^{-3} и $5 \cdot 10^{-3}$ моль/кг стоматоцитарная трансформация появлялась позже (с двух часов инкубации) и менее выраженная, чем в образце II. При этом предгемолитические клетки (сфероциты) появлялись уже через полчаса, однако степень гемолизированных эритроцитов («тени») к окончанию наблюдения была значительно ниже, чем в пробе с образцом II. Таким образом, ФС III не обладает защитным цитопротективным действием, его токсическое влияние связано с эхиноцитарной трансформацией, усугубляющей действие растворителя, которое приводит к ранним гемолитическим изменениям, однако они развиваются медленнее, чем в образце с ФС II.

Инкубация крови с образцом IV в наименьшей концентрации вызывала в первый

час изменение формы эритроцитов, сходные с таковыми у образцов II и III; в дальнейшем, как и в случае с соединением III, трансформация в основном сопровождалась появлением стоматоцитов и сфероцитов (см. табл. 3–5). Следующие концентрации ($5 \cdot 10^{-4}$ и 10^{-3} моль/кг) приводили к аналогичным изменениям цитоархитектоники эритроцитов с небольшим перераспределением форм клеток в сторону сферозхиноцитарной трансформации и увеличением сфероцитоза, при этом клеток стоматоцитарного ряда наблюдалось незначительное количество. Максимальная концентрация исследуемого вещества ($5 \cdot 10^{-3}$ моль/кг) вызывала наибольший цитотоксический эффект: уже через 1 час инкубации почти половина клеток гемолизировалась, а спустя 2 часа все эритроциты разрушились. Таким образом, ФС IV так же, как и образец соединения III, не оказывал цитопротекторного действия на клетки крови и вызывал эхиноцитарную трансформацию клеток с последующей сферуляцией. Однако в рабочих концентрациях $5 \cdot 10^{-4}$ и 10^{-3} моль/кг цитотоксический эффект был несколько меньше, чем при инкубации с ФС III, а в максимальной концентрации, напротив, его гемолитическая активность была наибольшей.

Таблица 5

Концентрационно-временная динамика показателей поверхностной цитоархитектоники эритроцитов при инкубации крови в присутствии соединения IV

Время инкубации, ч	0	0,5	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7
10^{-4}						
Дискоциты	71	9	25	8	7	3
С одним выростом	9	1	4	0	2	0
С гребнем	2	0	2	1	1	1
Эхиноциты	13	47	30	8	18	14
Сферозхиноциты	0	35	15	12	25	14
Стоматоциты	4	3	3	8	8	12
Сфероциты	0	3	19	55	33	53
«Спущенный мяч»	0	0	0	0	0	0
Дегенеративные	1	2	2	3	3	1
«Тени»	0	0	0	5	3	2
$5 \cdot 10^{-4}$						
Дискоциты	71	4	9	7	3	6
С одним выростом	9	2	1	1	0	1
С гребнем	2	0	0	1	0	1
Эхиноциты	13	39	13	12	14	8
Сферозхиноциты	0	52	44	20	30	2
Стоматоциты	4	1	8	1	7	8
Сфероциты	0	0	24	56	40	72

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7
«Спущенный мяч»	0	1	0	0	0	0
Дегенеративные	1	1	1	0	2	0
«Тени»	0	0	0	2	4	2
10^{-3}						
Дискоциты	71	15	15	2	10	2
С одним выростом	9	0	1	1	1	1
С гребнем	2	0	0	2	1	1
Эхиноциты	13	29	22	10	21	3
Сферозехиноциты	0	50	19	24	18	4
Стоматоциты	4	4	2	8	9	16
Сфероциты	0	0	40	49	36	70
«Спущенный мяч»	0	0	0	0	0	0
Дегенеративные	1	2	1	0	1	1
«Тени»	0	0	0	4	3	2
$5 \cdot 10^{-3}$						
Дискоциты	71	54	15	0	0	0
С одним выростом	9	3	1	0	0	0
С гребнем	2	3	4	0	0	0
Эхиноциты	13	14	9	0	0	0
Сферозехиноциты	0	0	0	0	0	0
Стоматоциты	4	21	17	0	0	0
Сфероциты	0	3	9	0	0	0
«Спущенный мяч»	0	0	0	0	0	0
Дегенеративные	1	2	3	0	0	0
«Тени»	0	0	41	100	100	100

Характер липофильных свойств рассматриваемых соединений, безусловно, является одной из ведущих причин особенностей их трансформирующих воздействий на клеточную оболочку. Как прямое повреждение, так и перераспределение фосфолипидов мембраны по принципу «флип-флопа» определяет не только выбор пути, но и скорость деструкции элементов цитомембраны, что наблюдалось в нашем эксперименте. Кроме того, исследуемые соединения (кроме первого) имеют положительные заряды, способные взаимодействовать с отрицательно заряженными фрагментами белков и сиаловых кислот мембран. Рассматриваемые агенты, соединяясь с мембранными структурами, могут вызывать перегруппировку или агрегацию мембранных белков, изменяя фосфорилирование протеидов и ионное равновесие (накопление Ca^{2+} в цитоплазме благодаря угнетению Ca^{2+} -АТФ-азы). Ионы Ca^{2+} вызывают снижение стабильности мембран эритроцитов, меняя характер межмолекулярных взаимодействий белков цитоскелета, что сопровождается разрушением асим-

метрии фосфатидилсерина в мембранах эритроцитов. Повышение входа Ca^{2+} в эритроциты, как известно, сопровождается Гардош-эффектом, т.е. компенсированным выходом K^{+} и сморщиванием клеток [10].

Результаты исследования темновой токсичности синтезированных хлоринов e_6 I–IV позволяют сделать следующие заключения:

1. Соединение II обладает самым высоким цитотоксическим эффектом в рабочих концентрациях, по механизму действия вызывает стоматоцитарную трансформацию эритроцитов, противоположную эффектам растворителя без ФС. Спустя два часа происходит суммация токсических эффектов, что выражается в глубоком массивном разрушении клеток к концу последнего часа инкубации. Рост цитотоксической активности данного соединения при повышении его концентрации происходит менее интенсивно, чем у соединения IV.

2. Соединение IV в максимальной концентрации обладает самым выраженным мембраноповреждающим действием, однако в рабочих концентрациях ($5 \cdot 10^{-4}$ и 10^{-3} моль/кг) приводит к росту обратимых

форм трансформации мембран эритроцитов, что закономерно сопровождается торможением процесса разрушения клеток.

3. Соединение III проявляет цитотоксический эффект очень рано, начиная с 30 минут эксперимента, однако в последующем разрушение клеток значительно тормозится.

4. Изменения, вызванные присутствием соединения I, характеризуются двухфазностью: после 2-часовой инкубации цитотоксические эффекты были аналогичны действию соединения III, но менее выражены; до 2 часов инкубации это соединение проявляло, по-видимому, цитопротекторный эффект по отношению к перестройкам, вызванным действием солюбилизирующей добавки ТВИН 80, содержащейся в растворе. Вышеописанные изменения были характерны для низких концентраций соединения I.

5. По цитотоксическому эффекту исследованные фотосенсибилизаторы можно расположить следующим образом: максимальным цитотоксическим эффектом обладают соединения II и IV. Минимальный токсический эффект имеют ФС I и III, кроме того, первое соединение обладает кратковременным цитопротекторным действием. Последовательный рост темновой токсичности макрогетероциклов в отношении клеток крови в ряду соединений $I < III < IV < II$, то есть при переходе от незаряженного ФС к соединениям, несущим соответственно одну, две и три полярных катионных группы. Можно предположить, что все рассматриваемые фотосенсибилизаторы в ходе эксперимента проникают через клеточные мембраны эритроцитов с различной скоростью, при этом более полярные молекулы, накапливаясь в цитозоле клетки, проявляют более высокую цитотоксичность.

Токсикологический эффект фотосенсибилизаторов на клетки крови *in vitro* носит локальный характер, поэтому в дальнейшем требуется оценка их цитотоксичности в остром эксперименте на животных. Рекомендуется применение ФС в тех концентрациях, при которых они оказывают защитное цитопротекторное действие в отношении клеток или обладают наименьшей мембраноповреждающей активностью.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (соглашение № 15-13-00096).

Список литературы

1. Белых Д.В. Фотоповреждение эритроцитарной мембраны, сенсибилизируемое производными хлорофилла а: некоторые закономерности «структура-активность» [Текст] / Д.В. Белых, О.Г. Шевченко, И.С. Тарабукина // Макрогетероциклы. – 2014. – Т. 7, № 1. – С. 79–87.
2. Белых Д.В., Худяева И.С., Старцева О.М. и др. Новые сенсибилизаторы для фотодинамической антибактериальной терапии: синтез и исследование антимикробной активности. // Фундаментальные химические исследования XXI-го века: тезисы докл. научной конференции грантодержателей РФ. – Москва, 2016. – С. 322–323.
3. Гущина О.И. Синтез катионных производных хлорина e_6 [Текст] / О.И. Гущина, Е.А. Ларкина, А.Ф. Миронов // Макрогетероциклы. – 2014. – Т. 7, № 4. – С. 414–416.
4. Козинец Г.И. Исследование системы крови в клинической практике [Текст] / Г.И. Козинец, В.А. Макаров. – Москва: Триада-Х, 1997. – 480 с.
5. Кустов А.В., Белых Д.В., Худяева И.С. и др. Новые фотосенсибилизаторы для фотодинамической антибактериальной терапии: физико-химические и микробиологические исследования. // Физическая химия краун-соединений, порфиринов и фталоцианинов: тезисы докл. VI Международной конф. – Туапсе, 2016. – С. 17.
6. Маркова А.А. Механизм пониженной гемолитической активности бесфосфорных алкильных катионных глицеролипидов: исследование на модельных мембранах [Текст] / А.А. Маркова, С.А. Окороченков, Н.В. Плявник, А.А. Штиль // Клиникогематол. – 2014. – Т. 7, № 3. – С. 278–281.
7. Мясоедова Е.Е. Нарушения реологии и структурно-функциональное состояние артериальной стенки при ревматоидном артрите [Текст] / Е.Е. Мясоедова, С.Е. Мясоедова, О.А. Пахрова, И.К. Томилова и др. // Вестник Ивановской медицинской академии том. – 2008. – Т. 13, № 1–2. – С. 50–54.
8. Опакова Т.Н. Влияние инфузионных растворов на реологические показатели крови при старении *in vitro* [Текст] / Т.Н. Опакова, О.А. Пахрова, С.Б. Назаров // Тромбоз, гемостаз и реология. – 2010. – № 3. – С. 24–29.
9. Пахрова О.А. Исследование свойств синтетических кобальтовых комплексов порфирина и фталоцианина при острой нитритной интоксикации и эндотоксическом шоке в эксперименте [Текст] / О.А. Пахрова, И.К. Томилова, Е.Л. Алексахина, С.Б. Назаров и др. // Гигиена и санитария. – 2008. – № 4. – С. 72–74.
10. Трубаева О.А. Влияние повышенной Ca^{2+} -зависимой калиевой проницаемости на деформируемость эритроцитов [Текст] / О.А. Трубаева, Е.В. Шахристова, А.И. Галич, И.В. Петрова // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2011. – № 5. – С. 69–72.
11. Трухачева Т.В. Фотолон – новое средство для фотодинамической терапии [Текст] / Т.В. Трухачева, С.В. Шляхтин, Г.А. Исаков, Ю.П. Истомин. – Минск: РУП «Белмедпрепараты». – 2009. – 64 с.
12. Фотодинамическая терапия в дерматологии [Текст]: методические рекомендации / В.Н. Волгин, Т.В. Соколова, М.С. Колбина и др. – Москва: ГВКГ им. Н.Н. Бурденко, 2011. – 67 с.
13. Agostinis P. Photodynamic therapy of cancer: an update / P. Agostinis, K. Berg, et al. // CA Cancer J Clin. – 2011. – V. 61. – P. 250–281.
14. Berezin D.B., Kustov A.V., Venediktov E.A., Makarov V.V., Kruchin S.O., Belykh D.V. Photosensitizers for antibacterial PDT: synthesis, singlet oxygen generation, hydrophilicity control and toxicity assays. // Porphyrins and phthalocyanines ICPP-9: abstracts of international conference, Nankin. – 2016. – P. 26.
15. Brandis A.S. Chlorophyll sensitizers in photodynamic therapy / A.S. Brandis, Y. Salomon, A. Schetz / In: Chlorophylls and bacteriochlorophylls: biochemistry, biophysics, functions and application. Ed. By B. Grimm, R.J. Porra, W. Rüdiger, H. Scheer. Springer: Berlin, 2006. – P. 461–483.

УДК 556:[546.795 + 544.77]

**РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ
ПУНКТА ХРАНЕНИЯ МОНАЦИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА****Майстренко Т.А., Рачкова Н.Г., Белых Е.С., Рыбак А.В.***ФГБУН Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения**Российской академии наук, Сыктывкар, e-mail: roginat@mail.ru*

Выполнены радиоэкологические исследования в импактной зоне пункта хранения монацитового концентрата. Показано, что параметры радиационной обстановки соответствуют установленным требованиям радиационной безопасности нормативам. Тем не менее, территория вблизи объекта характеризуется более высоким, чем окрестные ландшафты, уровнем радиационного фона и высокой вариабельностью содержания естественных радионуклидов в почве и донных осадках в сочетании с повышенными в 2,5–10 раз по сравнению с контрольными площадками удельными активностями ^{226}Ra в дренажных водах. Результаты биоиндикационных исследований свидетельствуют о достоверно более низкой выживаемости проростков семян *Cirsium setosum* и *Alisma plantago-aquatica*, собранных с экспериментальных участков, находящихся в зоне воздействия радиоактивно загрязнённой промплощадки, чем семян этих растений с фонового участка. Причиной наблюдаемого токсического эффекта может являться сочетанное действие естественных радионуклидов, содержание которых не выходит за пределы установленных нормативов, но превышает фоновое, и иных экологических факторов.

Ключевые слова: монацит, техногенно повышенный радиационный фон, торий, уран, радий, хроническое облучение, биологические эффекты, растения, природные популяции, жизнеспособность

**RADIOECOLOGICAL RESEARCHES ON THE TERRITORY NEAR A MONAZITE
CONCENTRATE STORAGE CELL****Maystrenko T.A., Rachkova N.G., Belykh E.S., Rybak A.V.***Institute of Biology, Komi Scientific Centre, Ural Branch, RAS, Syktivkar, e-mail: roginat@mail.ru*

Results of radioecological investigation on a territory near a monazite concentrate storage cell showed radiation situation to satisfy radiation safety norms. But radiation background on the territory near the storage cell was found to be higher and radionuclide concentrations in soil and sediments were more variable than on neighboring landscapes. Also ^{226}Ra activity concentrations in drainage waters were 2.5–10 times higher as compared with reference ones. Bioindication studies results give evidences on significantly lower viability of *Cirsium setosum* and *Alisma plantago-aquatica* seedlings obtained from seeds sampled on experimental sites located within the storage cell impact zone as compared with those from reference site. The toxic effect observed possibly caused by the combine exposure of natural origin radionuclides with activity concentrations satisfying the safety norms, but higher than the reference ones, and other environmental factors.

Keywords: monazite, anthropogenically enhanced radioactive background, uranium, thorium, radium, chronic irradiation, biological effects, plants, natural population, viability

Актуальность исследований в области защиты окружающей среды от воздействия ионизирующих излучений обусловлена недостаточной разработкой теоретических и научно-методических основ оценки последствий для биологических систем хронического облучения и связана с обеспечением радиоэкологической безопасности ядерной энергетики, обращением с радиоактивными отходами, а также реабилитацией загрязнённых территорий [1]. Одной из основных задач в данном направлении является установление взаимосвязи уровня радиационного воздействия и биологических эффектов у растений и животных из природных популяций. Наряду с климатом и почвой растительность определяет облик наземных экосистем, поэтому изучение реакции растений в естественной среде их обитания необходимо для разработки более реалистичных экологических моделей.

Цель исследования – на основе комплексного анализа физико-химических характеристик абиотических компонентов окружающей среды и оценки жизнеспособности семян дикорастущих растений оценить радиоэкологическую обстановку вблизи пункта хранения монацитового концентрата.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили вблизи территории промышленной площадки размещения базы хранения предназначенного для переработки и последующего использования в ядерно-топливном цикле атомных реакторов концентрата естественного радиоактивного минерала монацита и образованного в результате вскрытия монацита ториевого остатка. По данным [4], с 1960 г. на объекте было размещено около 82 тыс. т монацитового концентрата, представленного безводной смесью ортофосфатов редкоземельных металлов (Th, Gd, Er, Dy и др.) с примесью оксидов урана до 1 %. Согласно выполненным в 1992 г. оценкам ВНИИПромтехнологии, складированный мате-

риал при удельной активности 217 ± 15 Бк/г содержал в среднем 5,4 % ThO_2 , 0,2 % UO_2 , 54 % оксидов редких земель [4].

Для исследования выбрали три пары экспериментальных площадок – R1/R6, R2/R5 и R3/R4, расположенных на низинном частично заболоченном участке размером 200×700 м. Мощность амбиентного эквивалента дозы составляла соответственно $0,24 \pm 0,06$, $0,47 \pm 0,01$ и $0,78 \pm 0,03$ мкЗв/ч при характерных для района значениях 0,06–0,12 мкЗв/ч [4]. На участках в конце вегетационного сезона собирали семена дикорастущих растений, а также осуществляли отбор образцов почвы, воды и донных отложений из дренажной канавы для последующего определения методами альфа- и гамма-спектрометрии удельной активности тяжёлых естественных радионуклидов.

Семена *Cirsium setosum* хранили в течение девяти месяцев после сбора в сухом тёмном месте при 20°C , *Alisma plantago-aquatica* – от четырёх до девяти месяцев при 4°C и влажности 100 %. Затем посевной материал проращивали на дистиллированной воде при температуре $24 \pm 2^\circ\text{C}$, световом периоде 10 ч и освещённости 3000 лк. Жизнеспособность семян оценивали по выживаемости проростков, которую регистрировали на 13-е сутки эксперимента. При анализе антропогенного воздействия учитывали загрязнение территории химическими токсикантами, в том числе тяжёлыми металлами. В качестве контроля использовали семена растений из природных популяций с территории, находящейся за границами крупных населённых пунктов и локально загрязнённых радионуклидами или тяжёлыми металлами территорий.

Результаты исследования и их обсуждение

Рекогносцировочная оценка экологической ситуации на исследуемом участке указывала на проведение в прошлом рекультивационных мероприятий, о чём свидетельствовала однородная рыхлая структура и равномерная окраска верхней 30-сантиметровой толщи почвы. Также могло проводиться гипсование почвы, поскольку поверхностные воды и грунты к моменту пробоотбора содержали повышенные относительно фоновых показателей концентрации кальция и сульфатов. Кратность превышения для последних достигала 15 раз. Максимальное содержание сульфатов в водах составляло около 300 мг/л. Отчасти именно концентрациями сульфатов и кальция была обусловлена высокая минерализация дренажных вод, имеющих удельную электропроводность до 800 мкСм/см при фоновой величине не более 250 мкСм/см. По данным полевых измерений, значения водородного показателя для вод, почв и донных осадков соответствовали слабощелочной или щелочной среде. Физико-химический анализ этих объектов не выявил для большинства исследованных образцов превышений значений ПДК тяжёлых металлов I–III классов опасности. Исклю-

чением явились концентрации в воде Cu, кратность превышения ПДК которых во всех пробах, включая контрольную, составила 1,2–1,7 раз, а также Mo и Zn в образце R6, которые оказались в 2,4 и 5 раз больше ПДК соответственно. Во всех пробах почв, в том числе контрольной, отмечены концентрации As, в 2,0–2,6 раза превосходящие гигиенические нормативы, а в образце почвы R6 в 2,9 раза превышена концентрация Mn. Значения суммарного показателя загрязнения почв токсичными элементами для экспериментальных площадок R1–R5 варьировали от 1,2 до 1,9, для почв участка R6 зарегистрировано максимальное значение показателя загрязнённости, равное 4,1.

Удельные активности радиоактивных элементов природного происхождения (^{228}Th , ^{230}Th , ^{232}Th , ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb) в пробах воды находились в пределах установленных нормативных показателей (таблица). Мы не выявили также зависимости содержания этих радионуклидов в донных отложениях и почве от геохимических особенностей места отбора и удалённости его от базы хранения радиоактивных материалов. Таким образом, результаты анализа образцов дренажных вод, почвы и донных отложений свидетельствовали об отсутствии радиоактивного загрязнения исследованной почвенной толщи. Однако для всех исследованных проб воды регистрировали повышенные относительно фоновых значений (менее 0,1 мБк/л) концентрации ^{226}Ra , варьирующие в диапазоне величин от 200 до 350 мБк/л, что в 1,4–2,5 раза ниже уровня вмешательства, установленного для удельной активности радионуклида в питьевых водах. При этом отмечали высокую вариабельность показателей удельной активности радионуклидов в абиотических компонентах окружающей среды, наиболее выраженную для почв и донных отложений. Так, значения крайних членов вариационного ряда концентраций разных изотопов Th в седиментах отличались друг от друга в 50–75, а ^{210}Pb и ^{210}Po – до 20 раз. Эти элементы не склонны к водной миграции, поэтому источником их поступления в верхний 20-сантиметровый слой донных отложений и грунта могла быть погребённая почва с повышенным содержанием радионуклидов. Отсутствие в образцах почв выявленных по результатам радиохимического анализа техногенных источников ионизирующего излучения также, вероятно, обусловлено более глубоким, чем 30 см, залеганием загрязнённого грунта в толще

почвы. Эти предположения подтвердились при сравнении коэффициентов распределения радионуклидов между водой и грунтом. Диапазоны их варьирования для ^{226}Ra и урана имели узкие пределы и соответствовали средним величинам 45 ± 1 и 190 ± 1 л/кг. В то же время вариабельность коэффициентов распределения изотопов тория была чрезвычайно широка. В частности, для радионуклида ^{232}Th она соответствует ряду значений от 8 до 680 тысяч, для ^{228}Th , представляющему тот же ряд распада, – от

8 до 155 тысяч (рис. 1). Ещё одним важным признаком возможного радиоактивного загрязнения исследуемой территории являлись значения радиоактивного фона, уровень которого в 2,5–10 раз превышал характерный для данного геохимического района и снижался при удалении от складов монацита. Всё это позволяет усомниться в обоснованности опубликованных в работах [4, 5] выводов об отсутствии очагов радиоактивного загрязнения в зоне влияния пункта хранения.

Удельные активности тяжёлых естественных радионуклидов в объектах окружающей среды зоны влияния базы хранения монацитового концентрата

Радионуклид	Удельные активности радионуклидов в объектах окружающей среды					
	вода ($n^* = 3$), мБк/л		донные отложения ($n = 5$), мБк/г**		почва ($n = 6$), мБк/г**	
	R1 – R6	K	R1 – R6	K	R1 – R6	K
^{234}U	1,9–18,5	7 ± 1	0,3–3,9	$3,1 \pm 0,5$	0,4–1,2	$1,4 \pm 0,2$
^{235}U	0,2–1,1	$0,6 \pm 0,2$	0,1–0,4	$0,40 \pm 0,05$	0,1–0,3	$0,10 \pm 0,02$
^{238}U	2,9–26,0	$2,2 \pm 0,5$	0,4–3,2	$1,9 \pm 0,3$	0,3–1,9	$1,0 \pm 0,1$
^{228}Th	0,1–0,3	$0,43 \pm 0,02$	0,3–16,5	$6,7 \pm 0,8$	2,0–15,8	9 ± 1
^{230}Th	1,2–13,0	28 ± 3	2,0–150	59 ± 7	30,4–130	79 ± 10
^{232}Th	0,02–0,4	$0,6 \pm 0,2$	0,3–14,6	$5,2 \pm 0,7$	2,0–11,0	$5,5 \pm 0,8$
^{226}Ra	180–350	$0,10 \pm 0,06$	8,0–13,9	18 ± 6	8,0–11,5	15 ± 10
^{210}Pb	16,9–25,3	17 ± 2	6,8–61,3	48 ± 7	4,5–85,3	45 ± 7
^{210}Po	0,9–5,4	$1,7 \pm 0,2$	2,0–30,8	21 ± 3	2,5–30,6	$4,8 \pm 0,7$

Примечание. * n – количество образцов, ** воздушно-сухие образцы почв и донных отложений.

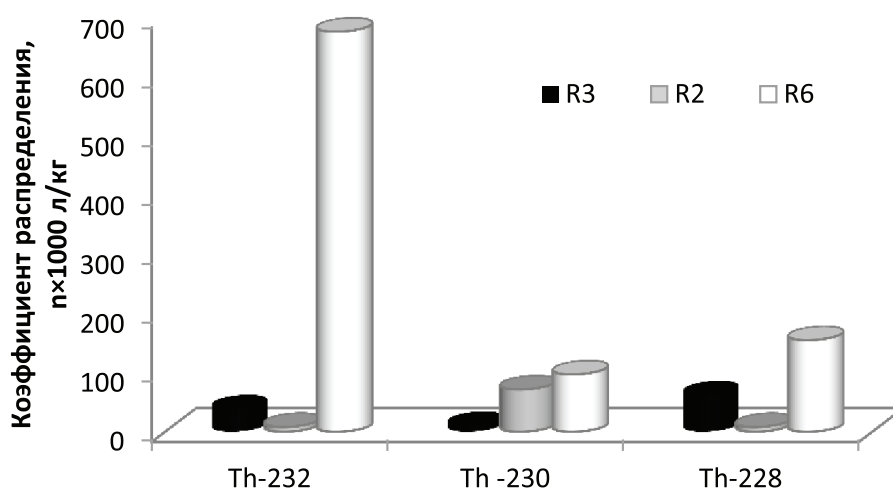


Рис. 1. Коэффициенты распределения изотопов тория между водой и донным материалом ($n \times 1000$ л/кг) в местах пробоотбора, расположенных вдоль границы пункта хранения монацитового концентрата

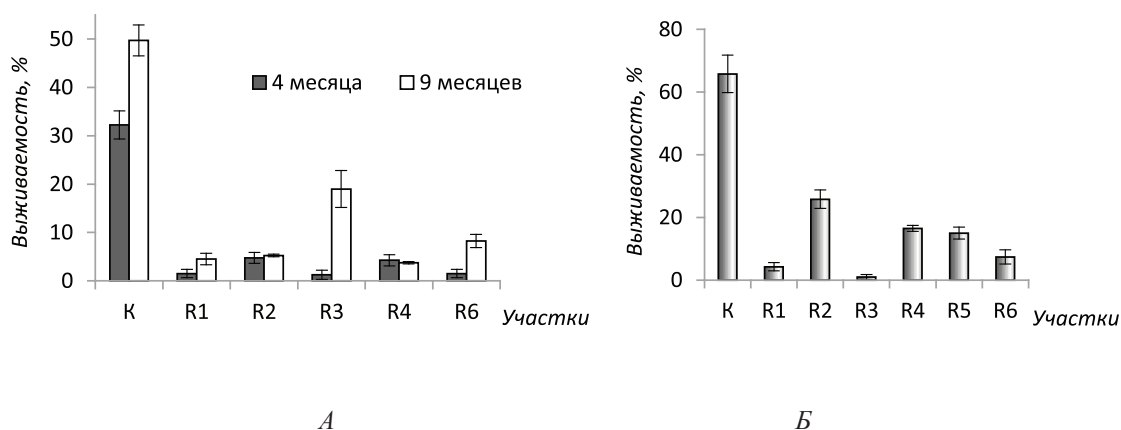


Рис. 2. Выживаемость проростков семян растений *Cirsium setosum* (Б) и *Alisma plantago-aquatica* при различной продолжительности периода покоя семян (А). Условные обозначения участков: К – контрольный; R1–R6 – участки импактной территории

Одним из методов, позволяющих оценить степень загрязнения экосистем, в том числе радионуклидами, являются биоиндикационные исследования [6, 7]. Поэтому наряду с проведением физико-химического анализа абиотических компонентов окружающей среды мы изучили репродуктивную способность дикорастущих растений, населяющих участки с нормальным и повышенным радиационным фоном.

Поскольку всхожесть семян растений зависит от условий и длительности фазы их покоя, жизнеспособность семян растений *A. plantago-aquatica* оценивали при разной продолжительности хранения семян во влажной среде при низкой температуре. Значения выживаемости проростков, определённые через четыре и девять месяцев холодной стратификации семян, варьировали (рис. 2, А) от 1–19% в точках R3 и R4 с наибольшей мощностью дозы внешнего облучения до 2–8% – в точках R1 и R6 с близким к контрольным значениям радиационным фоном. Невысокая всхожесть семян, наблюдаемая нами для растений *A. plantago-aquatica* при длительности периодов покоя четыре и девять месяцев, была характерна для всех экспериментальных участков, за исключением стратифицированных в течение девяти месяцев семян с участка R3, не отличающегося от других площадок по концентрациям радиоактивных элементов, тяжёлых металлов, макроионов в воде и донных отложениях. При этом продолжительность стратификации, наиболее близкая [2] к естественному периоду покоя (9 месяцев), привела к до-

стоверному увеличению выживаемости проростков семян *A. plantago-aquatica* как контрольной популяции ($p < 0,01$), так и с экспериментальных участков R3 и R6 ($p < 0,05$). Последний из них отличается повышенным содержанием в воде Zn и Cu.

Определённая через девять месяцев после сбора выживаемость проростков для семян *C. setosum*, собранных на импактных площадках (рис. 2, Б), оказалась ниже ($p < 0,001$), чем для семян с контрольного участка. Семенное потомство растений с площадок R1 и R3 имело практически нулевые показатели всхожести и выживаемости: первые проростки у 20% образцов семян с площадки R1 отмечены только на 9-й, 20% – на 15-й день; в 40% образцов с площадки R3 единичные проростки зарегистрированы только на 15-й день наблюдений.

Хотя репродуктивный успех изученных растений во многом зависит от особенностей погодных условий сезона вегетации и степени колебаний уровня обводнения местообитания [2, 8], мы нашли, что определённая для разных условий и периодов покоя выживаемость проростков *C. setosum* и *A. plantago-aquatica*, собранных с радиоактивно загрязнённых площадок R1–R6 экспериментального участка, была достоверно ($p \leq 0,001$) более низкой, чем семян с фонового участка (К). Оценка всхожести семян при разной продолжительности периода покоя показала, что низкие значения показателя прорастания семян коррелировали с низкой выживаемостью проростков в дальнейшем. При этом максимальное значение всхожести для кривых пророста-

ния семян *A. plantago-aquatica* с контрольного и импактных участков при условиях стратификации в течение четырёх и девяти месяцев регистрировали начиная с 6–7 дня проращивания.

Изучение всхожести семян и выживаемости проростков *C. setosum* после 9-месячного периода покоя, близкого по продолжительности к естественным срокам, также выявило значительную дифференциацию выживаемости проростков с разных участков. Значения показателя варьировали от 1–4% для семян с участков R1 и R3 до 25% – с участка R2, но все были ниже ($p \leq 0,001$) величины, рассчитанной для контрольного участка. Выживаемость семян с фоновой территории была наибольшей (рис. 2, Б) и составила $66 \pm 6\%$.

Таким образом, выживаемость проростков семян растений с импактных территорий достоверно снижалась относительно контрольных значений, несмотря на то, что содержание естественных радионуклидов в почве, донных осадках и дренажных водах не превышало нормативы, установленные требованиями радиационной безопасности. Наблюдаемый токсический эффект может быть обусловлен сочетанным действием повышенных относительно фоновых значений концентраций радионуклидов в среде обитания растений и других экологических факторов. Схожий токсический эффект наблюдали ранее при биотестировании вод с повышенным содержанием естественных радионуклидов из природных источников окрестностей пос. Водный (Республика Коми) [3].

Выводы

1. Результаты проведённого исследования указывают на неоднозначность опубликованных данных [4, 5] о радиоэкологической обстановке в импактной зоне базы хранения монацитового концентрата, а также отражают сложное влияние эндогенных факторов и условий среды на репродуктивную способность растений, населяющих техногенно нарушенные территории. Для выявления возможных скрытых очагов радиоактивного загрязнения в погребённом на глубину более 30 см грунте и корректной оценки экологической ситуации на исследуемом объекте необходимо изучение радиального распределения радионуклидов.

2. Установлено, что параметры радиационной обстановки соответствуют установленным требованиям радиационной

безопасности нормативам. Однако территория вблизи пункта хранения монацитового концентрата характеризуется более высоким уровнем радиационного фона, чем значения этого показателя, определённые для окрестных ландшафтов. Для исследованных участков установлена высокая вариабельность содержания естественных радионуклидов в почве и донных осадках в сочетании с повышенными в 2,5–10 раз по сравнению с контрольными площадками удельными активностями ^{226}Ra в дренажных водах.

3. Результаты биоиндикационных исследований свидетельствуют о достоверно более низкой выживаемости проростков семян *Cirsium setosum* и *Alisma plantago-aquatica*, собранных с экспериментальных участков в зоне воздействия загрязнённой радионуклидами промплощадки, чем семян этих растений с фоновой территории. Наблюдаемый токсический эффект может быть обусловлен сочетанным влиянием естественных радионуклидов, содержание которых не выходит за пределы установленных санитарно-гигиенических нормативов, но превышает фоновое, и иными экологическими факторами.

Список литературы

1. Алексахин Р.М. Новейшие результаты исследований в области радиоэкологии // Вестник Российской Академии Наук. – 2015. – Т. 85, № 4. – С. 373–376.
2. Васильева Н.В. Особенности прорастания семян частухи подорожниковой (*Alisma plantago-aquatica* L.) в лабораторных условиях // Биология внутренних вод. – 2001. – № 1. – С. 46–49.
3. Евсеева Т.И., Гераскин С.А., Шуктомова И.И., Храмова Е.С. Комплексное изучение радиоактивного и химического загрязнения водоемов в районе расположения хранилища отходов радиового промысла // Экология. – 2003. – № 3. – С. 176–183.
4. Екидин А.А., Кирдин И.А., Шустов А.М., Михеев А.А. Исследования радиационной ситуации на базе хранения монацитового концентрата / Урал. Радиация. Реабилитация. Отв. ред.: В.Н. Чуканов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – С. 252–294.
5. Министерство природных ресурсов и экологии Свердловской области: офиц. сайт [Электронный ресурс]. Дата обновления 23.12.2016. URL: <http://www.minpriir.midural.ru/novosti/1265> (дата обращения: 15.02.2017).
6. Цветнова О.Б., Щеглов А.И., Столбова В.В. К вопросу о методах биодиагностики в условиях радиоактивного загрязнения // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2014. – Т. 54, № 4. – С. 423–431.
7. Geras'kin S.A., Dikarev V.G., Oudalova A.A., Vasiliev D.V., Dikareva N.S., Evseeva T.I. Bioindication approach for an assessment of technogenic impact on the environment // Strategies to Enhance Environmental Security in Transition Countries. NATO Security Through Science Series. Springer, 2007. – P. 315–328.
8. Laubhan M.K., Shaffer T.L. Seed germination of *Cirsium arvense* and *Lepidium latifolium*: implications for management of montane wetlands // Wetlands. – 2006. – V. 26. – № 1. – P. 69–78.

УДК 54-162.37:[631.81 + 622.7]

ПРИМЕНЕНИЕ ГУМИНОВОГО ПРЕПАРАТА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ БРИКЕТОВ, СОДЕРЖАЩИХ УГОЛЬНОЕ СЫРЬЕ

Шевченко Т.В., Новикова Я.А.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», Кемерово, e-mail: ecolog.novikova@mail.ru

Доказана необходимость переработки и утилизации отходов угольной промышленности с целью экономического использования, сохранения природных ресурсов и восстановления техногенно нарушенных земель. Рассмотрены основные этапы ведения рекультивации нарушенных земель. Разработан способ переработки углесодержащих отходов в брикеты на основе угольного материала с содержанием гуминового препарата для ведения рекультивационных работ. В лабораторных условиях изучены и исследованы микроорганизмы-деструкторы окисленного угля штаммы бактерий *Acinetobacter calcoaceticus* ВКПМВ-4883. Применение полученного связующего увеличивает прочность брикета и снижает затраты на его сушку. Экспериментальным путем определено влияние рекультивационного брикета на рост и развитие томатов сорта «Хурма». Доказано, что применение полученного рекультивационного брикета в смеси с полученным гуминовым препаратом положительно влияет на динамику роста растений, что выражается в скорости роста и развитии корневой системы.

Ключевые слова: добыча угля, окисленный уголь, рекультивация, брикетирование углей, гуминовые кислоты

USING HUMIC SPECIMEN FOR PRODUCTION COAL-CONTAINING RECLAMATION BRIQUETTES

Shevchenko T.V., Novikova Ya.A.

Kemerovo Technological Institute of food industry (University), Kemerovo, e-mail: ecolog.novikova@mail.ru

With the view of economical release, resource conservation and industrial disturbed land, the necessity of recycling and waste elimination was proven. We observed the main stages of reclamation of disturbed land. Generate a way of recycling coal-containing wastes to the briquettes, for the purpose using briquettes which containing a humic specimen for recycling. In laboratory conditions, we explore the bacterio-decomposer of oxygenated coal – living bacterial strains *Acinetobacter calcoaceticus* VKPMV-4883. The annectent material to increase durable of briquette and reduce spend for drying. Influence reclamation briquettes to the growth and evolution of tomato «Hurma» was proven by experiment. It is proven that mixture of reclamation briquette and humic specimen make positive impact on plants growth dynamic, as in rate of growth and root development.

Keywords: coal production, oxidized coal, revegetation, briquetting of coal, humic acid

Угольная промышленность является одной из экологически сложных отраслей топливно-энергетического комплекса. Работа угольных предприятий сопровождается значительным загрязнением окружающей среды. Масштабы этого воздействия зависят от выполняемых природоохранных мероприятий конкретными предприятиями и угольными регионами в целом [5].

Кузбасс активно продолжает развитие угледобывающей отрасли и на сегодняшний день является одним из самых техногенно нагруженных регионов.

В связи с ежегодным увеличением экологической нагрузки на регион и постоянно растущими темпами добычи угольного сырья большую актуальность приобретают вопросы, связанные с рекультивацией нарушенных земель [7].

Воздействие на ландшафты открытых горных работ проявляется в коренном переустройстве рельефа с образованием техногенных отрицательных (денудационных)

и положительных (аккумулятивных) форм. Положительными формами рельефа, остающимися после производства открытых горных работ, являются отвалы. Отрицательными формами рельефа, остающимися после открытых разработок, являются карьеры, траншеи и каналы, весьма различные по своим параметрам [8].

Созданные человеком отрицательные и положительные формы рельефа приводят к негативным техногенным воздействиям на почву, а именно её загрязнению и окончательной деградации. Почва накапливает токсины, аккумулирует тяжелые металлы и тем самым изменяет видовое разнообразие и генотип растительного мира. Поскольку все функции почвы взаимосвязаны, то низкая почвенно-экологическая эффективность их восстановления может серьезно отразиться на среде обитания растений, животных, человека и их кормовой базы.

При антропогенном воздействии на почвенный покров первыми нарушаются вну-

трипочвенные функции, которые отвечают в почве за водо- и газообмен, концентрацию химических элементов в почвенном растворе и др. Динамические почвенно-экологические функции определяют условия формирования почвы, которые обуславливают плодородие почвы, ее санитарно-гигиеническое состояние и частично влияют на стабильность почвенно-экологических функций [1].

Цель исследования заключалась в определении способа переработки углесодержащих отходов угольных предприятий региона, снижении негативного воздействия на почвы и окружающую среду, а также экспериментальном определении влияния рекультивационного брикета на рост и развитие растений. Для снижения отрицательного воздействия на почвы и окружающую среду в целом угледобывающие предприятия, под контролем административных органов, применяют метод рекультивации нарушенных земель.

Рекультивация нарушенных земель в процессе добычи полезного ископаемого – это комплекс мер, направленных на восстановление техногенно нарушенных земель. Рекультивация земель является составной частью процесса природоустройства [1].

Рекультивация включает в себя технический и биологический этапы. На техническом этапе производится корректировка ландшафта (выполаживание откосов отвалов, грубая и чистовая планировка поверхностей, засыпка отрицательных форм рельефа).

На биологическом этапе для улучшения свойств почвы и восстановления её плодородия проводятся агротехнические работы, которые включают в себя внесение удобрений, посадку саженцев и семян (озеленение территории), мониторинг рекультивированных земель под контролем санитарно-эпидемиологических служб [3].

Из-за загрязнения почв, минимального содержания минеральных веществ, нарушения естественного водного режима развитие растительного мира на искусственных положительных формах рельефа происходит очень медленно и более 30% представителей растительного мира полностью прекращают своё существование на данной территории [4].

На сегодняшний день промежуточная стадия биологического этапа рекультивации, заключающаяся во внесении удобрений и посадке саженцев, морально уста-

рела. Поэтому возникает необходимость стимулирования роста растений, которые используют при рекультивации нарушенных земель. Одним из самых перспективных направлений для этих целей является применение гуминовых веществ. В растениеводстве их используют в качестве стимуляторов роста растений.

Гуминовые вещества – высокомолекулярные соединения природного происхождения, которые образуются при окислении каменных углей или в результате трансформации омертвевшей биомассы. Данные вещества активизируют клеточный метаболизм и основные регенеративные процессы, ускоряют окислительно-восстановительные процессы, накапливают элементы питания и энергию [2, 4].

Основным свойством данного вещества является способность вступать в химические реакции со многими соединениями. Это свидетельствует о том, что гуминовые вещества могут связывать энтеротоксины за счет образования нерастворимых комплексов с металлами и различными органическими веществами, таким образом, снижая негативное действие токсинов на растительный и животный мир [4].

Материалы и методы исследования

На основании изученного материала было принято решение об изготовлении рекультивационного брикета на основе угольного материала с содержанием гуминового препарата и экспериментальное определение его влияния на рост и развитие растений [6].

На основании исследований в качестве микроорганизмов – деструкторов окисленного угля были приняты штаммы бактерий *Acinetobacter calcoaceticus* ВКПМВ-4883. Морфологические свойства выбранных микроорганизмов изучались на основе метода микроскопирования штаммов. Исследуемые образцы предварительно подвергались окрашиванию по Граму, Бурри – Гринсу и Цию – Нильсону. В качестве источника данного штамма был использован препарат «Биогум», изготовленный по ГОСТ Р 50335-92 из окисленного угля, добытого на Караганском месторождении.

Методика приготовления гуминового препарата из окисленного угля включает в себя следующие стадии:

1. Приготовление исходной смеси путем смешения 134,6 мл водопроводной воды, 6,2 г окисленного угля, 2 г комплексного минерального удобрения, 0,45 г гуминового препарата «Биогум», содержащего штаммы бактерий *Acinetobacter calcoaceticus* ВКПМВ-4883.

2. Перемешивание смеси в течение 24 часов на магнитной мешалке с подогревом до 27°C, скорость вращения принята 950 об/мин.

В полученной суспензии методом микроскопирования было обнаружено содержание гуминовых веществ в высоких концентрациях.

Результаты измерений тест-образцов по определенным контрольным точкам

Контрольные точки	Результаты измерений тест-образцов, см		
	Контроль	Земля + стержень	Земля + гумин. препарат
1	9,6	7,4	7,5
2	12	8,5	9
3	14,1	16,6	18,3
4	31,4	30,5	30,8



Рис. 1. Влияние гуминового препарата на рост и развитие томатов сорта «Хурма» (контрольные точки № 1 и № 4): а) контрольный образец; б) образец «Земля + стержень»; в) образец «Земля + гумин. препарат»

Изготовление рекультивационного брикета включает следующие стадии:

1. Подготовка угольной шихты (окисленный уголь Караканского месторождения, измельченный до фр. 0,5–1 мм).

2. Смешение механическим способом угольной шихты с полученным в лабораторных условиях гуминовым препаратом.

3. Добавление связывающего раствора (водный раствор полиакриламидного флокулянта и полиэфиров на основе пропиленгликоля) и комплексных минеральных удобрений (азот, фосфор, калий) для обеспечения жизнедеятельности штамма бактерий *Acinetobacter calcoaceticus* ВКПМВ-4883.

4. Формирование рекультивационного брикета при помощи штемпельного пресса (длина брикета на выходе 30 см, диаметр 1 см). Сила воздействия пресса составила 100 кг [7].

5. Сушка брикета в атмосферных условиях (при температуре не более 25 °С) в течение 12 часов.

Полученный брикет отличается от аналогов высокими прочностными характеристиками, хорошей лежкостью (тест-образцы хранились в течение 6 месяцев при естественной влажности окружающей среды), отсутствием склонности к раскрашиванию готового продукта [6].

Для исследования активности полученных рекультивационных брикетов в качестве тест-образцов

были взяты три ростка томатов сорта «Хурма». В качестве контрольного образца был принят первый росток с грунтом без обогащения гуминовым препаратом («Контроль (без добавок)»). Второй росток был посажен в грунт с рекультивационным стержнем (в количестве 2 стержня на 1 м³), состоящим из гуминового препарата и окисленного угля («Земля + стержень»). Третий росток был посажен в грунт, обогащенный твердой фазой гуминового препарата путем перемешивания в пропорции 1:1 («Земля + гумин. препарат»).

Результаты исследования и их обсуждение

Длительность эксперимента составила 1 месяц. Для отслеживания влияния гуми-

нового препарата были определены контрольные точки (с периодичностью 1 раз в неделю). Во время контрольных замеров определялись внешние характеристики тест-образцов: высота, мощность ствола, количество рядов листьев, направление роста, окрас. В таблице представлены результаты экспериментального определения влияния полученного гуминового препарата на рост и развитие растений.

На рис. 1 показана степень влияния гуминового препарата на рост и развитие томатов сорта «Хурма» по контрольным точкам № 1 и 4.

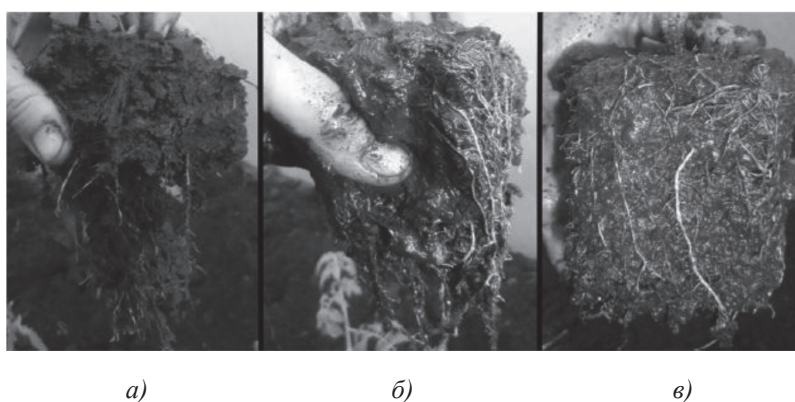


Рис. 2. Влияние гуминового препарата на рост и развитие корневой системы тест-образцов (контрольная точка № 4): а) контрольный образец; б) образец «Земля + стержень»; в) образец «Земля + гумин. препарат»

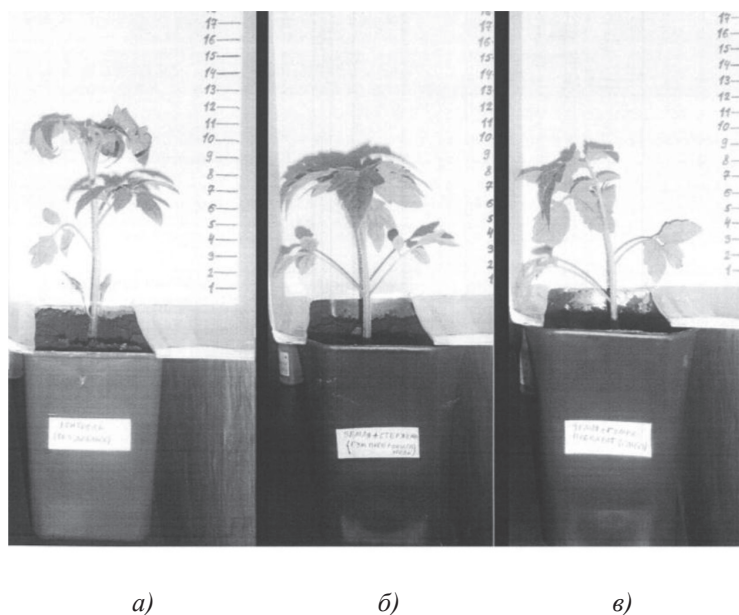


Рис. 3. Влияние гуминового препарата на рост и развитие томатов сорта «Хурма» (контрольная точка № 2)



Рис. 4. Влияние гуминового препарата на рост и развитие томатов сорта «Хурма» (контрольная точка № 3)

Из рис. 1 видно, что тест-образец, выращенный с добавлением полученного стерж-ня имеет более ровный и прямой ствол, более темную окраску, раскидистые и густые листья. Из чего можно сделать вывод, что рекультивационный брикет положительно влияет на динамику роста растения.

На рис. 2 показана степень влияния гуминового препарата на развитие корневой системы образцов (по контрольной точке № 4).

Из рис. 2 видно, что корневая система контрольного образца развита хуже, чем у остальных тест-образцов. Корневая система является проводником воды и питательных веществ и является неотъемлемой составляющей роста и развития растения. По результатам исследований можно отметить, что образцы, выращенные с добавлением гуминовых препаратов, являются более жизнеспособными и развитыми. Промежуточные стадии роста и развития по контрольным точкам № 2 и 3 томатов сорта «Хурма» представлены на рис. 3 и 4.

Выводы

1. Применение полученного связующего раствора при производстве рекультивационных брикетов является целесообразным в связи с увеличением прочности брикета (по сравнению с аналогами), сокращением времени сушки и исключении затрат на тепловую сушку брикета.

2. Применение полученного гуминового препарата положительно влияет на динамику роста растений, что выражается в скорости роста и развитии корневой системы [7].

3. Необходимо тестирование образцов в реальных условиях на техногенно нарушенной территории угольного предприятия для более полного описания влияния гуминового препарата на рост и развитие растений.

Список литературы

1. ГОСТ 17.5.3.04-83 (СТ СЭВ 5302-85). Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель. http://standartgost.ru/g/pkey-14294851968/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_17.5.3.04-83.
2. Возбудская А.Е. Химия почвы. – М.: Высшая школа, 1968. – С. 426.
3. Еремина И.А., Лузина М.И. Микробиология продуктов растительного происхождения. Учебное пособие. – Кемерово, 2003. – 87 с.
4. Лиштван И.И. Физико-химические свойства гуминовых веществ торфа и перспективы применения материалов на их основе. Материалы международной конференции «Теоретические и практические аспекты сорбционных и мембранных процессов». – Кемерово, 2014. – С. 3–6.
5. Минибаев Р.Р., Корчагина Т.В., Новикова Я.А. К вопросу переработки отходов горного производства предприятиями Кузбасса [Текст] / Я.А. Новикова // Уголь. – 2016. – № 8/1085. – С. 121–124.
6. Тарковская А.И. Окисленный уголь. – Киев: Наукова думка, 1981. – 200 с.
7. Шевченко Т.В., Новикова Я.А., Санников Ю.Н., Бердова К.А. Рекультивация земель с использованием окисленных углей [Текст] / Т.В. Шевченко // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–23. – С. 5100–5104.
8. Quitt H. Holzschutzmittelverzeichnis / H. Quitt // DIBt Siftende des Deutschen Instituts Bautechnik. – 2007. – № 55. – Auflage Stand. – 271 p.

УДК 546.284-31:574.4

ВЛИЯНИЕ АМОРФНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ НА РОСТОВЫЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ НА РАННИХ СТАДИЯХ ОНТОГЕНЕЗА

¹Анищенко Л.Н., ¹Борздыко Е.В., ¹Москаленко И.В., ¹Сковородникова Н.А.,
²Лось С.Л., ²Прохоренко Ф.В.

¹ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет им. акад. В.Г. Петровского,
Брянск, e-mail: eco_egf@mail.ru;

²Научно-производственное объединение ООО «Экокремний»,
Брянск, e-mail: ecokremniy@yandex.ru

Изложены материалы камеральных экспериментов с 11 видами культурных растений при использовании препарата Ковелос (Сорб) – аморфного диоксида кремния. Для 9 видов растений впервые изучены показатели всхожести (энергии прорастания семян), ростовых явлений у прорастающих семян, содержание в побегах аскорбиновой кислоты. Препарат Ковелос подготавливали для опытов в концентрациях: 0 (контроль), 30, 50, 100, 500, 700 и 1000 кг/га (в почве). Наибольшее влияние препарата на энергию прорастания зарегистрировано при средних концентрациях (в почве – 100 кг/га). Хорошо отзываются увеличением всхожести семян овощные культуры: *Lycopersicum esculentum*, *Cucumis sativus*, *Cucurbita pepo* и *Phaseolus vulgaris*. Длина зародышевых корешков и побегов также возрастает при повышении концентрации: у бобовых и овощных культур: *Cucumis sativus*, *Cucurbita pepo*, *Phaseolus vulgaris*, *Pisum sativum*. Отмечена видовая специфичность реакции растений на различные концентрации при предпосевной обработке семян препаратом Ковелос. Эта особенность объясняется тем, что миграция кремния внутри растения, вероятно, осуществляется в основном в форме поликремниевой кислоты с помощью специальных транспортных ферментов, различающихся у видов. Препарат Ковелос также будет полезен при химической мелиорации почв, например, терриконов, песчаных карьеров для интенсификации биологических процессов у фитомелиорантов и повышения почвенного плодородия.

Ключевые слова: аморфный диоксид кремния, митотический индекс, интенсивные технологии, культурные растения, онтогенез

ON THE EFFECT OF AMORPHOUS SILICA ON THE GROWTH AND PRODUCTION INDICATORS OF CULTIVATED PLANTS IN THE EARLY STAGES OF ONTOGENESIS

¹Anischenko L.N., ¹Borzdiko E.V., ¹Moskalenko I.V., ¹Skovorodnikova N.A.,
²Los S.L., ²Prokhorenko F.V.

¹Bryansk State University n.a. Acad. V.G. Petrovsky, Bryansk, e-mail: eco_egf@mail.ru;

²Scientific-production Association LLC «Ekokremnyi», Bryansk, e-mail: ecokremniy@yandex.ru

Materials laboratory experiments with 11 species of cultivated plants when using the drug Cavelos (Sorb) – amorphous silicon dioxide. First studied for 9 plant species indicators of germination (germination energy of the seeds), growth phenomena in germinating seeds, the contents in the shoots of ascorbic acid. The drug Covelos prepared for experiments in concentrations: 0 (the control), 30, 50, 100, 500, 700 and 1000 kg/ha (in soil). The greatest impact of silicon-containing drug was at medium concentrations (in the soil 100 kg/ha). The greatest increase in seed germination in the presence of the drug Covelos achieved for vegetable crops: *Lycopersicum esculentum*, *Cucumis sativus*, *Cucurbita pepo* and *Phaseolus vulgaris*. Length of embryonic roots and shoots increased with increasing concentrations of the drug Covelos. Especially helpful for pre-sowing seed treatment was legumes and vegetable crops such as *Cucumis sativus*, *Cucurbita pepo*, *Phaseolus vulgaris*, *Pisum sativum*. In the presence of the drug Cavelos growth of embryonic roots is more intense than the growth of shoots. Marked species specificity of plant responses to various concentrations during the pre-sowing seed treatment with the drug Covelos. This feature is due to the fact that the migration of silicon within the plant, probably mainly in the form of polysilicic acid by special transport enzymes, differing in species. The drug Covelos will also be useful for chemical soil improvement, for example, heaps, sand pits for the intensification of biological processes in phytomeliorants and improve soil fertility.

Keywords: amorphous silicon dioxide, mitotic index, intensive technology, cultivated plants, ontogenesis

Продукционные и ростовые процессы культурных растений определяются комплексом факторов, в том числе и элементарным составом почвы. Содержание валовых и подвижных форм биофильного и циклического элемента кремния – один из лимитирующих показателей для развития рас-

тений, так как, несмотря на значительное распространение кремния, его структурообразующую функцию, продуценты поглощают только мономеры кремниевой кислоты [8, 10, 11, 13, 14].

Для получения высококачественной растительной продукции с минимальными

энергозатратами при использовании малодоступных соединений кремния необходимо изучение его воздействия на метрические и биохимические показатели культурных растений на различных этапах онтогенеза. Также повышение уровня использования кремниевых удобрений в агроэкосистемах позволит решить проблему обеспечения населения продуктами питания, развивать устойчивое сельскохозяйственное производство, эффективно проводить почвенную мелиорацию в связи с их высокой сорбционной активностью [1, 9].

Высокоочищенный синтетический кремнезем (аморфный диоксид кремния) под торговой маркой «Ковелос», выпускаемый научно-производственным объединением ООО «Экокремний», – легкий микронизированный (размер частиц в зависимости от марки от 6 до 40 микрон) порошок белого цвета без вкуса и запаха с нанопористой структурой частиц, с выраженными сорбционными свойствами, с удельной площадью поверхности 350–400 м² на 1 грамм, с маслоёмкостью 300–340 г/100 г. Среди твёрдых тел аморфный диоксид кремния отличается самыми низкими теплопроводностью (0,02 Вт/(м·К)), скоростью распространения звука (100 м/с) и диэлектрической проницаемостью, нагреванием (при температуре свыше 1000 °С переходит в кристаллическую форму). По экспериментальным данным аморфный диоксид кремния наиболее доступен для растений [11].

Цель работы – выявление влияния синтетического аморфного диоксида кремния на содержание аскорбиновой кислоты, метрические признаки и энергию прорастания семян культурных растений при предпосевной обработке семян препаратом «Ковелос» (ООО «Экокремний»).

Первая часть разработок по применению препарата «Ковелос» осуществлялась при определении митотического индекса у проростков семян на ранних этапах онтогенеза. В НИЛ Брянского государственного университета «Мониторинг сред обитания» исследовали влияние препарата «Ковелос» (СОРБ) на метрические показатели проростков, энергию прорастания семян и содержание аскорбиновой кислоты у видов: яровая пшеница сорта Артемовка (*Triticum aestivum* L.), озимая рожь Новозыбковская 4 (*Secale cereale* L.), овес посевной Львовский 1026 (*Avena sativa* L.), яровой ячмень Московский 121 (*Hordeum vulgare* L.), горох посевной Шатиловский зеленозёрный (*Pisum sativum* L.), фасоль обыкновенная

Щедрая (*Phaseolus vulgaris*), огурец посевной Кустовой (*Cucumis sativus* L.), томат обыкновенный Белый налив (*Lycopersicon esculentum* L.), редис обыкновенный Рубин (*Raphanus sativus* L.), тыква посевная Миндальная 35 (*Cucurbita pepo* L.), кабачок посевной Грибовский 37 (*Cucurbita pepo* L.), кукуруза посевная Днепровский 56 (*Zea mays* L.). Номенклатура сосудистых растений указана согласно сводке С.К. Черепанова (1995) [12].

Семена культурных растений проращивали в рулонах (ГОСТ 12038-84) [4]. Определяли метрические признаки проростков однолетних растений: длину побега (для злаковых культур – длина coleoptилей), корней ($M \pm m$), вычисляли соотношение длины корней к длине наземной части, выявляли энергию прорастания семян (всхожесть). Все эксперименты проводили в пятикратной повторности в числе семян 30 штук, использовали чашки Петри. Особенности прорастания изучали через 72 и 96 часов. Определение аскорбиновой кислоты проводили титрованием по ГОСТ 24556-89 [5, 9].

Препарат «Ковелос» подготавливали для опытов в разных концентрациях. В мерные колбы объемом 1 л помещали аморфный диоксид кремния в дозах 0; 0,03; 0,05; 0,1; 0,7 и 1 г на сосуд, что соответствовало 0, 30, 50, 100, 500, 700 и 1000 кг/га (в почве). Статистическую обработку данных проводили в пакете Microsoft Office Excel 2010, использовали общепринятые статистические параметры [7].

Результаты исследований влияния аморфного диоксида кремния (в препарате «Ковелос» (СОРБ)) на всхожесть и ростовые процессы культурных растений представлены в табл. 1–3.

Добавление активных форм кремния в виде аморфного диоксида кремния (препарат «Ковелос») в различной концентрации при предпосевной подготовке семян культурных растений оказывало влияние на энергию прорастания (всхожесть). Так, в присутствии малых концентраций препарата всхожесть семян возрастала значительно (различия в показателях всхожести статистически недостоверны). Наибольшее влияние кремнийсодержащего препарата зарегистрировано при средних концентрациях (в почве – 100 кг/га). При дальнейшем увеличении концентрации препарата, используемого для предпосевной обработки, заметного увеличения всхожести семян не наблюдалось. Для некоторых видов куль-

турных растений (*Lycopersicum esculentum*, *Cucumis sativus*, *Zea mays*) были зарегистрированы идентичные показатели [11]. Наибольшее увеличение всхожести семян в присутствии препарата «Ковелос» достигнуто для овощных культур *Lycopersicum esculentum*, *Cucumis sativus*, *Cucurbita pepo* и *Phaseolus vulgaris*.

Метрические признаки проросших семян при внесении кремнийсодержащего удобрения при предпосевной обработке свидетельствуют об ускорении ростовых (продукционных) процессов у культурных растений (по сравнению с контролем). Длина зародышевых корешков и побегов (колеоптилей у злаковых культур) увеличивается при повышении концентрации препарата «Ковелос». Особенно отзывчивы на предпосевную обработку семян оказались бобовые и овощные культуры *Cucumis sativus*, *Cucurbita pepo*, *Phaseolus vulgaris*, *Pisum sativum*. В присутствии препарата «Ковелос» рост зародышевых корешков более интенсивен, чем рост побегов (колеоптилей). При ускорении развития побеговой и корневой массы проростков в дальнейшем следует прогнозировать и большую растительную массу на средних стадиях онтогенеза.

По расчётным показателям соотношения длины корней и длины побегов (коле-

оптилей) также можно судить о влиянии аморфного диоксида кремния на ростовые процессы семян при прорастании. Так по сравнению с контролем при обработке семян препаратом Ковелос при концентрации 30 кг/га при общем увеличении длины побегов и корней проростков показатель прироста уменьшился по сравнению с контролем для *Triticum aestivum*, *Secale cereale*, *Hordeum vulgare*, *Zea mays*. При концентрации препарата 100 кг/га расчётный индекс не изменился для *Pisum sativum* и *Hordeum vulgare*. В других разновидностях эксперимента для всех видов культурных растений зарегистрировано увеличение численного значения показателя соотношения длины корней и длины побегов. При концентрациях аморфного диоксида кремния в 700 кг/га и 1000 кг/га для овощных культур выявлены наибольшие показатели. Таким образом при увеличении концентрации препарата «Ковелос» ростовые процессы наиболее интенсивны у *Cucurbita pepo*, *Raphanus sativus*, *Phaseolus vulgaris*.

Аскорбиновая кислота (витамин С) – одно из важнейших органических веществ, определяющих стрессоустойчивость растений по отношению к абиотическим факторам, качественные характеристики растительной продукции. Валовое содержание аскорбиновой кислоты отражено в табл. 4.

Таблица 1

Прорастание семян культурных растений (% проросших семян) при обработке кремнийсодержащим удобрением

Показатель	Концентрация аморфного диоксида кремния и значения показателей											
	Концентрация 0 кг/га (контроль)											
Виды	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Всхожесть	95,3	96,7	95,4	97,2	93,4	90,1	91,3	90,2	88,3	93,2	89,1	90,3
Концентрация 30 кг/га												
Всхожесть	98,2	97,1	96,8	98,1	94,6	93,1	94,2	92,5	91,3	94,2	92,4	92,1
Концентрация 50 кг/га												
Всхожесть	99,2	97,9	97,2	98,4	95,2	94,9	95,5	93,7	93,5	95,3	94,6	93,9
Концентрация 100 кг/га												
Всхожесть	99,5	98,7	99,2	98,9	98,5	97,8	97,2	96,3	96,2	97,5	96,2	96,3
Концентрация 500 кг/га												
Всхожесть	99,1	98,2	99,1	98,3	98,2	97,3	97,0	96,0	96,3	97,2	96,1	96,0
Концентрация 700 кг/га												
Всхожесть	99,0	98,4	99,2	98,4	98,1	97,0	97,2	96,2	96,1	97,1	96,0	96,1
Концентрация 1000 кг/га												
Всхожесть	99,1	98,4	99,0	98,0	98,1	97,1	97,2	96,1	96,1	97,1	96,2	96,1

Примечание. *Семена видов растений: 1 – *Triticum aestivum*, 2 – *Secale cereale*, 3 – *Avena sativa*, 4 – *Hordeum vulgare*, 5 – *Zea mays*, 6 – *Pisum sativum*, 7 – *Phaseolus vulgaris*, 8 – *Cucumis sativus*, 9 – *Lycopersicum esculentum*, 10 – *Raphanus sativus*, 11 – *Cucurbita pepo* (тыква посевная), 12 – *Cucurbita pepo* (кабачок посевной).

Таблица 2

Метрические признаки проростков культурных растений при обработке кремнийсодержащим удобрением (экспозиция 72 ч)

Показатель	Концентрация аморфного диоксида кремния и значения показателей				
	Концентрация 0 кг/га				
Виды	1*	2	3	4	5
Длина побега, мм ($M \pm m$)	$19,7 \pm 0,9$	$18,3 \pm 0,9$	$18,9 \pm 1,0$	$20,2 \pm 1,1$	$21,1 \pm 1,2$
Длина корней, мм ($M \pm m$)	$21,1 \pm 0,9$	$19,1 \pm 0,9$	$19,3 \pm 1,1$	$22,8 \pm 0,9$	$23,4 \pm 1,1$
Концентрация 30 кг/га					
Длина побега, мм ($M \pm m$)	$19,9 \pm 0,8$	$18,8 \pm 0,9$	$19,4 \pm 1,1$	$21,3 \pm 1,2$	$21,9 \pm 1,3$
Длина корней, мм ($M \pm m$)	$21,1 \pm 0,9$	$19,1 \pm 0,9$	$19,9 \pm 1,2$	$22,8 \pm 0,9$	$23,4 \pm 1,1$
Концентрация 100 кг/га					
Длина побега, мм ($M \pm m$)	$21,9 \pm 1,1$	$20,1 \pm 0,9$	$21,2 \pm 1,2$	$22,9 \pm 1,3$	$23,5 \pm 1,4$
Длина корней, мм ($M \pm m$)	$23,5 \pm 1,2$	$21,2 \pm 1,0$	$22,4 \pm 1,2$	$24,5 \pm 1,3$	$25,8 \pm 1,3$
Концентрация 700 кг/га					
Длина побега, мм ($M \pm m$)	$23,0 \pm 1,3$	$21,5 \pm 1,2$	$22,8 \pm 1,4$	$23,5 \pm 1,5$	$24,5 \pm 1,3$
Длина корней, мм ($M \pm m$)	$24,8 \pm 1,3$	$23,1 \pm 1,2$	$25,5 \pm 1,4$	$25,8 \pm 1,3$	$26,9 \pm 1,3$
Концентрация 1000 кг/га					
Длина побега, мм ($M \pm m$)	$24,0 \pm 1,2$	$22,1 \pm 1,3$	$23,9 \pm 1,5$	$25,3 \pm 1,6$	$25,7 \pm 1,5$
Длина корней, мм ($M \pm m$)	$25,9 \pm 1,5$	$24,9 \pm 1,3$	$27,7 \pm 1,5$	$27,9 \pm 1,7$	$28,3 \pm 1,7$

Окончание табл. 2

Концентрация аморфного диоксида кремния и значения показателей						
Концентрация 0 кг/га						
6	7	8	9	10	11	12
$7,8 \pm 0,4$	$7,6 \pm 0,4$	$7,5 \pm 0,3$	$8,1 \pm 0,3$	$9,3 \pm 0,6$	$8,1 \pm 0,4$	$7,9 \pm 0,4$
$8,1 \pm 0,4$	$7,8 \pm 0,4$	$7,7 \pm 0,4$	$8,3 \pm 0,4$	$10,2 \pm 0,6$	$8,6 \pm 0,5$	$8,2 \pm 0,5$
Концентрация 30 кг/га						
$8,0 \pm 0,5$	$7,9 \pm 0,4$	$7,9 \pm 0,5$	$8,9 \pm 0,6$	$9,9 \pm 0,6$	$8,9 \pm 0,5$	$8,5 \pm 0,6$
$8,9 \pm 0,4$	$8,6 \pm 0,5$	$8,5 \pm 0,6$	$9,2 \pm 0,5$	$10,8 \pm 0,6$	$9,8 \pm 0,6$	$9,1 \pm 0,6$
Концентрация 100 кг/га						
$8,8 \pm 0,6$	$8,4 \pm 0,5$	$8,6 \pm 0,6$	$9,6 \pm 0,7$	$10,3 \pm 0,7$	$9,6 \pm 0,5$	$9,2 \pm 0,7$
$9,8 \pm 0,8$	$9,3 \pm 0,7$	$9,5 \pm 0,7$	$10,5 \pm 0,7$	$12,1 \pm 0,9$	$11,1 \pm 0,8$	$10,7 \pm 0,7$
Концентрация 700 кг/га						
$9,1 \pm 0,6$	$8,9 \pm 0,6$	$9,3 \pm 0,8$	$10,2 \pm 0,8$	$10,7 \pm 0,6$	$10,2 \pm 0,7$	$9,9 \pm 0,7$
$10,8 \pm 0,7$	$9,9 \pm 0,6$	$10,3 \pm 0,7$	$11,2 \pm 0,8$	$12,9 \pm 0,9$	$11,9 \pm 0,7$	$11,9 \pm 0,9$
Концентрация 1000 кг/га						
$9,6 \pm 0,7$	$9,8 \pm 0,6$	$9,9 \pm 0,8$	$11,1 \pm 0,9$	$11,7 \pm 0,9$	$11,0 \pm 0,8$	$10,5 \pm 0,9$
$11,4 \pm 0,8$	$11,7 \pm 0,8$	$11,6 \pm 0,6$	$12,4 \pm 0,9$	$14,3 \pm 0,7$	$12,9 \pm 0,9$	$12,7 \pm 0,8$

Примечание: *Семена видов растений. Обозначения те же (табл. 1).

Применение кремнийсодержащего препарата при возрастающей концентрации закономерно увеличивает концентрацию аскорбиновой кислоты в побегах семян: наибольшее содержание вещества диагностировалось при концентрации диоксида кремния в 700 кг/га. Различия между показателями концентраций аскорбиновой кислоты в побеговой части проростков достоверны.

Воздействие аморфного гидроксида кремния на биологические процессы у куль-

турных растений можно объяснить хорошей поглощаемостью элементов препарата: он состоит из смеси различных полигидросилоксанов и растворяется в воде очень хорошо, превращаясь в доступные для растений формы, быстро встраиваясь в состав почвенного поглощающего комплекса [3]. В почве естественных ценозов доступный для растений аморфный диоксид кремния присутствует в деятельностном горизонте в основном в виде фитоцитов, количество которых зависит от продуктивности сообществ [2, 6].

Таблица 3

Расчётные показатели метрических признаков проростков культурных растений при обработке кремнийсодержащим удобрением (экспозиция 72 ч)

Показатель	Концентрация аморфного диоксида кремния и значения показателя											
	Концентрация 0 кг/га											
Виды	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
длина корней / длина наземной части	1,07	1,04	1,02	1,13	1,11	1,04	1,02	1,03	1,02	1,10	1,06	1,04
Концентрация 30 кг/га												
длина корней / длина наземной части	1,06	1,02	1,03	1,07	1,07	1,11	1,09	1,09	1,03	1,10	1,10	1,07
Концентрация 100 кг/га												
длина корней / длина наземной части	1,07	1,05	1,03	1,07 н/и	1,09	1,11 н/и	1,11	1,10	1,09	1,17	1,16	1,16
Концентрация 700 кг/га												
длина корней / длина наземной части	1,08	1,07	1,12	1,09	1,09	1,19	1,11	1,11	1,10	1,21	1,17	1,20
Концентрация 1000 кг/га												
длина корней / длина наземной части	1,08	1,13	1,16	1,10	1,09	1,19	1,19	1,17	1,12	1,22	1,17	1,21

Примечание: *Семена видов растений. Обозначения те же (табл. 1).

Таблица 4

Показатели концентрации аскорбиновой кислоты (мг / 100 г) проростков культурных растений при обработке кремнийсодержащим удобрением (экспозиция 96 ч)

Показатель	Концентрация аморфного диоксида кремния и значения показателя											
	Концентрация 0 кг/га											
Виды	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C _{AK} , мг / 100 г	9,3	8,6	8,9	8,4	9,1	7,3	7,5	8,1	8,9	11,8	7,8	8,3
Концентрация 30 кг/га												
C _{AK} , мг / 100 г	9,9	8,9	9,4	8,9	9,6	7,8	7,9	8,7	9,4	12,6	8,4	8,7
Концентрация 100 кг/га												
C _{AK} , мг / 100 г	10,5	9,4	9,7	9,4	10,1	8,5	8,5	9,2	9,6	12,9	8,9	9,1
Концентрация 700 кг/га												
C _{AK} , мг / 100 г	10,7	9,8	9,9	9,8	10,3	8,6	8,7	9,4	9,7	13,1	9,2	9,3
Концентрация 1000 кг/га												
C _{AK} , мг / 100 г	10,8	9,7	9,9	9,9	10,2	8,7	8,6	9,5	9,5	13,0	9,1	9,2

Примечание: *Семена видов растений. Обозначения те же (табл. 1). C_{AK} – концентрация аскорбиновой кислоты в побегах (колеоптилях злаковых).

Таким образом, в экспериментах показано положительное влияние кремнийсодержащего препарата на ростовые и продукционные показатели культурных растений на ранних стадиях онтогенеза. Целесообразно, используя раствор аморфного диоксида кремния, повышать всхожесть семян исследуемых видов, в средней концентрации. Наиболее отзывчивыми на обработку препаратом «Ковелос» оказались семена овощных и бобовых культур, злаковых – в наименьшей степени. Отмечена видовая специфичность

реакции растений на различные концентрации при предпосевной обработке семян препаратом «Ковелос». Эта особенность объясняется тем, что миграция кремния внутри растения, вероятно, осуществляется в основном в форме поликремниевой кислоты с помощью специальных транспортных ферментов, различающихся у видов [11].

Позитивные тенденции в ростовых процессах культурных растений на ранних стадиях онтогенеза несомненны, поэтому применение кремнийсодержащих удобрений можно

рекомендовать для увеличения урожайности в результате ускорения развития. Препарат «Ковелос» также будет полезен при химической мелиорации почв, например, терриконов, песчаных карьеров для интенсификации биологических процессов у фитомелиорантов и повышения почвенного плодородия.

Список литературы

1. Вернадский В.И. Биогеохимическая роль алюминия и кремния в почвах // Докл. АН СССР. – 1938. – № 21(3). – С. 127–130.
2. Боброва Е.К. Биогенный кремний в почвах сложного генеза [Текст]: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – М.: МГУ, 1995. – 16 с.
3. Борисов М.В. Экспериментальное исследование форм нахождения кремниевой кислоты в растворах [Текст]: автореф. дисс. ... канд. геол.-минер. наук. – М.: МГУ, 1976. – 28 с.
4. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур: методы определения всхожести [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2011. – 64 с.
5. ГОСТ 24556-89 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С [Текст]. – М.: ИПК Изд-во Стандартов, 1989. – 11 с.
6. Добровольский Г.В., Бобров А.А., Гольева А.А., Шоба С.А. Опаловые фитоциты таёжного биогеоценоза средней тайги // Биологические науки. – 1988. – № 2. – С. 96–101.
7. Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике [Текст] / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1990. – 296 с.
8. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова [Текст] / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1985. – 263 с.
9. Пашкевич Е.Б., Киришин Е.П. Роль кремния в питании растений и защита сельскохозяйственных культур от фитопатогенов // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 2. – С. 52–57.
10. Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Кособрюхов А.А. О подвижных формах кремния в растениях // Докл. РАН. – 2008. – № 418(2). – С. 279–281.
11. Матыченков И.В. Взаимное влияние кремниевых, фосфорных и азотных удобрений в системе: почва-растение [Текст]: Дис. ... канд. биол. наук. – М.: МГУ, 2014. – 136 с.
12. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств [Текст] / С.К. Черепанов. – СПб.: Мир и семья, 1995. – 992 с.
13. Ma J.F., Takahashi E. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan. – Netherlands: Elsevier, 2002. – 281 p.
14. Yoshida S. The physiology of silicon in rice // Food Fert. Tech. Centr. Bull. – 1975. – № 25. – P. 35–39.

УДК 635.657 (572.2)

ПРОДУКТИВНОСТЬ НУТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКОВ И СХЕМ ПОСЕВА В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ ЧУЙСКОЙ ДОЛИНЫ**¹Асаналиев А.Ж., ¹Султанбаева В.А., ²Хегай С.В., ¹Содомбеков И.С.**¹Кыргызский национальный аграрный университет им. К.И. Скрябина,

Бишкек, e-mail: asanaly61@mail.ru;

²Институт биотехнологии НАН КР, Бишкек

В Кыргызстане за 1990–2014 гг. в девятнадцать раз выросли площади зерновых бобовых культур и составили в 2014 году 61 000 га, это произошло главным образом за счет роста площадей фасоли и расширением посевов нута в северной части страны. Между тем в стране нет научно обоснованных рекомендаций по выращиванию нута. Изучена продуктивность сортов нута Кыргызский местный и Юлдуз в пожнивном посеве 1 мая, 15 мая и 1 июня на северных обыкновенных сероземах Чуйской долины Кыргызской Республики. В каждом сроке сева оптимальной схемой является 45х15 см. Откладывание пожнивных сроков сева на 15 дней существенно снижает продуктивность растений нута. Сильнее реагирует на это сорт Кыргызский местный при схеме посева 60х15 см и 45х15 см. При пожнивном посеве на месяц позже также сильно реагирует снижением урожая сорт Кыргызский местный. На откладывание срока сева на 15 и 30 дней сорт Юлдуз реагирует слабее, чем сорт Кыргызский местный. Проведенный нами дисперсионный анализ урожайных данных показывает, что сильное влияние на урожайность зерна оказывают сроки сева (доля фактора А 56,2–68,8%), затем схемы сева (доля фактора В 22,5–34,8%) у сорта Кыргызский местный. У сорта Юлдуз также сильно выражен фактор сроков сева (48,4–72,2%) и меньше степенью схемой сева (19,8–34,0%). Синергизм действия двух факторов у обоих сортов также различны. В среднем за три года взаимодействие факторов у сорта Кыргызский местный – 6,24%, у сорта Юлдуз – 4,0%.

Ключевые слова: нут, зерно, урожайность, посев**PRODUCTIVITY OF CHICKPEA DEPENDINDING OF SOWING DATE AND SOWING SCHEME IN THE FOOTHILL ZONE OF CHUI VALLEY****¹Asanaliev A.Zh., ¹Sultanbaeva V.A., ²Khegay S.V., ¹Sodombekov I.S.**¹Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Skryabin, Bishkek, e-mail: asanaly61@mail.ru;²Biotechnology Institute of the NAS KR, Bishkek

In Kyrgyzstan, for the period from 1990 to 2014 nineteen times increased grain and legume areas and in 2014 they compose 61 000 ha, this was mainly due to the growth and expansion of areas of beans chickpea crop in the northern part of the country. Meanwhile, there are no scientific based recommendations for the cultivation of chickpea. Has been studied productivity of chickpea varieties Kyrgyzskii Mestnyi and Yulduz sowing dates on May 1, May 15 and June 1 in the grey-brownish soil in northern Chui valley of the Kyrgyz Republic. In each time of sowing, optimum scheme was 45х15 cm. Delay of sowing dates for 15 days significantly reduces the productivity of chickpea crops. More sensitive for factor of sowing dates was variety Kyrgyz local in sowing schemes 60х15 cm and 45х15 cm. Delay of sowing a one-month also significantly decrease productivity of variety Kyrgyzskii Mestnyi. Delaying of the sowing period from 15 to 30 days variety Yulduz has been respond poorly than variety Kyrgyzskii Mestnyi. Our own analysis of variance for the yielding data showed that sowing date (factor A 56,2–68,8%) and then sowing schemes (factor B 22,5–34,8%) significantly had strong impact for the grain yielding in variety Kyrgyzskii Mestnyi. There was also noticed strong effect in sowing date (48,4–72,2%) and less in planting scheme (19,8–34,0%) in variety Yulduz. The synergy of two factors in both varieties was also different. On the average during three years the interaction of factors in variety Kyrgyzskii Mestnyi – 6,24%, in variety Yulduz – 4,0%.

Keywords: chickpea, grain, productivity, sowing

Нут – это пищевая бобовая культура, выращиваемая в прохладном климате на 13 млн га в 50 странах мира, со средней урожайностью 8 ц/га. Из них 23 страны считаются наиболее важными, ежегодные средние площади под данную культуру составляют более 16000 га. Нут – это, скорее всего, первое или второе богарное, холодного времени выращивания бобовое растение, возделываемое мелкими фермерами в полусухих тропиках (SAT – Semi-Arid Tropics) и регионе Западной Азии и Северной Африки (WANA – West Asia and North Africa). Эта культура выра-

щивается также в южной и восточной Африке (особенно важна в Эфиопии), Европе, Америке и больше в последнее время в Австралии [3; 6].

Ежегодное производство зерна нута более 13 млн т. Крупными производителями зерна нута являются азиатские страны, на долю которых приходится 87,3% мирового производства. Крупнейшим производителем считается Индия – 8,832 млн тонн, Турция – 549 тыс. т, Пакистан – 579 тыс. т, Австралия – 813 тыс. т, остальная часть производства приходится на другие страны [12].

Нут является источником белка для миллионов людей в Южной Азии, поскольку многие жители являются вегетарианцами, или из-за социально-экономических причин. Нут имеет высокое содержание протеина (20–22%), богат клетчаткой, минералами (фосфор, кальций, магний, железо и цинк) и бета-каротином. Богатое содержание ненасыщенных кислот липидной фракции. Растения нута обеспечивают себе 80% потребностей азота через симбиотический азот и аккумулируют в почве более 150 кг/га [7].

Наибольшие посевы нута в мире находятся в Индии. Исследования ученых показывают, что недоступность семян новых сортов фермерам происходит из-за неадаптированности новых сортов. Имеется острая нужда в качественных семенах новых сортов на уровне домохозяйств, цены их при этом могли быть в соответствии способностям этих фермеров. Потому что семеноводство нута со стороны неправительственных организаций, фермерских групп и отдельных фермеров имеет важное значение в адаптации новых сортов. Прикладные исследования ученых по нуту показали следующие результаты: растение нута реагирует на высокую температуру (выше 35°C) и на низкую (максимум и минимум суточной температуры ниже 15°C), что отражается на репродуктивных возможностях. Появление всходов 7–15 дней после посева в зависимости от тепла и глубины посева. В зависимости от сорта, места, влаги почвы и условий среды рост растений до цветения продолжается 40–80 дней. Пыльники раскрываются за 24 часа до раскрытия цветка. В желательных условиях время от оплодотворения до появления бобика 6 дней. После появления бобик растет быстро и достигает окончательной длины через 10–15 дней [4].

В Австралии нут прибыльная культура. Содержание нута в севообороте полезно из-за того, что он фиксирует азот и обеспечивает следующим злаковым чистое поле от сорняков и болезней. Нут приспособлен к жаркой среде и устойчив к высоким температурам в период и после цветения по сравнению с другими зимующими бобовыми, такими как бобы, люпин и горох полевой. Оптимальные сроки посева колеблются в зависимости от регионов: в Central 3-я декада апреля – 1-я декада мая, в Maranoa/Balonne – 1-я декада мая, в Western Downs – в течение мая месяца, в Darling Downs – 3-я декада мая, 1-я и 2-я декада мая, равнине Liverpool – 3-я декада

мая и весь июнь, Central NSW (gray soil) – 3-я декада мая и весь июнь [8].

В Израиле в условиях орошения урожай нута увеличивается при увеличении густоты растений до 50 растений/м². Оптимальная густота растений орошаемого нута 25 растений/м². Saxena же сообщил, что удвоение густоты стояния с междурядьем 30 см от 60 см дало 52% увеличения урожайности [11].

В Пакистане условиях двух зон изучены нормы высева 16, 32, 48, 64, 80 и 96 кг/га для трех сортов: RC-32, C-235 & C-727. Посев был проведен 14 октября в Пешеваре и 19 октября Ratta Kulachi. Междурядье 30 см. Убран 27 апреля и 5 мая соответственно. Низкая урожайность зерна 917 кг/га была получена на низкой норме высева (16 кг/га) и высокая урожайность (1674 кг/га) была получена на норме высева 96 кг/га. В Пешеваре высокую урожайность показал сорт RC-32 (1552 кг/га). Статистически низкий урожай 1444 и 1152 кг дали сорта C-235 и C-727 соответственно. Высокое взаимодействие по урожаю (2042 кг) между сортом RC-32 и нормой высева 96 кг/га. Этот сорт дал высокий урожай во всех комбинациях нормы высева. Вслед за ним у сорта C-727 на всех нормах высева дал низкий урожай за исключением нормы высева 96 кг/га, и это было выше, чем у сорта C-235. Таким образом, увеличение урожайности семян повышалось с увеличением нормы высева, низкий урожай был на малой норме высева. Это согласуется с данными других ученых. Это может объясняться повышенным количеством растений на единице площади, синтезом большого количества сухого материала растениями при больших нормах высева, а также другими компонентами урожая, такими как количество бобиков, семян в бобиках, размеры семян [1]. Количество растений нута на единице площади влияет на размер растений, структуру урожая и соответственно на урожай семян [2].

Содержание нута в севообороте полезно из-за того, что он фиксирует азот и обеспечивает последующим злаковым культурам чистое поле от сорняков и болезней. Растения нута приспособлены к жаркой среде и устойчивы к высоким температурам в период и после цветения по сравнению с другими зимующими бобовыми, такими как бобы, люпин и горох полевой. Хорошо растет на жирных суглинках с нейтральной pH средой. Не выдержива-

ет засоления и супесчаных почв. Высокое содержание хлоридов в подпахотном слое (40–80 см) очень нежелательно. Нут не приспособлен к близкому залеганию грунтовых вод, и не рекомендуется его размещение на затопляемых лугах [5].

В странах, возделывающих нут, определены два типа: *Desi* и *Kabuli*. *Desi* тип – семена с тонкой кожурой, цвет состоит из различного сочетания желтого, коричневого, зеленого и черного оттенков. Цветки главным образом розовые. Этим типом заняты 80–85 % посевных площадей возделывания нута. *Kabuli* тип характеризуется семенами светлой окраски и тонкой и ровной кожурой. Цветки белой окраски, в стеблях отсутствует пигментация. Зерна также мало содержат клетчатки, но много сахара. Семена крупные и пользуются рыночным спросом. В Кыргызской Республике преимущественно выращивают второй тип.

За 1990–2014 гг. девятнадцать раз выросли площади зерновых бобовых культур и составили в 2014 г. 61 000 га, это произошло главным образом за счет роста площадей фасоли и расширением посевов нута в северной части страны.

В нашей стране нут все еще остается огородной культурой, и в государственной статистике его площади находятся среди прочих бобовых культур. В документах Национального статистического комитета только площади посева фасоли указываются отдельно. Между тем многие фермерские хозяйства Ошской, Джалал-Абадской и Баткенской областей возделывают нут для получения пищевого зерна. В 2000-е гг. его посевы уже появились в Чуйской долине. В то же время исследования по нуту в предгорной зоне на северных обыкновенных сероземах не проводились.

Цель исследований – разработка сроков и схем посева для сортов нута в пожнивном посеве, на основе которых можно получить высокие и устойчивые урожаи зерна, способствующие продовольственной безопасности и питанию людей.

Материалы и методы исследования

Полевые исследования проводились в 1999–2001 гг. на полях крестьянского хозяйства «Дыйкан». Пожнивная культура – озимая пшеница сорта Лютеценс 801. Объектом исследований были сорта Юлдуз и Кыргызский местный. Сроки посева: 1 мая, 15 мая и 1 июня. Схемы посева 30x15, 45x15, 60x15 см для обоих сортов. Учетная площадь делянки опыта 57,2 м² (5,2x11 м), размещение делянок рендомизированное в четырехкратной повторности. Для посева использовалась сеялка СКОН – 2.6.

Экспериментальный участок располагался на северных обыкновенных сероземах на высоте 900 м над уровнем моря. Почва не засолена. Реакция почвенной среды слабощелочная, pH от 7,5 до 8,0. Содержание гумуса колебалось от 2,5 до 2,7 % в пахотном слое и от 0,7 до 1,3 % в подпахотном. Количество валового азота составляло 0,10–0,18 %, фосфора 0,12–0,28 %, калия 2,4–3,3 %. По содержанию подвижных форм фосфора и калия почва относится к среднеобеспеченным. Легко усвояемых фосфатов содержалось в пахотном слое 2,8–3,9 мг на 100 г почвы, обменного калия 12–26 мг.

Результаты исследования и их обсуждение

Урожайность сельскохозяйственных культур является показателем, в котором четко отражается влияние агротехнических приемов или иных внешних воздействий на растение. В таблице показаны данные о влиянии сроков сева и схем размещения растений на урожайность нута.

Из таблицы видно, что продуктивность сорта Кыргызский местный больше, чем у сорта Юлдуз, во всех сроках пожнивного посева. Наибольшее влияние на урожайность была дата посева в начале мая у обоих сортов нута.

Изреженная густота стояния растений (60x15 см) по сравнению с загущенной схемой посева 30x15 см способствовало повышению урожайности. Схема посева 45x15 см обеспечила максимальную урожайность до 31 ц/га. Такое влияние схем посева распространяется на все сроки посева у обоих сортов.

В Израиле удвоение густоты стояния с междурядьем 30 см по сравнению 60 см дало увеличения урожайности на 52 % [11]. На севере Австралии наиболее эффективным считают междурядье 50–100 см при нулевой обработке почвы [8]. Из Индии есть сообщение, что соблюдение междурядья в 45 см позволяет увеличить урожай нута по сравнению с междурядьями при 30 и 50 см [10]. Другие исследователи утверждают, что в условиях сезона дождей междурядья 30 см и 45 см имели одинаковый эффект по характеристике растений и урожайности [12].

На востоке штата Орегон Соединенных Штатов Америки откладывание срока посева от начала до конца апреля снизило урожайность нута. Сорт Dwelley дал более высокий урожай на широких междурядьях (12-inch), чем узких (6-inch). Сорт Sinaloa показал высокий урожай с узкими междурядьями, чем с широкими. Во всех сроках посева малая густота (2.1 plants/ft²), схемы посева не повлияли на урожай зерна [9].

Урожайность нута в зависимости от сроков и схем посева, ц/га

Сорта	Сроки посева	Схемы посева, см	Урожайность по годам			Среднее за 3 года
			1999	2000	2001	
Кыргызский местный	1 мая	60x15	23,1	30,8	24,7	26,2
		45x15	25,1	37,1	30,8	31,0
		30x15	19,5	24,4	20,6	21,5
	15 мая	60x15	21,2	25,5	20,4	22,3
		45x15	23,0	27,9	24,7	25,2
		30x15	18,6	23,5	20,6	20,9
	1 июня	60x15	12,7	17,7	16,4	15,6
		45x15	13,4	23,1	17,5	18,0
		30x15	10,8	16,4	15,7	14,3
Юлдуз	1 мая	60x15	20,5	26,3	22,5	23,1
		45x15	21,2	31,4	24,8	25,8
		30x15	17,1	19,4	20,5	19,0
	15 мая	60x15	15,9	23,4	18,6	19,3
		45x15	18,0	23,0	24,4	21,8
		30x15	14,5	20,2	16,3	17,0
	1 июня	60x15	10,1	17,8	14,7	14,2
		45x15	12,1	22,8	15,2	16,7
		30x15	8,9	17,5	12,6	13,0
Для сорта Кыргызский местный		НСР05, ц/га	1,98	1,65	1,05	
		Sx%	2,32	2,41	2,51	
Для сорта Юлдуз		НСР05, ц/га	2,04	1,05	2,02	
		Sx%	2,5	1,82	2,12	

Полученные нами данные также перекликаются с результатами исследований, предоставленными из Индии и Израиля. Как видно из таблицы, оба сорта одинаково реагировали на изменение сроков сева и схем посева. Откладывание пожнивных сроков сева на 15 дней существенно снижало продуктивность растений нута. При этом реакция сортов на данный фактор различна по разным схемам сева. Сильнее реагировал сорт Кыргызский местный при схеме посева 60x15 см и 45x15 см. При пожнивном посеве, через месяц, проявил со значительным снижением урожая сорт Кыргызский местный. При задерживании срока сева на 15 и 30 дней сорт Юлдуз реагировал слабо.

Проведенный нами дисперсионный анализ урожайных данных показывает, что сильное влияние на урожайность зерна оказывают сроки сева (доля фактора А 56,2–68,8%), затем схемы сева (доля фактора В 22,5–34,8%) у сорта Кыргызский местный. У сорта Юлдуз также сильно выражен фактор сроков сева (48,4–72,2%) и в меньшей степени схемой сева (19,8–34,0%). Синер-

гизм действия двух факторов у обоих сортов также различен. В среднем за три года взаимодействие факторов у сорта Кыргызский местный – 6,24%, у сорта Юлдуз – 4,0%.

Таким образом, оптимальным сроком при пожнивном посеве нута является начало мая. Увеличение густоты стояния за счет загущения посевов схемой сева 30x15 см и изреживание посевов, применяя схему посева 60x15 см, приводит к снижению продуктивности зерна нута. Оптимальной схемой посева для обоих сортов является 45x15 см.

Заключение

В оптимальных пожнивных сроках сева нужно применять сорт Кыргызский местный, а в случае запаздывания со сроками сева подходящим для посева – сорт Юлдуз со схемой сева 45x15 см.

Список литературы

1. Aziz A. Chickpea seed yield as influenced by seeding densities / A. Aziz, A. Khan, M. Salim // Pakistan J. Agric. Res. – 1988. – Vol. 9, № 3. – P. 346–351.
2. Beech D.F. Effect of plant density and row spacing on the yield of chickpea (cv. Tyson) grown on the Darling Down, South-eastern Queens land. / D.F. Beech, G.L. Leach. Aust. J. Exp. Agric. – 29(2). – P. 241–246.

3. Crops gallery: Chickpea (En) / Pois chiche (Fr).-Cicer arietinum L. Chickpea – ICRISAT, Patancheru. 2014. URL [http://www.icrisat.org/Text/coolstuff/.../gcrops5.html (дата обращения: 17.01.16)].
4. Chickpea seed production [Текст]: manual / P.M. Gaur, S. Tripathi, C.L.L. Gowda, G.V.R. Rao, H.C. Sharma, S. Pande, M. Sharma. – ICRISAT, Patancheru 502324, Andhra Pradesh, India, 2010 – 28 p.
5. Crawford P.J. The reference librarian and the business professor: a strategic alliance that works / P.J. Crawford, T.P. Barrett // Ref. Libr. – 1997. Vol. 3, № 58. – P. 75–85.
6. Dixit G.P. All India coordinated research project on chickpea ICAR-Indian institute of pulses research Kanpur 208024 // Annual report 2014–2015 chickpea: URL: http://www.aicrpchickpea.res.in/preface.htm (дата обращения: 18.02.2016).
7. Felton W.L., Marcellos H., Murison R.D. The effect of row spacing and seeding rate on chickpea yield in northern New South Wales // In proceedings of the 8th Australian agronomy conference (January, 1996). – Queensland, Australia: The Australian Society of Agronomy, 1996. – P. 250–253.
8. Gumming G. Chickpea: Effective crop establishment, sowing window, row spacing, seeding depth and rate / G. Gumming, L. Jenkins // Australia, Northern pulse bulletin. – 2011. – № 7. – P. 1–4.
9. Machado S. Seeding date, plant density, and cultivar effects on chickpea yield and seed size in eastern Oregon. / S. Machado, C. Humphreys, B. Tuck, M. Corp // Crop management – 2006. – T. 5, № 1.
10. Panwar K.S. Effect of plant density and row spacing on the yield of chickpea. / K.S. Panwar A.S. Faroda, D.S. Malik, L.P.S. Ahhawat, K.K. Dhingra, M.R. Rao, S. Jublee // Soc. Agron. – 1980. – P. 1955–1980.
11. Saxena M.C. Plant population of chickpea. Recent advances in chickpea agronomy // Proc. intern. workshop on chickpea improvement. – Hyderabad, India. – 1979. – P. 89–96.
12. Singh G., Sekhon H.S. Effect of row spacing and seed rate on the growth and grain yield of desi chickpea (Cicer arietinum) genotypes. // The Indian Journal of Agricultural Sciences. – 2006. – Vol. 76, № 6 – P. 375–376.
13. UN Food & Agriculture Organization // Production of chickpea by countries. 2014. URL: http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor (дата обращения: 17.01.16).

УДК 633.32

ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ КОМПЛЕКСНОГО УДОБРЕНИЯ НА СТАБИЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО (*TRIFOLIUM PRATENSE*)

¹Бибик Т.С., ¹Щукин И.М., ²Баранов С.Г.

¹ФГБ НУ «Владимирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, п. Новый, e-mail: tabibik@yandex.ru;

²ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», Владимир, e-mail: bar.serg58@gmail.com

Было проведено изучение влияния двух доз комплексного удобрения на стабильность развития клевера лугового в условиях серой лесной среднесуглинистой почвы (г. Суздаль, Владимирская область). Стабильность развития оценивалась с помощью флуктуирующей асимметрии (ФА) пяти признаков по нормирующей формуле. Наиболее удобными билатерально-симметричными признаками для определения ФА являлись следующие: длина хорды на среднем листочке; длина супротивных боковых листочков; ширина супротивных боковых листочков; длина хорды на каждом из боковых листочков и ширина хорды на каждом из боковых листочков. Величина эксцесса разности величин признаков была не менее – 0,9, что говорило об отсутствии антисимметрии. Парный t тест не показал присутствия направленной асимметрии (H_0 ; $p > 0,05$). Внесение удобрения с формулой $N_{30}P_{30}K_{30}$ вызывало наименьшее отклонение в стабильности развития по сравнению с контролем. Растения, выращенные в контроле и при двукратно повышенной дозе удобрения ($N_{60}P_{60}K_{60}$), показали повышенную величину флуктуирующей асимметрии ($p < 0,05$), что соответствовало пониженному уровню стабильности развития. Следовательно, внесение умеренных доз нитроаммофоски на почвах Ополья является предпочтительным для стабильного развития клевера лугового. Увеличение зеленой массы клевера сопровождалось резким снижением содержания азота (NO_3) в почве с понижением стабильности развития, что свидетельствовало о разбалансировке внутренних механизмов гомеостаза. Отмечается, что метод нормирующей разности был наиболее удобным для определения величины ФА по сравнению с методом геометрической морфометрии. Метод определения ФА с помощью дисперсии разности величин признаков был также неудобен из-за высокого отклонения этой разности от нормального распределения.

Ключевые слова: стабильность развития, флуктуирующая асимметрия, клевер луговой

EFFECT OF MINERAL FERTILIZER ON RED CLOVER DEVELOPMENTAL STABILITY

¹Bibik T.S., ¹Schukin I.M., ²Baranov S.G.

¹Vladimir Scientific Research Institute of Agriculture, Novyi, e-mail: tabibik@yandex.ru;

²Vladimir State University (VSU), Vladimir, e-mail: bar.serg58@gmail.com

It was studied the effect of 2 doses of complex fertilizers NPK on the stability of a clover meadow under gray forest soils (Suздal, Vladimir region). Developmental stability was evaluated by the fluctuating asymmetry (FA) of the five traits at normalizing formula. The most convenient bilaterally symmetric features for determining FA were the following: the length of the chord on the middle leaf; the length of opposite lateral leaves; the width of opposite side leaves; the length of the chord on each of the side leaves and the width of the chord on each of the side leaves. The magnitude of the kurtosis of the difference in the sign values was not less than – 0,9, which indicated the absence of antisymmetry. The paired t test did not show the presence of directional asymmetry (H_0 ; $p > 0,05$). Adding fertilizer with formula $N_{30}P_{30}K_{30}$ caused the smallest deviation in the developmental stability in comparison with the control. Plants grown in the control and in the twice increased dose of fertilizer ($N_{60}P_{60}K_{60}$) showed increased value of fluctuating asymmetry ($p < 0,05$), which corresponded to a reduced level of stability. Therefore, the introduction of middle doses of NPK in soils Opolye is preferred. The increase in the green mass of clover was combined with a decrease in the stability of development, which indicated the imbalance of the internal mechanisms of homeostasis. It is noted that the normalizing difference was the most convenient method in the testing FA over the method of geometric morphometry. The method of determining FA by means of variance in the difference of the characteristic values was also inconvenient because of the high deviation from the normal distribution.

Keywords: developmental stability, fluctuating asymmetry, red clover

Клевер луговой (*Trifolium pratense*) – важное сельскохозяйственное растение, используемое в севообороте. Клевер способствует накоплению азота в почве и используется как кормовая культура. В последние годы во всех объектах Российской Федерации урожайность сена клевера красного снизилась в связи с резким дефицитом минеральных удобрений. В то же время практика показывает, что при соблюдении агротехники возделывания урожайность

не только не снижается, но и повышается. Культивирование клевера представляет собой многосторонний процесс, в котором необходимо учитывать популяционные характеристики этого растения.

Стабильность развития – онтогенетическая характеристика популяционного сообщества, определяемая по уровню флуктуирующей асимметрии (ФА) парных билатерально симметричных признаков. Шкала нестабильности, составлен-

ная на основе индексов ФА, показывает в баллах степень неблагополучия среды. Продолжают совершенствоваться как методы оценки величины ФА, так и шкально-балльная оценка уровня стабильности развития. Одновременно ведутся работы по оценке действия факторов, влияющих на стабильность развития [3]. В исследованиях, проводимых по определению ФА клевера разных видов, были получены данные о его биоиндикаторных свойствах, генетических особенностях [8] и влиянию различных факторов на стабильность развития [1, 2, 4, 6, 7].

Целью настоящей работы было изучение влияния дозы минеральных удобрений на уровень ФА листовых пластин клевера лугового (сорт Марс).

Материалы и методы исследования

Растения клевера сорта Марс характеризуются зимостойкостью и раннеспелостью. Растения тетраплоидны с максимальной урожайностью сухого вещества 12 т/га, семян – 500 кг/га. Содержание сырого протеина в сухом веществе 17,0–19,0%, клетчатки – 25,0–27,0%. Куст прямостоячий, с количеством междоузлий около семи. Высота стеблей в первом укосе достигает 80–100 см. Облиственность первого укоса составляет 48–60%, второго – 58–82%.

Благодаря высокому потенциалу кормовой продуктивности, высокой конкурентной способности этот сорт обеспечивает высокое производство разных видов зеленых и сухих кормов при сенокосном и пастбищном использовании, т.к. это хороший предшественник для зерновых культур.

Работа выполнялась в период вегетационной активности растений 2016 г. на стационарном опыте Владимирского научно-исследовательского института сельского хозяйства (г. Суздаль) на серой лесной слабокислой среднесуглинистой почве ($pH = 5,3$) в 2-х кратной повторности при использовании 3-х уровней интенсификации, которые создавались за счет расчетных доз удобрений: контроль (экстенсивный) – без удобрений; поддерживающий – $N_{30}P_{30}K_{30}$ (187,5 кг/га) нормальный – $N_{60}P_{60}K_{60}$ (375 кг/га) на традиционной отвальной обработке почвы (лущение стерни + подъем зяби – вспашка на глубину 20–22 см). В качестве удобрения использовалась нитроаммофоска – NPK16:16:16. Предшественник – ячмень. В опытах применялась агротехника, рекомендованная для зоны Владимирского ополья.

Урожайность учитывали парцеллярным способом, используя рамку площадью 1 м²; отбор снопов с парцелл выполняли по регулярной сетке на всех уровнях интенсификации.

Фенологические наблюдения за ростом и развитием растений проводили по Доспехову (1968); содержание нитратного азота – потенциометрическим методом с помощью ион-селективного электрода; подвижного фосфора – по Кирсанову; обменного калия – по Масловой; статистическая обработка выполнялась по программе STATISTICA 6,0, Surfer 7,0.

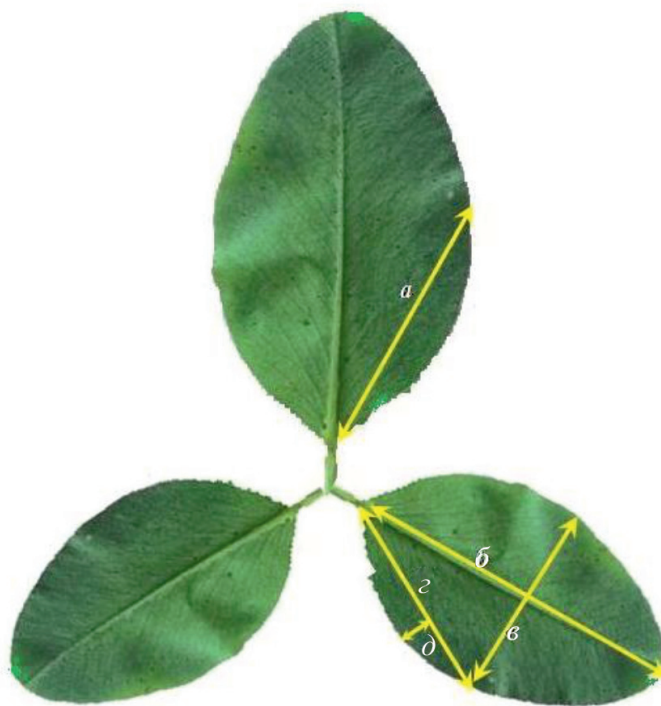


Рис. 1. Признаки для определения ФА (по В.М. Захарову, 2000): а) длина хорды на среднем листочке; б) длина супротивных боковых листочков; в) ширина супротивных боковых листочков; г) длина хорды на каждом из боковых листочков

Для определения ФА использовались 9 парных билатерально симметричных признаков (Захаров, 2000). Однако не все признаки были удобны. Некоторые, такие как, число и характер ветвления жилок второго порядка (признаки № 1–4) были явно не удобны: слишком малы для измерения мерной линейкой или программными средствами, в отличие от признаков с 5-го по 9-ый. Было использовано от 20 до 25 растений, с каждого – от 3-х до 5-ти листовых пластин, ближайших к цветку. Было проведено всего 1500 измерений 5–9-го признаков (рис. 1).

Определение величины ФА проводилось по формуле нормирующей разности $FA = |П-Л|/(П + Л)$, где П и Л соответственно величина правого и левого гомологичных признаков (Palmer, 1998; Захаров, 1996, 2000). Альтернативной формулой для определения ФА являлась формула для дисперсии разности величин (П–Л).

Для измерения использовалась миллиметровая линейка (ГОСТ427-75). Ошибка измерения, полученная после трехкратного измерения случайно выбранного признака, не превышала 10% величины измеряемого признака. Все вычисления, статистические анализы и характеристики выборок (П–Л) проводились в программе MSExcel 2007.

Результаты исследования и их обсуждение

Величина эксцесса распределения (П–Л) ни в одном из признаков не показала значения ниже – 2, что указывало на отсутствие антисимметрии, хотя отклонение от нормального распределения имело место, например, в выборках с величиной эксцесса выше двух (таблица).

Величина ФА и эксцесса выборок (П–Л)

№ п/п	Образец	ФА	Эксцесс, γ (П–Л) в признаках а-е					
			а	б	в	г	д	
1	$N_{30}P_{30}K_{30}$	$0,043 \pm 0,01$	4,0	1,3	– 0,9	– 0,1	4,0	$0,143 \pm 0,060$
2	$N_{60}P_{60}K_{60}$	$0,195 \pm 0,06$	4,0	0,7	1,4	3,9	– 0,4	$0,594 \pm 0,03$
3	контроль	$0,131 \pm 0,03$	2,4	1,0	0,7	0,2	1,8	$0,255 \pm 0,07$

Примечание.

$$\sigma_d^2 = \frac{\sum (d_{l-r} - M_d)^2}{n-1},$$

где

$$M_d = \frac{\sum d_{l-r}}{n}; \quad d_{l-r} = \frac{2(d_l - d_r)}{d_l + d_r};$$

d_l – значение признака на левой стороне;

d_r – значение признака на правой стороне;

M_d – среднее различие между сторонами;

n – число промеров (численность выборки);

σ_d^2 – дисперсия различий между сторонами относительно среднего различия.

Альтернативная формула определения ФА с помощью дисперсии (σ_d^2) величин П и Л была неудобна из-за высокого отклонения дисперсии от нормального распределения (тест Колмогорова, $p < 0,05$).

Метод геометрической морфометрии был также неудобен из-за формы листовой пластины без выраженных изгибов, лопастей или четко обозначенных билатерально-симметричных жилок.

Во всех выборках не было получено данных, указывающих на присутствие направленной асимметрии, т.к. парный t-тест ($H_0: П = Л$) показал уровень вероятности p ошибки альтернативной гипотезы бо-

лее 0,05. Не было получено корреляции между величиной ФА и величиной признака ($r = -0,4$; $p > 0,05$).

Доза № 1 вызывала наименьшее отклонение в стабильности развития (ФА = $0,043 \pm 0,01$) по сравнению с контролем и дозой № 2 ($p < 0,05$). Доза № 2 значительно превышала величину ФА в контроле ($0,195 \pm 0,06$ и $0,131 \pm 0,03$, рис. 2, $p > 0,05$).

Выводы

Многолетнее использование почв приводит к снижению минеральных веществ, что приводит к стрессовому состоянию

и отклонению в стабильности развития. Причиной снижения стабильности развития при высоких дозах НАФК может быть переход клубеньковых бактерий на питание минеральными формами азота, в результате чего тормозится процесс азотификации [5]. Известно также, что повышенные дозы азотных удобрений ослабляют накопление в травянистых растениях кальция

и магния, нарушая оптимальное соотношение этих минералов. Наконец третьей причиной отклонения от билатеральной симметрии может служить накопление нитратного азота и мочевины. Все три фактора могут совместно служить стрессом, вызывающим ингибирование ферментов, контролирующих процессы онтогенетического формирования билатеральных структур.

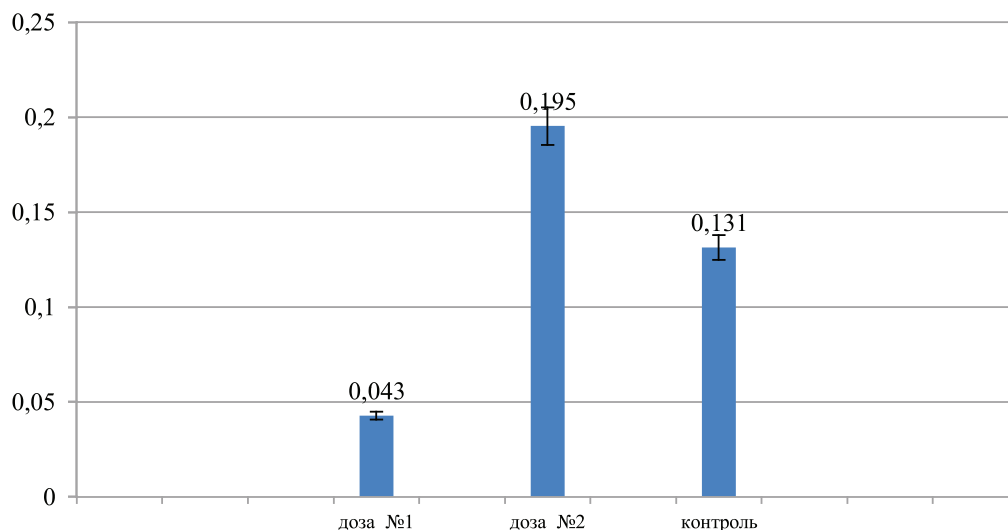


Рис. 2. Величина ΦA в зависимости от вносимой дозы НАФК (доза № 1 – $N_{30}P_{30}K_{30}$, доза № 2 – $N_{60}P_{60}K_{60}$); планки погрешностей взяты с относительными ошибками с использованием 5 %-ных значений

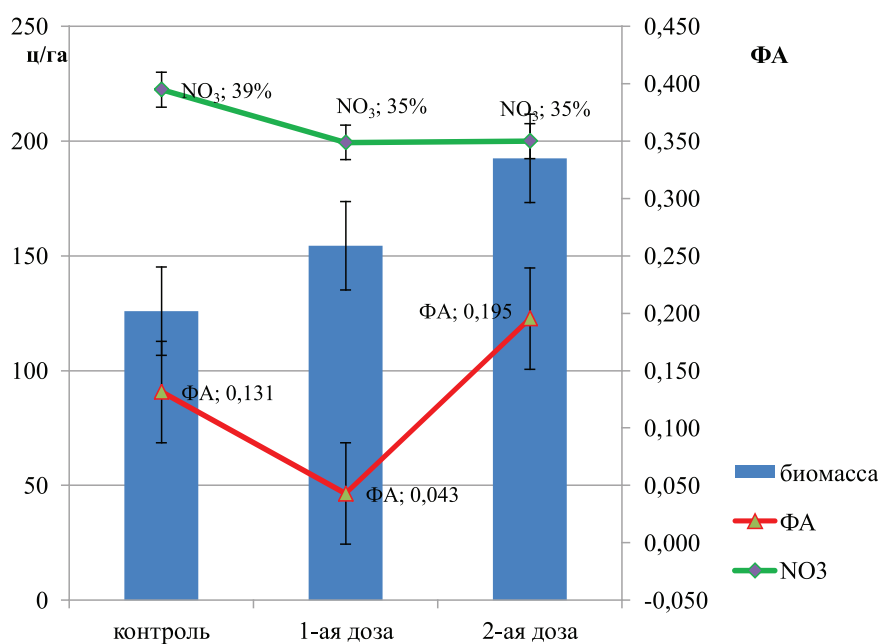


Рис. 3. Урожайность зеленой массы, уровень ΦA и содержание азота NO_3 (планки погрешностей со стандартными ошибками)

Изучение урожая зеленой массы показало, что после внесения повышенной дозы удобрений вес зеленой массы и, соответственно, укосного сена был выше (154,5 при внесении дозы № 1 и 192 ц/га после внесения дозы № 2), что было выше по сравнению с контролем (126 ц/га).

Вместе с тем, при использовании доз № 2–3 падение содержания оксида азота (NO_3) в почве было существенным, почти в три раза (до 35 % от содержания азота в почве во время посева, рис. 3).

Снижение содержания калия и фосфора в почве после сбора урожая было не столь значительным и при обеих дозах составляло 74–75 % (P_2O_5) и 89–90 % (K_2O) от содержания во время сева, что не отличалось от содержания в контроле.

Таким образом, искусственное увеличение объема круговорота азота при использовании двухкратной дозы ($\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$) могло вызывать снижение стабильности развития за счет ингибирования функции азотфиксирующих бактерий, являющихся важной частью физиологии и метаболизма бобовых растений.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о благоприятном влиянии умеренной дозы № 1 ($\text{N}_{30}\text{P}_{30}\text{K}_{30}$) на стабильность развития клевера лугового. Повышенная доза (№ 2, $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$) показала снижение стабильности развития по сравнению с контролем, что подтверждает предпочтительность умеренного внесения комплексных, в том числе азотосодержащих удобрений. Увеличение зеленой массы клевера сопровождалось резким снижением содержания азота (NO_3) в почве

с понижением стабильности развития, что говорило о разбалансировке внутренних механизмов гомеостаза. Сказанное следует отнести к условиям серых лесных почв Суздальского Ополя с описанными условиями севооборота.

Список литературы

1. Александрова Т.В., Нахаева В.И. Экологическая оценка окрестностей города Омска и их рекреационных зон с помощью растительных тест-объектов (*Betula pendula* Roth, *Trifolium repens* L.) // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1–4. – С. 606–610.
2. Горшкова Т.А. Оценка возможности использования клевера ползучего (*Trifolium repens* L.) для биоиндикации антропогенного нарушения среды // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – № 1–1. – С. 69–73.
3. Захаров В.М. и др. Здоровье среды: методика оценки. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – Т. 65. – 68 с.
4. Левицкий С.Н. Генетический полиморфизм в популяциях *Trifolium repens*, произрастающих в условиях различной антропогенной нагрузки территорий // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4–1. – С. 108–111.
5. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Влияние удобрений на урожай сена многолетних бобово-злаковых трав и пищевой режим серых лесных почв ополья // Инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Нечерноземье Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию образования Владимирского НИИСК Россельхозакадемии. Владимирский НИИСК. – 2013. – С. 304–312.
6. Светлакова Т.Н., Мандрица С.А., Боронникова С.В., Суслонов А.В. Оценка изменчивости морфологических признаков *Trifolium pratense* L. в условиях нефтяного загрязнения почв // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2010. – № 1–3. – С. 16–22.
7. Соколова Г.Г., Камалтдинова Г.Т. Флуктуирующая асимметрия листовой пластинки клевера ползучего при оценке стабильности развития // Известия Алтайского государственного университета. – 2011. – № 3–1. – С. 40–43.
8. Шарыгина Н.В. Сравнительная характеристика внутри межпопуляционной изменчивости по признаку «Седого» пятна на листьях растений *Trifolium repens* в популяциях на территории г. Архангельска // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 1. – С. 102–107.

УДК 581.526.426.2

**ТЕМНОХВОЙНЫЕ ЛЕСА ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ АМГИ
(ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ)****Габышева Л.П., Кузнецова Л.В.***ФГБУН «Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН», Якутск, e-mail: llp77@yandex.ru*

Представлены результаты лесоводственно-геоботанических исследований в верхнем течении реки Амги, малоизученного и труднодоступного района Якутии. Район исследований находится на стыке трех флористических районов Якутии и на границе двух крупных геоморфологических провинций – Лено-Алданского плато и Алданского нагорья. Особое влияние при этом на растительность оказывает рельеф местности и слагающие почвообразующие породы. Наличие кислых кристаллических пород, достаточные условия увлажнения, переносимые поверхностными и внутрипочвенными стоками воды, и местонахождение на границе трех флористических округов способствовали широкому распространению на данном участке темнохвойных лесов из ели сибирской, пихты сибирской, сосны сибирской, весьма интересных с геоботанической точки зрения. Материалы собраны в 2006 г. в темнохвойных лесах на участке от устья правого притока р. Амги Хатырхай до Амгинского хребта, дополняют немногочисленные сведения о лесной растительности верхнего течения р. Амги и на современном этапе изучения могут быть основой для оценки дальнейшего состояния лесной растительности. В результате исследования выявлено, что темнохвойные леса занимают существенную площадь и образуют чистые и смешанные древостои. Выявлено 5 типов темнохвойных лесов, высокопроизводительных, высокосомкнутых смешанных с примесью ели, пихты, кедра и лиственницы. Анализ таксационных данных показал, что наиболее распространены ельники III–IV класса бонитета с запасом 220–350 м³/га, кедровые III класса бонитета с запасом 360 м³/га, пихтарники IV–V класса бонитета с запасом 210–360 м³/га.

Ключевые слова: лесная растительность, темнохвойные породы, река Амга, пихтарник, ельники

**DARK CONIFEROUS FORESTS OF THE UPPER REACHES OF AMGA RIVER
(SOUTHERN YAKUTIA)****Gabysheva L.P., Kuznetsova L.V.***Institute for biological problems of cryolithozone SB RAS, Yakutsk, e-mail: llp77@yandex.ru*

The results of the forestry and geobotanical research on the upper reaches of Amga River, poorly studied and inaccessible region of Yakutia. The study area is located at the junction of three floristic districts of Yakutia and on the border of two major geomorphological provinces – Leno-Aldan plateau and Aldan highlands. Main influence to vegetation while relief and grounds composition: acidic crystalline rocks, good moisture conditions carried by surface and subsurface runoff water, and the location on the border of three floristic districts. These factors have contributed to the wide distribution at the site of dark coniferous forests of *Picea obovata*, *Abies sibirica*, *Pinus sibirica*, it is very interesting from a geobotanical point of view. Materials collected in 2006 in the dark conifer forests of the upper reaches of Amga River of the area from the mouth of the right inflow of the Amga River – Hatyryhay – to Amginskii range. They will a few details about the forest vegetation Amga upper reaches of the River and at the present stage of the study could be the basis for further evaluation of the state of forest vegetation. The study revealed that the dark coniferous forests occupy a significant area and form a pure and mixed stands. Revealed 5 types of dark coniferous forests with timber high productivity, high crown density mixed. An analysis of forest inventory data showed that the most distribute forests from *Picea obovata* III–IV class of bonitet with a stock of 220–350 m³/hectare, from *Pinus sibirica* III class of bonitet with a stock of 360 m³/ha, from *Abies sibirica* IV–V class of bonitet with a stock of 210–360 m³/ha.

Keywords: forest vegetation, dark coniferous species, the River Amga, fir forest from *Abies sibirica*, spruce forest from *Picea obovata*

Сведения о лесной растительности, в том числе темнохвойных лесах, верхнего течения р. Амги немногочисленны. Первые сведения имеются в работах Р.А. Еленевского и др. [2]. В 1990-е гг. леса были изучены в связи с экологическими проблемами региона [8] и исследованиями флористического разнообразия и характеристики растительности региона [3–4]. Материалы данной статьи дополняют немногочисленные сведения о лесной растительности верхнего течения р. Амги и на современном этапе изучения могут быть основой для оценки дальнейшего состояния лесной растительности.

Цель работы – характеристика темнохвойных лесов верхнего течения р. Амги.

Темнохвойные леса данного участка изучены в 2006 г. на территории Алданского района Республики Саха (Якутия) в верхнем течении р. Амги от устья ее правого притока Хатырхай (на границе Олекминского заповедника) до Амгинского хребта. Полевые исследования проведены с использованием общепринятых лесоводственно-геоботанических методов [7] с закладкой пробных площадей.

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Изученный район является весьма интересным с геоботанической точки зрения, т.к. находится на стыке трех флористических округов: Верхнеленского, Алдано-Ленского

округов Центрально-Якутской среднетаежной подпровинции и Учуро-Олекминского округа Южно-Якутской среднетаежной подпровинции подзоны среднетаежных лесов [6]. Каждый из округов накладывает отпечаток на растительный покров исследованного района. По лесорастительному районированию [5] леса изученного участка относятся к Алданскому горному округу Южно-Якутской среднетаежной провинции сосново-лиственничной с участием темнохвойных лесов тайги, характеризующемуся холодным и умеренным и влажными и избыточно влажным климатом, господством в лесном покрове лиственницы (69%), сосны (11%), кедрового стланика – 10%.

Темнохвойные леса в Якутии занимают небольшую площадь и не играют существенной роли в лесном покрове среднетаежной подзоны. Только еловые леса занимают всего лишь 356,5 тыс. га. Однако они вносят разнообразие в растительный покров региона, являются наиболее благоприятными местами обитания и размножения ценных таежных видов животных, выполняют почвозащитные и водоохранные функции [5].

В геоморфологическом отношении изученный участок расположен на границе двух геоморфологических провинций (областей): Лено-Алданского плато и Алданского нагорья. Северная часть изученного участка относится к Лено-Алданскому плато, сформированному на горизонтально залегающих кембрийских карбонатных породах и представляющему собой слабо расчлененную пологонаклонную на север поверхность. Плоские водораздельные пространства выражены здесь абсолютными отметками 550–650 м над ур. м. с относительными превышениями над днищами долин 100–300 м. Южная часть участка относится к Алданскому нагорью (плоскогорью), где рельеф выработан на тектонически приподнятых породах фундамента на архейских кристаллических породах (граниты, гнейсы, кристаллические сланцы). Здесь преобладают водораздельные поверхности с абсолютными отметками 600–700 м над ур. м. Реки, спускающиеся с Алданского нагорья, протекают здесь в узких ущельях, а высота междуречий достигает 800–1100 м, и местами они приобретают характер средневысотных гор [1].

На исследованном участке темнохвойные леса занимают существенную площадь и образуют чистые и смешанные леса. Особое влияние при этом оказывает, на наш

взгляд, рельеф местности и слагающие почвообразующие породы. В нашем случае наличие кислых кристаллических пород, достаточные условия увлажнения, переносимые поверхностными и внутрипочвенными стоками воды, и местонахождение на границе трех флористических округов способствовали широкому распространению на данном участке темнохвойных лесов из ели сибирской, пихты сибирской, сосны сибирской (кедра).

Еловые леса из ели сибирской встречаются на пойме р. Амги, в нижнем и среднем течении р. Хатырхай в виде ленточных массивов вдоль рек. Причем вдоль самой Амги на высоте примерно 400 м над ур. м. в составе ельников всегда встречаются лиственница, береза и сосна, вдоль р. Хатырхай на высоте 500–550 м над ур. м. – в составе ельников – пихта, кедр и лиственница. Смешанные хвойные леса с преобладанием в составе древостоя темнохвойных пород – кедра сибирского, пихты сибирской и с участием светлых хвойных (лиственница Каяндера, сосна обыкновенная) и лиственных (береза плосколистная, б. шерстистая, осина, тополь душистый, чозения) встречаются в среднем и верхнем течении р. Хатырхай, у подножья Амгинского хребта на высоте 550–700 м над ур. м. Они образуют северо-восточную границу ареала пихты сибирской и кедра сибирского (таблица).

Ниже приводятся описания наиболее интересных типов темнохвойных лесов.

Ельник кустарниковый травяно-зеленомошный – 59°04'16,5 с.ш., 122°53'16,0 в.д., высота 433 м над ур. м., расположен на левом берегу верхнего течения р. Хатырхай (правый приток р. Амги). Рельеф увалистый, присутствует крупномерный валеж и следы старой гари.

Древостой высокосомкнутый (0,6–0,8), густой с небольшой примесью лиственницы *Larix gmelinii*, березы *Betula pendula* и сосны *Pinus sylvestris*. Состав 9Е1Л + Б, С. Средняя высота ели *Picea obovata* 25 м, средний диаметр 29 см; максимальная высота достигает – 28 м, диаметр – 36 см. Кроны елей не развиты, стволы малосбежистые. Высота лиственницы 28–30 м, диаметр достигает 52 см. Сосна (высота 21 м, диаметр 28 см) и береза (высота 5 м, диаметр 2 см) встречаются единично. На более открытых местах растет лиственничный молодняк со средней высотой 5 м, максимальная высота 8 м, диаметр 5 см. Густота ели – 2,15 тыс. экз./га, лиственницы – 0,05 тыс. экз./га.

Таксационная характеристика типов темнохвойных лесов верховьев р. Амги

№ оп.	Тип леса	Бонитет	Порода	Состав	Возраст среднего (макс.) дерева, лет	Сомкнутость крон
1	2	3	4	5	6	7
1.	Ельник кустарниково-травяно-зелено-мошный	III	Е	9	120–140	0,6–0,8
			Л	1		
			Б	+		
			С	+		
2.	Ельник рябинолистно-рябинниковый хвощово-гилокомиевый	IV	Е	8	110–120	0,6–0,7
			Л	1		
			К	1		
			П	+		
			Т	+		
15.	Ельник с лиственницей бруснично-зелено-мошный	IV	Е	9	130–140	0,7–0,8
			Л	1		
			К	+		
3.	Смешанный темнохвойный лес травяно-гилокомиевый	III	К	2	(190–200)	0,8–0,9
		V	П	2	(160–165)	
		III	Е	2	110–115	
		III	Л	2	190–200	
			Т	2		
4.	Пихтарник с кедром и тополем папоротниково-зеленомошный	IV	П	8	110–115	0,8–0,9
			К	1		
			Т	1		
			Е	+		

Окончание таблицы

Средняя (макс.) высота, м	Средний (макс.) диаметр, м	Число стволов на 1 га	Сумма площадей сечения, м²/га	Запас древесины, м³/га
8	9	10	11	12
25	29	2150	33,75	350
29	52	50		
5	2			
21	28			
19 (25)	28 (42)	1100	37,0	220
32	70	420		
22 (28)	43 (53)	380		
10	11			
17	12			
22 (26)	20 (29)	1190	27,5	248
18 (20)	12 (19)	140		
12	10			
25 (32)	29 (41)	1570	47	386
18 (25)	19 (26)			
22	27			
25 (32)	52 (57)			
22 (28)	50 (55)			
18 (22)	22 (25)	1000	23	210
16 (32)	42 (78)	150		
		100		
18 (23)	25 (36)			

Под пологом древостоя возобновление идет подростом кедра *Pinus sibirica* и ели *Picea obovata* в виде групп и куртин в окнах леса. Возобновление удовлетворительное, имеет 2 поколения: 1 поколение высотой до 3 м, образован кедром и елью. Средняя высота кедра 3 м, диаметр 2 см, максимальная высота 6 м, максимальный диаметр 5 см. 2 поколение образовано подростом ели высотой до 0,5 м. Подрост 1 поколения сильно угнетен. Густота подроста 16,4 тыс. экз./га, из них подроста 1 поколения 7,6 тыс. экз., 2 поколения – 8,8 тыс. экз. В том числе густота кедра 1,2 тыс. экз./га.

Подлесок активный, проективное покрытие составляет 60%, с преобладанием (*cop*₁) *Sorbaria sorbifolia*, *Spiraea media*, *Rosa acicularis* и *Juniperus sibirica*. К «окнам» приурочены – *Cotoneaster melanocarpus* и *Salix sp.*, остальные виды встречаются рассеянно (*sol*) по всему сообществу: *Lonicera edulis*, *Pentaphylloides fruticosa*, *Sorbus sibirica* и *Ribes glabellum*. Травяно-кустарничковый ярус достаточно многовидовой (22 вида), разреженный (проективное покрытие 30–40%), без явного доминанта. С обилием *sp.* встречаются – *Equisetum pratense*, *Mitella nuda*, *Linnaea borealis*, *Maianthemum bifolium*, *Calamagrostis langsdorffii*, *Saussurea dubia*, *Corydalis paeonifolia*, *Carex sp.* Остальные виды отмечены единично. Моховой покров почти сплошной (70–90%), с преобладанием *Hylocomium splendens*.

Ельник рябинолистнорябинниковый хвощово-гилокомиевый – 59°02'46,2 с.ш., 123°01'24,2 в.д., высота 517 м над ур. м., расположен на левом берегу верхнего течения среднего течения р. Хатырхай (правый приток р. Амги), образует неширокий ленточный массив по бортам реки. Рельеф увалистый, присутствует крупно-и-среднемерный валеж.

Древостой сомкнутый (0,6–0,7), высокопроизводительный, преимущественно еловый (*Picea obovata*), с участием лиственницы (*Larix gmelinii*), кедра (*Pinus sibirica*), пихты (*Abies sibirica*) и тополя (*Populus suaveolens*), проникающего в ассоциацию со стороны реки. Формула состава древостоя (8Е1Л1К + едП,Т). При возрасте ели 110–120 лет средняя высота ели достигает 19 м, диаметр 28 см. Максимальная высота достигает 25 м, диаметр – 42 см. Кроны елей более или менее раскидистые, деревья очень крупные. Высота лиственницы 32 м, диаметр достигает 70 см. Средняя высота кедра 22 м, диаметр 43 см, максимальная

высота 28 м, диаметр 53 см. Высота пихты 10 м, диаметр 11 см. Густота 1,9 тыс. экз. деревьев всех пород /га. По краям экотопа, по самому берегу реки встречаются лиственные породы – единичные древовидные ивы высотой 9 м и тополя высотой 17 м, диаметром 12 см.

Возобновление выражено хорошо, подрост распространен по участку рассеянно и образован елью, кедром и пихтой. Подрост ели достаточно угнетен, максимальная высота составляет 2,5 м, диаметр 1,5 см; средняя высота 1,6 м, диаметр 2 см. Подроста кедра сравнительно мало, высота составляет 1,65 м, диаметр 1,5 см. Много подростов пихты высотой до 1,0 м. На 1 га площади насчитывается – 4,1 тыс. экз. подростов всех пород, из них ели 2,8 тыс. экз., кедра 0,8 тыс. экз., пихты 0,5 тыс. экз.

Подлесок хорошо выраженный, с проективным покрытием 60%. Доминирует *Sorbaria sorbifolia* (*cop*₁), с активным участием (*sp.*) – *Spiraea media*, *Alnus hirsuta* и *Ribes glabellum*. Значительно реже (*sol*) встречаются: *Lonicera edulis*, *Duschekia fruticosa*, *Sorbus sibirica*, *Salix schwerinii* и *Rosa acicularis*.

Травяно-кустарничковый ярус представлен лесными видами, большей частью мезофильного облика. Проективное покрытие колеблется в пределах 60–80%. Основными доминантами выступают (*cop*_{1,2}) – *Equisetum pratense*, *Mitella nuda*, *Linnaea borealis*, *Maianthemum bifolium*, *Calamagrostis langsdorffii* и *Paris quadrifolia*. Довольно активны (*sp.*) – *Corydalis paeonifolia*, *Galium boreale*, *Cacalia hastata*, *Viola biflora*, *Thalictrum minus*, *Geranium pseudosibiricum* и *Saussurea dubia*. Отмечены (*sol*): *Rheum compactum*, *Actaea erythrocarpa*, *Moehringia lateriflora*, *Aconitum ranunculoides*, а также *Vaccinium vitis-idaea*, *Orthilia obtusata* и *Pyrola asarifolia*, растущие небольшими группами на возвышенных участках. Моховой покров сплошной (90% проективного покрытия), с преобладанием *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*.

Ельник с лиственницей бруснично-зеленомошный – 59°07'55,3 с.ш., 122°51'50,1 в.д., высота 425 м над ур. м., расположен на левом берегу р. Амги. Восточный макросклон, уклон 5–10°. Рельеф выровненный. Присутствует редкий, тонкомерный, преимущественно лиственничный валеж.

Древостой высокосомкнутый (сомкнутость 0,7–0,8), среднепроизводительный, смешанный с доминированием ели *Picea*

obovata и незначительной примесью лиственницы *Larix gmelinii* и кедра *Pinus sibirica*. Формула состава древостоя 9Е1Л+К. Стволы не толстые. Средняя высота ели составляет 22 м, диаметр 20 см. Максимальная высота достигает 26 м, диаметр – 29 см. Кроны елей раскидистые, насаждения спелые. Высота лиственницы 18 м, диаметр достигает 12 см, максимальная высота 20 м, диаметр 19 см. Кедров средневозрастные, высота небольшая 12 м, диаметр 10 см. Густота 1,33 тыс. экз. ели и лиственницы на 1 га, из них ели – 1,19 тыс. экз.

Возобновление ели удовлетворительное. На участке выражено 2 поколения подраста ели: 1 поколение – молодняки (средневозрастные) высотой 9 м, диаметром 8 см. 2 поколение подраста сильно угнетено, встречается в небольших количествах, высота их до 1,6 м, диаметр 1 см. Также встречается единичный подрост березы *Betula platyphylla* высотой 0,3 м и кедра *Pinus sibirica* высотой 0,4 м. На 1 га насчитывается 0,85 тыс. экз. кедра 1 поколения и 1,1 тыс. экз. подраста кедра 2 поколения.

Кустарниковый ярус не выражен, встречаются единичные экземпляры – *Juniperus sibirica*, *Spiraea media*, *Ribes glabellum*, *Rosa acicularis*, *Lonicera edulis* и др. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составляет 80–90%, с явным преобладанием в нем *Vaccinium vitis-idaea*, доминантом выступает *Linnaea borealis*. Присутствуют *Aconitum ranunculoides*, *Carex sp.*, *Vaccinium uliginosum*, *Saussurea dubia*, *S. parviflora*, *Aquilegia parviflora* и *Zigadenus sibiricus*. Моховой покров сплошной (90%), с доминированием *Pleurozium schreberi*, при участии *Hylocomium splendens*.

Смешанный темнохвойный (ель, пихта, лиственница, кедр) травяно-гилокомиевый лес – 58°59'44,0 с.ш., 123°06'12,0 в.д., высота 617 м над ур. м., расположен на левом берегу верхнего течения р. Хатырхай (правый приток р. Амги), у подножия Амгинского хребта. Рельеф увалистый, присутствует крупно-и-среднемерный валеж. Местопроизрастание очень влажное, находится недалеко от реки. Увлажнение проточное.

Древостой высокосомкнутый (сомкнутость 0,8–0,9), перегущенный, практически нет просветов, смешанного состава, многопородный 2К2П2Т2Л2Е, перестойный, относительно одновозрастный (160–200 лет), высокопроизводительный. Древостой мощный, стволы очень толстые. Средние высота и диаметр (максимальные высота

и диаметр) пород деревьев: пихты *Abies sibirica* – 18 м (25 м), 19 см (26 м); лиственницы *Larix gmelinii* – 25 м (30–32 м), 52 см (57 см); кедра *Pinus sibirica* – 25 м (32 м), 29 см (41 см); ели *Picea obovata* – 22 м, 27 см; тополя *Populus suaveolens* – 22 м (26–28 м), 50 см (55 см). Густота 1,57 тыс. экз. деревьев /га. Возраст пихты 160–165 лет при ее максимальной высоте 25 м и диаметре 26 см, лиственницы 190–200 лет при высоте 25 м, диаметре 52 см, кедра – 190–200 лет при высоте 32 м, диаметре 41 см.

Возобновление под пологом леса хорошее, преимущественно пихтой, распространенной равномерно по всему экотопу. Сомкнутость 0,3–0,4. Подрост образован 2 поколениями пихты: 1 поколение высотой 4,5 м, диаметром 6 см, возраст 27 лет; 2 поколение высотой 0,5–1,6 м, диаметр 1,5 см. Густота 2,47 тыс. экз. /га, из них 0,97 тыс. экз. подраста – 1 поколения, 1,5 тыс. экз. – 2 поколения. В «окнах» леса встречается подрост кедра (высота до 0,8 м) и ели (высотой до 0,3 м). «Окна» небольшие, размером примерно 5х10 м², где распространены 9 экз. кедра и 2 экз. ели (или 1,8 тыс. экз./га и 0,4 тыс. экз./га соответственно).

Подлесок слабо выражен, приурочен большей частью к «окнам» (*Duschekia fruticosa*, *Rosa acicularis*, *Sorbaria sorbifolia*, *Lonicera edulis* и *Ribes glabellum*.), рассеянно встречаются угнетенные и невысокие (1,5–2 м выс.) деревца *Padus avium* и *Sorbus sibirica*. Травяно-кустарничковый ярус сильно разреженный (проективное покрытие до 30%), но довольно разнообразный с доминированием – *Mitella nuda*, *Maianthemum bifolium* и *Linnaea borealis*. На приствольных буграх обычна *Pyrola incarnata*. Участие остальных видов минимальное, так как встречаются единично и растут в сообществе крайне рассеянно (*Calacia hastata*, *Rheum compactum*, *Streptopus streptopoides*, *Veratrum lobelianum*, *Paris hexaphylla*, *Thalictrum minus*, *Calypso bulbosa* и др.). Мохово-лишайниковый покров почти сплошной (80%) с преобладанием *Hylocomium splendens*, с активным участием *Pleurozium schreberi* и *Peltigera sp.*. Мхи, в основном у старых деревьев, поднимаются по стволам на высоту до 1,5 и более метров. На нижних ветвях в обилии растёт *Usnea longissima*. На тополе отмечены трутовые грибы, а на его валеже *Hericium coralloides*.

Пихтарник с кедром и топодем папоротниково-зеленомошный – 58°59'26,3 с.ш., 123°06'46,5 в.д., высота 626 м над ур. м., расположен на левом берегу верхнего течения

р. Хатырхай (правый приток р. Амги), между р. Хатырхай и ее левым притоком, у подножия Амгинского хребта. Рельеф увалистый, присутствует крупно-и-среднемерный валеж.

Древостой высокосомкнутый (сомкнутость 0,8–0,9), невысокий, перегущенный, смешанный, многопородный (состав 8П1К1Т + едЕ) с доминированием пихты *Abies sibirica* и с примесью кедра *Pinus sibirica*, тополя *Populus suaveolens* и единичной елью *Picea obovata*. По окраине экотопа встречаются береза каменная *Betula lanata*. Средние (максимальные) высоты и средний (максимальный) диаметр: пихта 18 (22) м, 22 (25) см; кедр 16 (32) м, 42 (78) см; ель 18 (23) м, 25 (36) см. Крона у пихты раскидистая, очень густая и пышная. Возраст пихты при высоте 18 м и диаметре 22 см составляет 110–115 лет. У кедра кроны начинаются очень высоко, на высоте 15 м при высоте кедра 16–17 м, не раскидистые. Густота стояния деревьев в древостое 2,2 тыс. экз. деревьев всех пород /га.

Возобновление хорошее, неравномерное, разновозрастное, преимущественно пихтой. Имеет 3 поколения: 1 поколение образовано молодняком высотой до 5 м, диаметром 7 см; 2 поколение высотой до 1,7 м и диаметром 1,5 см; 3 поколение высотой до 0,5 м. На 1 га площади насчитывается – 12,28 тыс. экз., из них подроста 3 поколения – 7,48 тыс. экз., 2 поколения – 2,92 тыс. экз. и 3 поколения – 1,88 тыс. экз.

Подлесок слабо выражен, приурочен к «окнам» – *Rosa acicularis*, *Sorbaria sorbifolia*, *Padus avium* и *Sorbus sibirica*. Проектное покрытие травяно-кустарничкового яруса составляет 70–80%, с явным преобладанием в нем *Diplazium sibiricum*, а также *Mitella nuda*, *Linnaea borealis*, *Maianthemum bifolium* и присутствии: *Equisetum pratense*, *Rheum compactum*, *Actaea erythrocarpa*, *Calcilia hastata*, *Viola biflora*, *Galium boreale*, *Paris hexaphylla*, *Thalictrum minus* и др. Моховой покров почти сплошной (проектное покрытие 70–80%), где доминируют *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, при довольно активном участии мхов из рода *Dicranum*. Нижние ветви старых деревьев увешаны эпифитными лишайниками *Usnea longissima* и *Bryoria sp.*

Таким образом, на исследованном участке на верхнем течении реки Амги, от устья р. Хатырхай до подножия Амгинско-

го хребта, темнохвойные леса занимают существенную площадь и образуют чистые и смешанные леса. Особое влияние при этом оказывает рельеф местности и слагающие почвообразующие породы. Наличие кислых кристаллических пород, достаточные условия увлажнения, переносимые поверхностными и внутрипочвенными стоками воды, и местонахождение на границе трех флористических округов способствовали широкому распространению на данном участке темнохвойных лесов. На исследованной территории нами выявлено 5 типов темнохвойных лесов (3 – из ели сибирской, 1 – из пихты сибирской, 1 – смешанный из пихты, ели сибирской, кедра сибирского, лиственницы Гмелина). Представленные материалы будут основой для создания базы данных редких растительных сообществ для организации охранных мероприятий.

Работа выполнена в рамках проекта: «Фундаментальные и прикладные аспекты изучения разнообразия растительного мира Северной и Центральной Якутии». Регистрационный номер: АААА-А17-117020110056-0.

Список литературы

1. Долгушин И.Ю. Лено-Алданское плато и Алданское нагорье // Плоскогорье и низменности Восточной Сибири. – М.: Наука, 1971. – С. 53–68.
2. Еленевский Р.А., Кремнев А., Шахов А.А., Работнов Т.А. Природные ресурсы Южной Якутии в связи с социалистической реконструкцией сельского хозяйства. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1933. – 149 с.
3. Кузнецова Л.В., Исаев А.П., Лыткина Л.П. Краткое описание растительного покрова и редкие растительные сообщества верхнего течения реки Амги // Лесные исследования в Якутии: итоги, состояние, перспективы. Матер. регион. науч.-практ. конф. «Лесные исследования в Якутии: итоги, состояние и перспективы» (Якутск, 23–24 ноября 2006 г.). Т. 2. Лесные ресурсы. Флора и растительность лесных территорий. – Якутск: Изд-во ЯГУ, 2006. – С. 86–94.
4. Кузнецова Л.В., Исаев А.П., Федоров И.А. Редкие и эндемичные растения верхнего течения реки Амги // Лесные исследования в Якутии: итоги, состояние, перспективы. Матер. регион. науч.-практ. конф. «Лесные исследования в Якутии: итоги, состояние и перспективы» (Якутск, 23–24 ноября 2006 г.). Т. 2. Лесные ресурсы. Флора и растительность лесных территорий. – Якутск: Изд-во ЯГУ, 2006. – С. 82–86.
5. Леса среднетаежной подзоны Якутии / Тимофеев П.А., Исаев А.П., Щербakov И.П. и др. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1994. – 140 с.
6. Основные особенности растительного покрова Якутской АССР. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. – 156 с.
7. Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 44 с.
8. Экология Верхней Амги / Саввинов Д.Д., Саввинов Г.Н., Типтиргянов М.М. и др. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. – 136 с.

УДК 630*161

РАСТИТЕЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА БАССЕЙНА Р. АРКАЧАН (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ВЕРХОЯНСКОГО ХРЕБТА)

^{1,2}Исаев А.П., ¹Михалева Л.Г., ¹Чикидов И.И.¹Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, e-mail: alex_isaev@mail.ru;²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск

В статье дана общая характеристика современного состояния растительного покрова бассейна р. Аркачан (центральная часть Верхоянского хребта, Северо-Восток России) по элементам поясности. Четко выделяются лесной пояс, образованный *Larix cajanderi*, пояс подгольцовых кустарников, горный тундровый пояс. Пояс эпилитно-лишайниковых сообществ представлен слабо, так как высоты гор находятся преимущественно в пределах распространения горного тундрового пояса. В условиях развития узких врезанных долин рек хорошо выделяется в ранге пояса комплекс долинной растительности, четко отличающийся от лесного пояса. Геоботаническое и лесоводственно-геоботаническое обследование территории позволили выявить основные типы фитоценозов, составить обобщенную схему распределения растительности по геоморфологическому профилю с учетом экспозиции склона. В долинном комплексе представлены долинные кустарники (*Betula exilis*, *B. divaricata*, *Salix alaxensis*, *S. lanata*, *S. krylovii*), тундроподобные ивовые сообщества, лиственничные, чозениевые и ивовые леса. Небольшие площади занимают редкотравные злаковые луга (*Leymus interior*), дриадовые (*Dryas grandis*) и широколиственноиванчайные (*Chamaenerion latifolium*) луга, влагалитнопушищевые (*Eriophorum vaginatum*) заболоченные тундры, кустарничковые сетчатопушищевые (*Salix reticulata*) тундры. Лесной пояс характеризуется господством редколесий и реди из *Larix cajanderi*. Небольшие площади на прогреваемых склонах южной экспозиции занимает степная растительность. Подгольцовый комплекс фрагментарен, образован преимущественно *Betula divaricata*, *Betula exilis*, *Pinus pumila*. Горный тундровый пояс хорошо развит, преобладают шпалернокустарничковые дриадовые и полидоминантнокустарничковые лишайниковые тундры. Обширные пространства занимают кустарничковые тундры с доминированием *Betula exilis*, встречаются тундры из *Rhododendron adamsii* и тундры из *Cassiope tetragona*. На пологих склонах значительные площади занимают кустистолишайниковые тундры: алекториевые, цетрариевые и полидоминантно-кустистолишайниковые.

Ключевые слова: Северо-Восток России, Центральное Верхоянье, растительный покров, горная поясность, геоботанический профиль растительности, фитоценозы

VEGETATION OF THE ARKACHAN RIVER BASIN (CENTRAL PART OF VERKHUYANSK RANGE, NORTH-EAST OF RUSSIA)

^{1,2}Isaev A.P., ¹Mikhaleva L.G., ¹Chikidov I.I.¹The Institute of Biological Problems of Cryolithozone of SD RAS, Yakutsk, e-mail: alex_isaev@mail.ru;²North-Eastern Federal University M.K. Ammosov, Yakutsk

In the article gives a general description of the current situation of vegetation cover of Arkachan River basin (central part of the Verkhoyansk Range, North-East of Russia) on elements of altitude belts: forest cover from Cajander larch (*Larix cajanderi*); subalpine shrub zone from communities of *Pinus pumila*; mountain-tundra zone; zone of epilithic lichen communities; valley vegetation complex. Geobotanical and silvicultural surveys of the territory make it possible to identify the main types of phytocenoses, make generalized vegetation distribution scheme for geomorphological profile, taking into account the exposure of the slope. In the valley presented valley shrubs (*Betula exilis*, *B. divaricata*, *Salix alaxensis*, *S. lanata*, *S. krylovii*), willow tundra, larch, *Chosenia* and willow forests. Smaller areas are occupied rare grass meadows (*Leymus interior*), *Dryas* meadows (*Dryas grandis*) and blooming sally (*Chamaenerion latifolium*) meadows, cotton grass (*Eriophorum vaginatum*) boggy tundra, dwarf shrub (*Salix reticulata*) tundra. Forest belt is characterized by domination of sparse forest from *Larix cajanderi*. Small areas on the southern slopes takes steppe vegetation. Alpine shrub belt formed mainly *Betula divaricata*, *Betula exilis*, *Pinus pumila*. Mountain tundra zone is well developed, and is dominated by *Dryas punctata* and polidominant dwarf shrub + lichen tundra. The vast slopes occupied by lichen tundra with *Betula exilis*, the tundra from *Rhododendron adamsii* and the tundra from *Cassiope tetragona*. On the gentle slopes are occupying *Alectoria* lichen (*A. ochroleuca*), *Cetraria* lichen (*C. islandica* + *C. cucullata*) and polydominant lichen (*Cetraria islandica* + *C. cucullata* + *C. laevigata* + *Cladonia arbuscula*) tundra.

Keywords: North-East of Russia, central part of the Verkhoyansk Range, vegetation, mountain belts, geobotanical profile of plant communities, phytocenoses

Район исследований входит в состав Верхоянского округа Северо-Восточной североазиатской подпровинции горных лесов из лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi*) [1]. В лесохозяйственном отношении район относится к ведению Сангарского лесничества, горная часть, который входит в со-

став Северо-Восточного лесорастительного округа [12].

Первые упоминания о растительности края даются И.А. Худяковым [11], в последующем в ряде работ приводятся сведения о растительности бассейна р. Яны и Верхоянского хребта [5, 6, 8, 13, 14]. Лесной

покров северо-восточной Якутии описан А.Л. Биркенгофом [2], бассейна р. Яны – в публикациях ряда авторов [13, 7, 10].

Природные условия. Район исследования расположен на Янском плоскогорье [4]. Основными типами рельефа являются денудационное низкогорье и эрозионно-денудационные равнины. Характерны сглаженные формы рельефа, куполообразные и пологие вершины и вогнутые склоны, покрытые мощными осыпями. Речные долины хорошо разработаны. В формировании рельефа активную роль играют эрозионно-денудационные процессы [12]. Климат очень суровый, резко континентальный с продолжительной зимой, коротким жарким летом, входит в субарктическую климатическую зону [3].

Методы исследований. Материал собран во время полевых работ в 2005, 2014 и 2015 г. маршрутным методом, лесоводно-геоботанические описания проводились с закладкой пробных площадей по методике В.Н. Сукачева, С.В. Зонна [9].

Результаты исследования и их обсуждение

Для растительности характерна поясность, свойственная горным территориям Северо-Восточной Якутии. Выделяются лесной пояс, пояс подгольцовых кустарников, горный тундровый пояс. Эпилитно-лишайниковый пояс не выражен, т.к. высоты гор находятся преимущественно в пределах распространения горного тундрового пояса. В условиях развития врезанных долин рек выделяется долинный комплекс (рисунок).

Долинный комплекс низовьев рек Мангазейка, Сирилэндъэ, среднего течения рек Федор-Юрэгэ, Эндыбал и Аркачан представлен кустарниками (*Betula exilis*, *B. divaricata*, *Salix alaxensis*, *S. lanata*, *S. krylovii* и др.), ивковыми тундрами, лиственничными, чозениевыми и ивовыми лесами. Вдоль водотоков располагаются злаковые (*Leymus interior*), дриадовые (*Dryas grandis*) и иванчайные (*Chamaenerion latifolium*) луга. На слабо дренируемых экотопах террас рек небольшие площади занимают пушицевые (*Eriophorum vaginatum*) и сетчатоивовые (*Salix reticulata*) тундры. Внепоясная растительность представлена субальпийскими кустарниками (*Salix alaxensis*, *S. lanata*, *S. krylovii* и др.).

В **лесном поясе** господствуют редколесья и редины из *Larix cajanderi*. Доминантами кустарникового яруса выступают *Pinus*

pumila, *Betula divaricata*, *B. exilis*, среди кустарничков – *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum* и *V. vitis-idaea*. Мохово-лишайниковый покров представлен сфагнами (*Sphagnum warnstorffii*, *S. fuscum* и др.), зелеными мхами и лишайниками (*Cladonia stellaris*, *C. arbuscula*, *C. rangiferina*, *Cetraria islandica*, *C. laevigata*, *C. cucullata*, *C. nivalis*, виды родов *Umbilicaria*, *Parmelia*, *Hypogimnia* и др.). Небольшие площади на прогреваемых склонах южной экспозиции занимают степные сообщества. Верхняя граница лесного пояса варьирует в пределах 1050–1130 м над ур. м.

Подгольцовый комплекс фрагментарен, образован из *Betula divaricata*, *Betula exilis*, в меньшей степени *Pinus pumila*. Ширина пояса не превышает 50–100 м.

Горный тундровый пояс в нижней части граничит с подгольцовым поясом или непосредственно с лесным. Преобладают дриадовые (*Dryas punctata*) и полидоминантнокустарничковые (*Dryas punctata* + *Ledum decumbens* + *Arctous alpina* + *Vaccinium vitis-idaea* + *V. uliginosum* + *Cassiope tetragona*) лишайниковые тундры. Обширные пространства на склонах северной экспозиции занимают кустарничковые тундры с *Betula exilis*. В горах встречаются рододендроновые (*Rhododendron adamsii*) тундры. На северных склонах, на дне цирков, кулуаров, западин распространены кассиоповые (*Cassiope tetragona*) тундры. В верхней части пояса на пологих склонах широко представлены лишайниковые тундры: алекториевые (*Alectoria ochroleuca*), цетрариевые (*Cetraria nivalis* + *C. cucullata*) и полидоминантно-лишайниковые (*Cetraria islandica* + *C. cucullata* + *C. laevigata* + *Cladonia arbuscula* и др.).

Долинный комплекс. На галечниках образуются небольшие по площади сообщества *Chamaenerion latifolium*, *Leymus interior*, с проникновением разнотравья из высокой поймы и террас. Сообщества характеризуются разреженностью покрова и низким обилием растений. Собственно долинный комплекс растительности характеризуется преобладанием кустарниковых и лесных сообществ.

На островах рек, по прибрежным участкам высоких пойм на хорошо дренируемых грунтах распространены ленточные насаждения шириной до 50 м *чозенника пойменного разнотравно-дриадового* сомкнутостью 0,5–0,7, высотой до 15 м. Подлесок развит слабо: *Salix brachypoda*, *S. glauca*. Травя-

но-кустарничковый ярус развит (до 60%): господствуют *Dryas punctata*, *Hedysarum alpinum*, встречаются *Poa pratensis*, *Anemone sylvestris*, *Pulsatilla flavescens*, *Bromopsis pumelliana*, *Heracleum dissectum*, *Erigeron acris*, *Crepis chrysanthra*, *Cnidium davuricum*, *Artemisia lagocephala* и др.

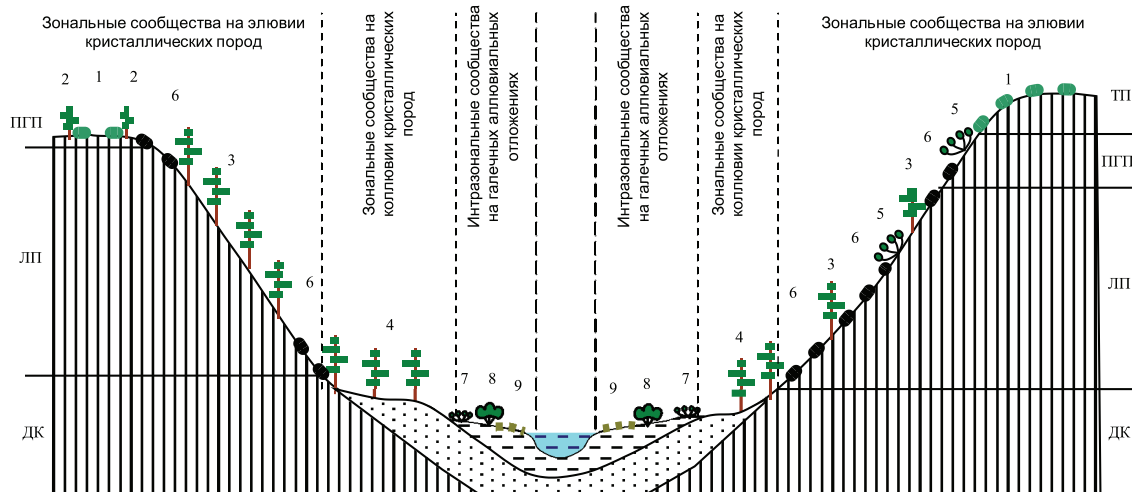
На участках с избыточным увлажнением в виде лент шириной до 20 м и в приустьевых расширениях речных долин в виде обширных массивов встречаются ассоциации *Betula exilis*. Сомкнутость полога 0,3. Встречаются *Salix udensis*, *Rhododendron parvifolium*. Единично присутствует невысокая лиственница (3–5 м). Травяно-кустарничковый ярус развит (покрытие до 60%): *Eriophorum vaginatum*, обычны *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *Ledum palustre*, *Andromeda polifolia*, *Rubus chamaemorus*, *Arctous erythrocarpa*, *Empetrum nigrum* и др. В моховом покрове (70%) преобладает *Sphagnum fuscum*, единичны *Aulacomnium turgidum*, *Dicranum sp.* Лишайниковый покров слабо развит.

В долинном комплексе горных ручьев, в приустьевых расширениях долин, а также на «приграничной» нижней трети склонов распространены лиственничники бруснично-моховые и багульниково-моховые. Сомкнутость крон 0,4, высота стволов

7(12) м, диаметр 12(25) см. Подлесок разрежен: *Betula exilis*, *Salix glauca*, *S. udensis*. Травяно-кустарничковый ярус развит (покрытие до 70%): *Ledum palustre*, *Vaccinium vitis-idaea*, обычны *V. uliginosum*, *Empetrum nigrum*, *Claytonia acutifolia*, *Delphinium chamissonis*, *Hierochloa alpina*, *Dryas viscosa*, *Carex capitata*, *Chamaenerion latifolium* и др. В моховом покрове (покрытие 50%) преобладает *Aulacomnium palustre*, встречаются *A. turgidum*, *Ptilidium ciliare*, *Pleurozium schreberi*. Лишайники не обильны: *Cetraria nivalis*, *Cladonia rangiferina*, *C. stellaris*.

При избыточном застойном увлажнении встречаются лиственничные редколесья голубично-пушицево-сфагновые. Древостой редкостойные (0,3), высота стволов 3–5 м, диаметр 7–10 см. Подлесок разрежен: *Betula exilis*, *Salix sp.*, *Rhododendron parvifolium*.

Травяно-кустарничковый ярус развит (покрытие до 60%): обильны *Eriophorum vaginatum*, обычны *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *Ledum palustre*, *Andromeda polifolia*, *Rubus chamaemorus*, *Arctous erythrocarpa*, *Empetrum nigrum*, *Tofieldia pusilla* и др. В моховом покрове (покрытие до 70%) преобладает *Sphagnum fuscum*, встречаются *Aulacomnium turgidum*, *Dicranum sp.*



Распределение растительности по профилю реки в связи с рельефом. Условные обозначения: ДК – долинный комплекс; ЛП – лесной пояс; ПГП – подгольцовый пояс; ТП – тундровый пояс. Зональная растительность: 1 – горные тундры; 2 – горные лиственничные редколесья гипоарктокустарничково-лишайниковые; 3 – лиственничные редколесья багульниково-моховые; 4 – лиственничные редколесья ерничково-моховые; 5 – растопыренноберезовые сообщества мохово-лишайниковые; 6 – петрофитные и редкотравные сообщества на курумах. Интразональная растительность: 7 – ивково-тощоберезовые тундроподобные сообщества осоко-моховые; 8 – ивняки разнотравные; 9 – луговые и редкотравные лугоподобные сообщества на галечниках

Лесной пояс коррелирует с долиной растительностью. Условия произрастания на нижней трети склонов южной экспозиции достаточно благоприятны, что определяет распространение сообществ, близких к растительности долин, например *лиственничник багульниково-брусничный склоновый* (уклон до 25°). Древостой лиственничный, сомкнутость крон 0,5, высота стволов 14–17 м, толщина 20–24 см. Сомкнутость подлеска 0,1: *Salix glauca*, *Rosa acicularis*. В травяно-кустарничковом ярусе (покрытие до 70%) доминируют *Vaccinium vitis-idaea*, *Ledum palustre*, другие виды не обильны: *Calamagrostis* sp., *Carex* sp., *Empetrum nigrum* и др. Проективное покрытие мохового покрова 30%: преобладает *Aulacomnium turgidum*, встречаются *A. palustre*, *Sphagnum* sp., *Polytrichum* sp. Из лишайников (покрытие 10%) обычны *Cetraria nivalis*, *Cladonia rangiferina*, *C. stellaris*, *Peltigera aphtosa*, *P. canina*.

На склонах южной экспозиции распространено *лиственничное редколесье дриадово-моховое*. Сомкнутость крон 0,3, высота стволов 5–7 м, диаметр 6–8 см. Сомкнутость подлеска 0,3: *Pinus pumila*, *Ribes fragrans*, *Juniperus sibirica*, *Rosa acicularis*. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса 40%: обилён *Dryas viscosa*, обычны *Empetrum nigrum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Saxifraga punctata*, *Ledum palustre*, *Poa arctica*, *Hierochloe alpina*, *Carex globularis* и др. Моховой покров (покрытие 60%) сложен из *Rhytidium rugosum*, *Aulacomnium palustre*, встречаются *A. turgidum*, *Pleurozium schreberi*, *Dicranum* sp. Из лишайников (покрытие 5%) обычны *Cetraria nivalis*, *Thamnolia vermicularis*, *Cladonia arbuscula* и др.

На сухих участках нижней части южных склонов встречается *лиственничное редколесье злаково-лишайниковое склоновое*. Сомкнутость крон менее 0,3, высота стволов 5(11) м, диаметр 12(23) см. Подлесок не выражен. В травяно-кустарничковом ярусе (покрытие до 20%) господствует *Calamagrostis* sp., встречаются *Vaccinium vitis-idaea*, *V. uliginosum*, *Ledum palustre*, *Hierochloe alpina*, *Claytonia acutifolia*, *Aconogonon ochreatum* и др. Мхи (покрытие до 5%) представлены *Aulacomnium palustre*, *A. turgidum*. Лишайниковый покров сплошной (до 80%): *Cetraria nivalis*, *C. laevigata*, *Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*, *C. stellaris*.

На склонах северной экспозиции распространены *лиственничные редколесья багульниково-моховые*. Сомкнутость крон

менее 0,3, высота стволов 5–7 м, диаметр 6–8 см. Подлесок разрежен: *Betula exilis*, *Salix glauca*, *Rhododendron parvifolium*. В травяно-кустарничковом ярусе (60%) обильны *Ledum palustre*, *Vaccinium vitis-idaea*, обычны *V. uliginosum*, *Empetrum nigrum*, *Claytonia acutifolia*, *Delphinium chamissonis*, *Hierochloe alpina*, *Dryas viscosa*, *Chamaenerion latifolium* и др. В моховом покрове (покрытие 50%) преобладает *Aulacomnium palustre*, встречаются *A. turgidum*, *Ptilidium ciliare*, *Pleurozium schreberi*. Из лишайников (покрытие 10%) представлены *Cetraria nivalis*, *Cladonia rangiferina*, *C. stellaris*.

Вверх по склону происходит постепенная смена лиственничных редколесий на кустарниковые сообщества, образующие **подгольцовый пояс**. Кедровый стланик редко образует самостоятельные насаждения. Одним из элементов растительности пояса является *ерник кассиово-брусничный*, распространенный как на склонах ближе к вершинам, так и по бугристо-ступенчатым днищам распадов. Сомкнутость кустарникового полога до 0,3, преобладает *Betula exilis*, встречаются *Rhododendron adamsii*, *Rh. parvifolium*. В травяно-кустарничковом ярусе (покрытие 40%) преобладают *Vaccinium uliginosum*, *Cassiope tetragona*, встречаются *Dryas viscosa*, *Empetrum nigrum*, *Bistorta vivipara*, *B. elliptica*, *Artemisia arctica*, *Acomastylis glacialis*, *Claytonia acutifolia* и др. Лишайников мало (покрытие 5%), встречаются *Cetraria nivalis*, *Thamnolia vermicularis*. Проективное покрытие мохового покрова 20%: *Aulacomnium palustre*, *A. turgidum*, *Rhytidium rugosum*, *Pleurozium schreberi*.

На верхней трети склонов появляются горнотундровые сообщества. На вершинах горного плато они образуют обширный **горный тундровый пояс**. По верхним частям вершинных увалов распространены сухие горные тундры с хорошо развитым лишайниковым покровом и высоким обилием кустарничков. *Щебнистая дриадово-лишайниковая горная тундра* доминирует на сухих участках горных плато с мелкощебнистыми выходами. В травяно-кустарничковом покрове (покрытие до 20%) преобладают *Dryas punctata*, *Vaccinium vitis-idaea*, встречаются *V. uliginosum*, *Salix tschuktschorum*, *S. reticulata*, *Hierochloe alpina*, *Pedicularis alopecuroide*, *Aconogonon ochreatum*, *Artemisia lagopus*, *A. arctica*, *Dryas viscosa* и др. Моховой покров не выражен, встречается *Polytrichum* sp. В лишайниковом покрове

ве (покрытие 40%), преобладают *Alectoria nigricans*, *Cetraria islandica*, другие виды (*Cetraria nivalis*, *Thamnolia vermicularis*, *Cladonia rangiferina*) встречаются рассеянно.

На полого-волнистых склонах горных плато распространена *ерниково-касшиоповая горная тундра*. Сомкнутость кустарникового яруса 0,6: преобладает *Betula exilis*, обычны *Salix udensis*, *S. myrtilloides*, *Rhododendron adamsii*, *Rh. parvifolium*. Проективное покрытие травяно-кустарничкового покрова 60%: преобладают *Cassiope tetragona*, *Vaccinium uliginosum*, встречаются *V. vitis-idaea*, *Dryas punctata*, *Claytonia acutifolia*, *Tofieldia pusilla*, *Acomastylis glacialis*, *Hierochloa alpina*, *Artemisia lagopus* и др. Из лишайников (покрытие 30%) встречаются *Cetraria nivalis*, *Thamnolia vermicularis*, *Alectoria ochroleuca*, *Dactylina arctica*.

В депрессиях рельефа на склоновых плато и по вершинам гор, на заболоченных участках распространены *переувлажненные пушицевые горные тундры*. Кустарниковый ярус не развит: *Betula exilis*, *Salix udensis*, *Rhododendron adamsii*, *Rh. parvifolium*. Травяно-кустарничковый покров (покрытие до 60%) представлен *Eriophorum vaginatum*, другие виды не обильны – *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*. Фон мохового покрова (до 30%) образует *Aulacomnium palustre*, встречаются *A. turgidum*, *Rhytidium rugosum*, *Sphagnum fuscum* и др.

Заключение

На основе проведенных исследований растительных сообществ выявлены основные характеристики растительного покрова бассейна р. Аркачан. Существенной чертой района является поясное расположение доминирующих типов фитоценозов на склонах возвышенностей. Выделяются лесной пояс из лиственницы Каяндера, пояс подгольцовых кустарников, горный тундровый пояс. Пояс эпилитно-лишайниковых сооб-

ществ выражен слабо, хорошо выделяется комплекс долинной растительности.

Работа выполнена в рамках госзадания ИБПК СО РАН «Разнообразие растительного и животного мира тундры и притундровых лесов, мониторинг редких и охраняемых видов растений и животных северо-востока Якутии» (рег. номер АААА-А17-117020110059-1).

Список литературы

1. Андреев В.Н., Галактионова Т.Ф., Перфильева В.И., Щербаков И.П. Основные особенности растительного покрова Якутской АССР. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. – 156 с.
2. Биркенгоф А.Л. Лесной покров и лесные ресурсы Северо-Восточного края Якутской АССР // Тр. СОПС АН СССР. 1932. – Вып. 3: Лесные ресурсы Якутии. – Л.: Изд-во АН СССР, 1932. – С. 7–49.
3. Витвицкий Г.Н. Климат Якутии. – М.: Наука. 1965. – С. 115–143.
4. Геоморфология Восточной Якутии / Б.С. Русанов, З.Ф. Бороденкова, О.В. Гончаров и др. – Якутск, 1967. – 375 с.
5. Куваев В.Б. Растительность Восточного Верхоянья // Растительность Крайнего Севера и ее освоение. – Вып. 2. М., 1956. – С. 133–186.
6. Перфильева В.И. Основные черты растительности горной части бассейна р. Яны // Теоретические и прикладные проблемы биологии на Северо-Востоке СССР. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1977. – С. 85–94.
7. Поздняков Л.К. Леса верхнего течения Яны // Тр. Ин-та биологии ЯФ СО АН СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – Вып. 7. – С. 162–242.
8. Прахов Н.Н. Основные элементы растительности Верхоянского хребта // Тр. Ин-та биологии ЯФ СО АН СССР. – М., 1957. – Вып. 3: Матер. по изучению растительности Якутии. – С. 39–67.
9. Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 144 с.
10. Тимофеев П.А., Протопопов А.В. Лиственничные леса бассейна реки Яны в ее среднем течении // Проблемы экологии Якутии. Биогеографические исследования. – Якутск: Изд-во ЯГУ, 1996. – Вып. 1. – С. 85–95.
11. Худяков И.А. Краткое описание Верхоянского округа / И.А. Худяков. – Ленинград, 1969. – 441 с.
12. Щербаков И.П. Лесной покров Северо-Востока СССР. – Новосибирск: Наука, 1975. – 344 с.
13. Юрцев Б.А. К характеристике подзоны северо-таежных лиственничников в западной части бассейна р. Яны // Материалы по растительности Якутии. – Л., 1961. – С. 222–252.
14. Яровой М.И. Растительность бассейна р. Яны и Верхоянского хребта // Сов. ботаника. – 1939. – № 1. – С. 21–40.

УДК 502.335

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ «ЗЕЛЕННОГО» ОБЩЕНАЦИОНАЛЬНОГО СЧЕТОВОДСТВА**Астахова Л.В., Черняев С.И.***Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», Калуга, e-mail: fn2kf@bk.ru*

В настоящей статье осуществлен обзор важнейших этапов формирования и перманентного эволюционирования системы учета экологических показателей в современной интегрированной системе национального счетоводства. Причиной совершенствования и необходимостью включения экологической составляющей является нарастание и обострение экологических проблем. В первую очередь это касается вклада окружающей среды и природных ресурсов в макроэкономические результаты. Рассмотрен ряд используемых в настоящее время индикаторов, которые позволяют более адекватно, корректно и полно охарактеризовать элементы сложившейся экономической стоимостной оценки природных ресурсов. Акцентируется внимание на важности использования системы показателей экологичности и природоемкости, которые включают общие и частные параметры, для выявления вклада отраслей производства в загрязнение окружающей природной среды. Отмечено, что повышение экологичности и уменьшение природоемкости экономики является необходимым условием перехода к устойчивому развитию для любой страны и всей мировой экономики.

Ключевые слова: природные ресурсы, взаимодействие экономики и окружающей природной среды, интегрированная система национальных счетов

CURRENT STATE OF «GREEN» NATIONAL BOOKKEEPING**Astakhova L.V., Chernyaev S.I.***Kaluga Branch of Moscow State Technical University named after N.Ye. Bauman, Kaluga, e-mail: fn2kf@bk.ru*

The article provides a revise of the most important stages of formation and permanent development of the ecological indicators accounting system in the modern integrated system of national book keeping. Growth and intensification of ecological problems is the reason for improving including ecological component. First of all, it concerns the contribution of surrounding environment and natural resources to microeconomic results. A number of indicators used nowadays that allows to adequately properly and completely characterize the elements of existing economic cost estimation of natural resource are considered. Special attention is paid to the importance of using ecological compatibility and natural resources account system which includes general special parameters to indicate the contribution of productive industry to the environment pollution. It is mentioned that growth of ecological compatibility and reduction of natural resources in economy is an essential condition for transferring to sustainable development of any country as well as world economy.

Keywords: natural resources, interaction of economy and the surrounding environment, the integrated system of national accounts

Система национальных счетов (СНС), как система взаимосвязанных показателей наиболее общих результатов и пропорций экономического развития, возникла в 1940–1950-х гг. в развитых капиталистических странах в связи с потребностью органов государственного управления в информации, необходимой для формирования макроэкономической политики и разработки мер по регулированию рыночной экономики [4, 5, 16]. СНС – это согласованный на международном уровне стандартный набор рекомендаций по исчислению показателей экономической деятельности в соответствии с четкими правилами ведения счетов и учета на макроуровне, основанными на принципах экономической теории. Методологические подходы к построению СНС, составляют идеи, заложенные в первую очередь в моделях макроэкономического

кругооборота. Это стоимостное отражение результатов экономической деятельности людей во всех сферах, в том числе в материальном производстве, в сфере государственного управления, обороны и охраны общественного порядка. СНС постоянно совершенствуется. Первые СНС использовали у себя Англия, Германия, Голландия, Франция и США. В 1952 г. эксперты ООН по экономической статистике обобщили опыт национального счетоводства и разработали унифицированную СНС для применения ее во всех странах в качестве базовой системы, что позволило с большей точностью сопоставлять уровни их экономического развития и протекающие в них экономические процессы. Первый стандарт СНС-53 был одобрен ООН в 1953 г. и содержал ограниченное число счетов по экономике в целом. В 1968 г. с учетом новых

потребностей, выдвигаемых практикой, состоялся пересмотр СНС по методологии ООН. В СНС-68 вошли новые блоки макроэкономической информации (например, показатели движения финансовых ресурсов), а также были предусмотрены счета для пяти секторов экономики. СНС была дополнена показателями межотраслевого баланса «затраты – выпуск», что позволило наряду с данными о потоках в сфере обращения получать информацию о материальных потоках товаров и услуг между секторами (отраслями) экономики. Тем самым СНС была интегрирована с межотраслевым балансом, а материальные потоки – с денежными, экономические ресурсы – с конечным результатом. Впервые взаимодействие экономики и окружающей природной среды с экономическими позицией стало рассматриваться СНС ООН с 1968 г. В этом варианте использование природной среды имело ограниченное отражение и не влияло на затраты и на величину ВВП. Так, если ухудшение качества земли было связано со скоплением отходов, то это отражалось в рамках «других изменений» стоимости земли только в случае, когда оно влияло на ее рыночную стоимость. В качестве издержек в СНС учитывались только затраты по транспортировке отходов к месту их удаления [5, 20].

В 1993 г. был осуществлен новый пересмотр СНС, ее новый усовершенствованный вариант опубликован ООН в начале 1994 г. – был введен новый стандарт отраслевой классификации, а также вместо увязки производства общественного продукта и доходов, согласно концепции о факторных доходах, стала использоваться концепция добавленной стоимости, поскольку сумма факторных доходов уменьшает стоимость валового общественного продукта на амортизационные отчисления (на стоимость потребленного основного капитала) и косвенные налоги. СНС-93 предусматривает построение счетов не только для экономики в целом, её секторов и отраслей, но и для отдельных экономических единиц. Версия СНС 1993 г. предусматривает более широкий охват активов. И с учетом того, что первоочередное внимание должно быть уделено той части природной среды, которая подвержена или может оказаться под воздействием антропогенной деятельности [20].

В 2003 г. Статистическая комиссия ООН приняла решение о том, что СНС 1993 должна быть обновлена с целью приведения концептуальной основы СНС

в соответствие с нуждами потребителей данных. В итоге на свет появилась СНС-2008 [10, 13, 22].

СНС в настоящее время является пересечением ряда относительно простых подсистем, каждая из которых образует некоторый ее структурно-функциональный срез (по отраслям или видам экономической деятельности – технологический срез, по секторам – институциональный срез или по регионам – территориальный срез) и, в свою очередь, является полиструктурной системой, функционирующей на основе взаимодействия разнородных внутренних факторов [1, 14].

Причиной совершенствования и необходимого включения экологической составляющей в СНС является нарастание и обострение экологических проблем. В первую очередь это касается вклада окружающей среды и природных ресурсов в макроэкономические результаты. Первыми в СНС были включены природные ресурсы, которые принято называть природными или естественными активами, которые фигурируют в качестве значимой составляющей национального богатства, под которым, в свою очередь, понимается накопленное поколениями материальное и нематериальное достояние страны. В СНС, без изменений основных счетов, были добавлены вспомогательные счета, включающие физические и стоимостные экологические показатели, и оценки экологических издержек. Продажа природных ресурсов частично учитывается как добавленная стоимость на счетах производства и доходов, корректировка экологических издержек осуществляется на вспомогательных счетах, предназначенных дополнять основные счета СНС интегрированными счетами. Таким образом, модифицированные счета запасов и потоков сохраняют согласованность счетов капитала и счетов производства в составе СНС [8].

В национальном богатстве отражены земельные (в первую очередь сельскохозяйственные угодья), лесные, водные, минерально-сырьевые и топливно-энергетические ресурсы. Их учет осложняется, т.к. многие виды природных ресурсов не имеют адекватной денежной оценки (национальное богатство является денежным макроэкономическим показателем). Включение оценки природных ресурсов в СНС требует пересмотра традиционных представлений об уровне социально-экономического благосостояния страны и ее возможностей в обеспечении устойчивого развития. Нали-

чие больших запасов природных ресурсов и выгодного географического положения не гарантирует устойчивого развития. В качестве примера обычно приводятся данные о том, что Россия обладает природно-ресурсным потенциалом в расчете на душу населения, в 2–2,5 раза превышающим аналогичный потенциал США, в 6–8 – Германии и в 18–20 – Японии, а по производству ВВП на душу населения Россия заметно отстает от всех промышленно развитых стран [5, 9]. Объясняется такая ситуация тем, что в современных условиях основными экономическими ресурсами стали накопленные знания, уровень образования, профессиональные навыки и квалификация работников, т.е. капитал человеческий и интеллектуальный [7, 11, 18].

Анализируя в целом устойчивое развитие, можно подчеркнуть то положение, что уменьшение природоемкости экономики является необходимым условием перехода к нему для любой страны и всей мировой экономики. Не может быть движения по траектории устойчивого развития при увеличении использования природных ресурсов и загрязнений в расчете на единицу конечного результата. И опыт перехода многих стран к постиндустриальным экономическим структурам об этом говорит. В большинстве стран ОЭСР потребление на душу населения таких базовых материалов, как сталь, дерево, медь, стабилизировалось и даже в некоторых странах снизилось при росте экономических результатов [15].

Кроме того, следует иметь в виду, что продуктивность природных ресурсов зависит не только от их суммарного запаса, но и от соответствующей экономической оценки, а также эффективности их распределения между альтернативными вариантами использования. Это требует отражения экологических параметров в таких макроэкономических показателях, как ВВП, ВВП и др. В настоящее время учитываются следующие экологические параметры: доля природоохранных издержек в ВВП (ВНП); доля расходов на охрану окружающей среды в суммарных расходах государственного бюджета; доля инвестиций природоохранного характера в общем объеме инвестиций. Однако величина природоохранных издержек сама по себе ничего не говорит об эффективности природоохранной деятельности и качестве окружающей среды. Для определения эффективности требуется сопоставление природоохранных издержек

и предотвращенного эколого-экономического ущерба на макроуровне. Сейчас же используется модель, аналогичная модели оптимального пользования окружающей средой с применением агрегированных величин предельных природоохранных издержек и предельного эколого-экономического ущерба [2, 19].

Оценка эколого-экономического ущерба регулярно осуществляется во многих странах. По группе развитых стран она составляет 3–6% ВВП, в то время как экологические затраты не превышают 1,5–2% ВВП. Очевидно, что эти затраты не могут компенсировать ущерб. Еще более сложная ситуация наблюдается в развивающихся странах и странах с переходной экономикой. Наряду с долей природоохранных издержек в ВВП (ВНП) необходимо знать их абсолютный уровень и структуру, включающую: издержки на покупку, установку, обслуживание и ремонт (модернизацию) природоохранного оборудования; издержки на модернизацию существующего производства с целью повышения его экологической безопасности; правительственные и частные затраты на реализацию экологических программ; издержки на экологическое регулирование и контроль (в т.ч. разработку и реализацию природоохранного законодательства, новых экологических стандартов и т.д.) [9].

Так как экологические мероприятия реализуются в отдельных секторах национальной экономики, отраслевая структура природоохранных издержек характеризуется относительной устойчивостью. Она определяется набором и остротой экологических проблем, а также существующими природоохранными технологиями. При включении экологических параметров в систему макроэкономических показателей необходим учет фактора времени. В ряде случаев крупные текущие затраты могут принести в будущем значительные выигрыши, чего не скажешь о возможных последствиях влияния экологической политики на уровень занятости и экономический рост. Она может: вызвать снижение международной конкурентоспособности продукции; привести к замораживанию некоторых инвестиционных проектов; способствовать перемещению прямых инвестиций в страны с более низкими экологическими требованиями; в условиях ограниченности ресурсов приводить к отвлечению этих ресурсов из производственной сферы и замедлению экономического роста [2, 9].



Расчет действительной нормы накопления [21]

Преодоление ряда недостатков существующей СНС потребовало ее модификации и разработки на ее основе интегрированной системы экономических и экологических счетов. Главное отличие ИСНС от традиционной системы национальных счетов заключается в том, что она включает ресурсные и экологические счета, в которых используются денежные показатели оценки природных ресурсов и экологических благ. На основе экологических счетов разрабатываются макроэкономические показатели, отражающие экологические параметры и позволяющие более адекватно оценивать и измерять уровень доходов, производства и благосостояния. К ним относятся счета природных ресурсов, отходов, загрязнений, а также природоохранных затрат. Основным назначением ИСНС является методическое и информационное обеспечение национальных программ устойчивого развития [9]. С учетом динамики созданного человеком капитала и природного капитала, а также процессов истощения природных ресурсов и деградации окружающей среды были разработаны две разновидности экологически адаптированного чистого внутреннего продукта. Первая разновидность учитывает амортизацию природного капитала, показатель которой вычитается из величины чистого национального продукта. Вторая разновидность учитывает уровень деградации окружающей среды, показатель которого вычитается из величины чистого внутреннего продукта. Таким образом, речь идет уже об экологически адаптированных макроэкономических показателях чистого внутреннего продукта (EDP):

$$EDP1 = NDP - DN,$$

где NDP – чистый национальный продукт, DN – амортизация природного капитала.

$$EDP2 = EDP1 - DD,$$

где DD – уровень деградации окружающей среды.

Если провести корректировку ВВП, рассчитанного традиционным способом, с учетом экологических последствий экономического роста, то динамика соответствующих показателей будет очень различаться. Сопоставляя ВВП, рассчитанный традиционным способом, со скорректированным ВВП, учитывающим загрязнение окружающей среды и расход возобновимых природных ресурсов, а также его показатель, за вычетом расхода невозобновимых ресурсов и долгосрочного эколого-экономического ущерба, можно увидеть фактическое отсутствие экономического роста в его общепринятом понимании [2, 5, 9].

Всемирным банком был разработан показатель «действительная норма накопления» (рисунок) [21], который равен отношению суммы прироста произведенного капитала, прироста природного капитала и прироста человеческого капитала к валовому национальному продукту. Действительная норма накопления позволяет охарактеризовать достигнутый уровень устойчивого развития и, в отличие от традиционной нормы накопления, учитывает: потери, вызванные истощением природных ресурсов и деградацией окружающей среды; выигрыши от прироста человеческого капитала.

Существует два подхода к модификации традиционной СНС. В рамках первого подхода ресурсные и экологические счета рассматриваются как сателлитные (дополнительные по отношению к основным счетам), которые существуют параллельно с традиционной СНС. В остальном СНС остается без изменений. В сателлитных счетах используются преимущественно натуральные показатели. Согласно второму подходу, сателлитные счета включаются в ИСНС в качестве органической части. Натуральные показатели используются лишь как основа для расчета денежных показателей оценки природных ресурсов и экологи-

ческих благ. На основе экологических счетов разрабатываются макроэкономические показатели, отражающие экологические параметры и позволяющие более адекватно оценивать и измерять уровень доходов, производства и благосостояния. Основными спутниковыми счетами являются счета природных ресурсов, отходов, загрязнений, а также природоохранных затрат [2].

ИСНС предусматривает расширение понятия активов (фондов) и введение их новой классификации. Под природными активами, или природным капиталом, понимаются элементы (тела) природы или их сочетания (экологические системы), на которые прямо или косвенно влияет хозяйственная или иная деятельность человека. В их состав включаются все виды биологических ресурсов, земельные и водные ресурсы, атмосферный воздух, полезные ископаемые. Экономическое использование природных активов может сопровождаться постоянным или временным изменением запасов ресурсов («количественное использование») или не вызывать никаких изменений («качественное использование»). Результаты использования природных активов в форме потока соответствующих благ в первом случае называются экологическими товарами, а во втором – экологическими услугами. Негативные последствия использования экологических товаров заключаются в истощении природных активов, а негативные последствия потребления экологических услуг – в деградации природных активов. Различные виды количественного или качественного использования природных активов для экономических целей трактуются как экономические функции природных активов. Для оценки экономических функций природных активов применяется система натуральных и денежных показателей. Количественное использование природных активов измеряется в физических единицах (кубометрах леса, тоннах руды и т.д.). Качественное использование природных активов может быть выражено опосредованно через потоки загрязняющих веществ, накапливающихся в окружающей среде. В этом случае используются материально-энергетические балансы [9].

Экономическая оценка природных активов и их функций осуществляется с помощью следующих основных методов: прямая рыночная оценка; косвенная рыночная оценка (например, через оценку готовности платить или получить компенсацию за ухудшение состояния окружающей среды);

прямая нерыночная оценка (например, через экономическую оценку ущерба или издержки на достижение определенного стандарта качества окружающей среды). Однако на практике такая оценка связана со значительными трудностями. В первую очередь это касается невозобновимых природных ресурсов. Основными способами их оценки являются: метод истощения (аналогичен методу амортизационных отчислений для основного капитала и предполагает расчет дисконтированной стоимости месторождения или участка природного ресурса); метод издержек пользователя (не требует денежной оценки природных ресурсов. В его основе лежит разделение чистого дохода от эксплуатации месторождения (участка) на две части – доход собственника и амортизация ресурса. Вторая часть предназначена для компенсации израсходованного невозобновимого природного ресурса и называется «издержками пользователя» или «рентой истощения»). Она вычитается из ВВП и рассматривается как инвестиции на воспроизводство природного ресурса) [2].

Степень истощения возобновимых биологических ресурсов оценивается с помощью дифференциальной ренты (земельной, лесной и т.д.). В этом случае вначале определяется экономическая оценка добытого ресурса, из которой затем вычитается стоимость естественного прироста этого ресурса [9].

Практическое внедрение ИСНС требует времени и значительных ресурсов. Темпы, масштабы и очередность внедрения ИСНС определяются специфическими для каждой страны факторами, к которым относятся: оценка природно-ресурсного потенциала и его влияние на производственный процесс; обеспеченность экономики основными видами природных ресурсов, в первую очередь топливно-энергетическими ресурсами; уровень загрязнения окружающей среды и степень деградации экологических систем; степень экологической безопасности населения страны; способность правительства и других органов государственной власти использовать содержащуюся в ИСНС информацию для разработки экологической политики; устойчивое информационное обеспечение ИСНС за счет внесения соответствующих изменений в статистику и бухгалтерский учет. Очевидно, что сочетание этих факторов и их влияние на процесс внедрения ИСНС специфичны для каждой страны. Например, с учетом первых двух факторов условно выделяют три группы стран: сырьевые страны – богатые

природными активами, доход от продажи которых составляет значительную часть поступлений от экспорта (для этих стран особенно острой является проблема истощения запасов природных ресурсов и деградации окружающей среды – уничтожение лесов, экстенсивная добыча минерального сырья, истощение почвы, дефицит питьевой воды); индустриально развитые страны – для которых характерен значительный объем импорта сырья и рост экспорта готовой продукции (эти страны в первую очередь обеспокоены загрязнением окружающей среды и обеспечением экологической безопасности населения); смешанные страны – обладающие достаточным природно-ресурсным потенциалом, как для удовлетворения собственных потребностей, так и для экспорта сырья (например, Канада, Бразилия и др.). Их экологические проблемы представляют собой комбинацию проблем первых двух групп стран [2, 9].

В отношении сферы природопользования и охраны окружающей среды, ее структуры, а также современного состояния, следует отметить, что природная среда составляет естественную материальную основу производства и служит условием жизнедеятельности человека. Поэтому в широком смысле границы сферы природопользования и производственной системы совпадают. Однако деятельность по охране и восстановлению природы имеет ряд особенностей, позволяющих говорить о природопользовании в узком смысле. Природопользование в узком смысле включает в себя 4 блока: первый блок – представлен отраслями, специализирующимися на выявлении, учете, оценке и охране природных ресурсов и экологических систем, подготовке ресурсов для последующего хозяйственного использования, а также на воспроизводстве природных ресурсов или содействии их естественному возобновлению (лесное хозяйство, водное хозяйство, рыбное хозяйство, охотничье хозяйство, геологоразведка); второй блок – входит в состав производственного сектора. Он представлен экологическими подразделениями предприятий традиционных отраслей экономики, задача которых – обслуживание природоохранного оборудования, в том числе пыле- и газоулавливающих установок, очистных сооружений, оборудования по сбору и переработке отходов, средств мониторинга и контроля за загрязнением окружающей среды и т.п.; третий блок – состоит из предприятий, которые занимаются

очисткой сточных вод, а также утилизацией и обезвреживанием отходов. К ним относятся: муниципальные (городские) очистные сооружения, ливневые и канализационные стоки, предприятия по приему, переработке и безопасному хранению отходов и вторичных ресурсов (этот блок также называют экологической или природоохранной инфраструктурой); четвертый блок – состоит из предприятий, специализирующихся на выпуске: очистного оборудования, оборудования для переработки отходов, средств экологического контроля и мониторинга, разнообразной измерительной аппаратуры и т.д. Сюда же относятся: консалтинговые услуги, экологическая экспертиза, экологический маркетинг и менеджмент, экологический контроллинг и аудит, страхование экологических рисков (этот сектор экономики, принято называть экологическим бизнесом) [9, 17].

Важным показателем эффективности функционирования природно-продуктовой системы в целом является показатель природоемкости, определяемый отношением объемов используемых природных ресурсов, производимых загрязнений и конечной продукции. Этот показатель хорошо характеризует тип и уровень эколого-экономического развития и является одним из важнейших критериев устойчивого развития экономики. А важным аргументом в пользу измерения природоемкости является возможность ее сопоставления в динамике или при сравнении с другими странами, экономическими структурами, технологиями и пр. Ее изменение может свидетельствовать либо об экологосбалансированных, либо о техногенных сдвигах в экономике. Величина природоемкости зависит от эффективности использования природных ресурсов во всей цепи, соединяющей первичные природные ресурсы, продукцию, получаемую на их основе, и непосредственно конечные стадии технологических процессов, связанных с преобразованием природного вещества. Все отрасли и производства с разной степенью интенсивности и опасности негативно влияют на окружающую среду и ее подсистемы [3, 6, 15].

Для выявления вклада отраслей производства в загрязнение окружающей среды используется система показателей экологичности и природоемкости, включающих общие и частные параметры. Общие показатели являются интегральными и отражают воздействие экономической системы

или ее компонента на окружающую среду в целом. Это: ущербоемкость производства (определяется как отношение экономического ущерба, наносимого окружающей среде производством, в отдельном секторе экономики или национальным производством в целом, к соответствующему объему производства); отходоемкость производства (позволяет выявить наиболее экологически «грязные» отрасли и рассчитывается как отношение объема отходов к соответствующему объему производства (может выражаться в денежной или натуральной форме); землеемкость производства (применяется при оценке действующего производства, а также при обосновании проектов и определяется как отношение земельной площади, занимаемой производственно-хозяйственным комплексом (отраслью, предприятием), к соответствующему объему производства); ресурсоемкость производства (количественная оценка этого показателя затруднена, ввиду того, что в производстве обычно применяется много разнообразных ресурсов. При ее расчете используется объем применения восьми важнейших видов ресурсов, на которые приходится 80 % используемого в производстве сырья: сырая нефть, каменный уголь, природный газ, железная руда, круглый лес, бокситы, хлопок и пшеница. Хлопок и пшеница характеризуют эффективность использования земельных ресурсов в сельском хозяйстве). Соответственно, ресурсоемкость национального производства определяется как отношение объема восьми важнейших ресурсов в денежном выражении (в долларовом эквиваленте) к ВВП страны. Показатель удельного потребления природных ресурсов (ресурсоемкость) рассчитывается как отношение расхода определенного вида ресурсов на производство продукции к объему валовой продукции; энергоемкость производства (национального дохода) – показатель, характеризующий расход энергии на единицу продукции или национального дохода). Показателями для измерения энергоэффективности на макроуровне являются: энергоемкость ВВП (прирост потребления первичных энергоресурсов на каждый процент прироста ВВП страны) и собственно энергоэффективность (обратный показатель по отношению к энергоемкости) [2, 9, 12].

Наряду с общими показателями экологичности и природоемкости производства используются частные показатели. В них

отражается воздействие отраслей экономики на отдельные подсистемы окружающей среды – загрязнение воздуха, воды, почв, шум, а также другие виды загрязнения. Обычно их рассматривают на примере загрязнения атмосферного воздуха, осуществляемого мобильными и стационарными источниками. Основными мобильными источниками загрязнения являются автомобили и железнодорожный транспорт. Из стационарных источников наибольший вклад в загрязнение атмосферы вносят предприятия электроэнергетики, цветной и черной металлургии. Этот вывод сделан на основе показателя доли источников или отраслей в общем объеме загрязнений. Кроме того, необходимо учитывать степень опасности загрязняющих веществ. Например, производство с небольшим объемом выпуска – микробиологическое и кожевенное – характеризуются высокой степенью опасности выбросов, которые являются сильными аллергенами. Важно также знать химический состав загрязнений. Например, в городах наибольшее количество выбросов приходится на углекислый газ, окислы азота, двуокись серы, фенол, формальдегид, пыль и др. Для предотвращения попадания загрязняющих веществ в атмосферу применяются различные пыле- и газоулавливающие установки. Поэтому важное значение имеет показатель степени улавливания загрязняющих веществ [1, 3, 19].

Список литературы

1. Баскин А.С., Боткин О.И., Ишманова М.С. Основы экономической теории: Курс лекций. – Ижевск: Издательский дом «Удмуртский университет», 2000. – 552 с.
2. Васильева Е.Э. Экономика природопользования: курс лекций / Е. Э. Васильева. – Минск: БГУ, 2012. – 195 с.
3. Гирусов Э.В., Бобылев С.Н., Новоселов А.Л., Чепурных Н.В. Экология и экономика природопользования: Учебник для вузов / Под ред. проф. Э.В. Гирусова, проф. В.Н. Лопатина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Юнити-Дана, Единство, 2003. – 519 с.
4. Гурман В.И., Кульбака Н.Э., Рюмина Е.В. Проблемы учета экологической составляющей в системе национальных счетов // Экономика и математические методы. – 1996. – Т. 32. – Вып. 1. – С. 111–120.
5. Демидова Л.Н., Кузьминчук Н.А., Черняев С.И. Система национальных счетов: Учебно-методическое пособие по курсу. – Калуга: КФ ФГБОУ ВПО «Финансовый университет при Правительстве РФ», 2013. – 154 с.
6. Жибинова К.В. Экономические основы экологии / К.В. Жибинова. – Красноярск: КрасГАУ, 2005. – 143 с.
7. Жукова Ю.М., Черняев С.И. Некоторые аспекты управления знаниями и интеллектуальным капиталом в вузе // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 5-1. – С. 123–130.
8. Зомонова Э.М. Методика учета экологических аспектов в системе национальных счетов // Общество: политика, экономика, право. – 2012. – № 4. – С. 27–33.
9. Зырянова У.П. Экономика природопользования и природоохранной деятельности: учебное пособие /

У.П. Зырянова, В.В. Кузнецов, В.Н. Лазарев. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 183 с.

10. Иванов Ю.Н., Хоменко Т.А. Обзор основных положений пересмотренной системы национальных счетов 1993 года (СНС 2008 года) и перспективы их поэтапного применения в статистике стран СНГ // Вопросы статистики. – 2009. – № 3. – С. 40–42.

11. Каленов О.Е. Функции знаний на предприятии // Креативная экономика. – 2012. – № 8 (68). – С. 3–9.

12. Макара С.В. Экономика природопользования: учебник / С.В. Макара, В.Г. Глушкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 588 с.

13. Международные экономические отношения. Под ред. Рыбалкина В.Е. 9-е изд., перераб. и доп. – М.: 2012 – 647 с.

14. Образцова О.И., Копейкина О.В. Система национальных счетов. – М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2008. – 460 с.

15. Снижение нагрузки на окружающую среду [Электронный ресурс]. // Геоглобус.ру – геолого-географическое и техно-экологическое обозрение: сайт. – Режим доступа: <http://www.geoglobus.ru/ecology/practice6/economics09.php> (дата обращения: 27.07.2016).

16. Соляник О.Н. Учет экологического фактора в системе национальных счетов: энергетический подход // Вестник СумГУ. – 2004. – № 6 (65). – С. 43–52.

17. Черняев С.И. Развитие экологического маркетинга в России и за рубежом // Экономика. Управление. Право. – М., 2013. – № 5. – С. 3–6.

18. Черняев С.И. Расширенное воспроизводство человеческого капитала – ключевой фактор повышения конкурентоспособности компании. // Альманах современной науки и образования. – 2013. – № 5 (72). – С. 188–193.

19. Экологический и природно-ресурсный факторы в системе макроэкономических показателей [Электронный ресурс]. // Студопедия: сайт. – Режим доступа: http://studopedia.ru/2_23607_ekologicheskii-i-prirodno-resursnyi-faktori-v-sisteme-makroekonomicheskikh-pokazateley.html (дата обращения: 27.07.2016).

20. Экономическая статистика. 2-е изд., доп.: Учебник / Под ред. Иванова Ю.Н. 2-е изд., доп. – М.: Инфра-М, 2002. – 480 с.

21. Indicators of stability of development [Электронный ресурс]. // The World Bank Group: сайт – Режим доступа: <http://www.worldbank.org/depweb/beyond/mirroscs/chapter17.html> (дата обращения: 27.07.2016).

22. System of National Accounts 2008, UN, N-Y. European Commission, International Monetary Fund, Organisation for Economic Cooperation and Development, United Nations, World Bank. – 662 p.

УДК 502.62

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА Г. ЭЛИСТА**¹Горяшкина З.В., ¹Щербакова Л.Ф., ²Цомбуева Б.В.**¹ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет им. Ю.А. Гагарина»,
Саратов, e-mail: goryashkievaz@mail.ru;²ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова»,
Элиста, e-mail: bairacom@mail.ru

Дана оценка уровня химического загрязнения почв города Элиста. Определены концентрации 3,4-бенз(а)пирена, тяжелых металлов, содержание органического углерода и нефтепродуктов, солевой состав в почвах, отобранных с территорий автозаправочных станций, котельной и трассы. В ходе исследования было выявлено, что содержание бенз(а)пирена в поверхностном слое почвы автозаправочной станции и трассы не превышает ПДК. В почвенном покрове урболандшафтов отмечается высокий уровень загрязнения соединениями меди и свинца. Наибольший уровень аккумуляции тяжелых металлов имеют почвы, испытывающие высокую техногенную нагрузку (почвы автозаправочных станций и вблизи котельной). Содержание нефтепродуктов и органического углерода увеличивается по мере приближения к источнику загрязнения в 2 раза. Исследуемые почвы города характеризуются сульфатно-хлоридно-натриевым типом засоления.

Ключевые слова: бенз(а)пирен, нефтепродукты, органический углерод, тяжелые металлы, техногенное загрязнение, почвенный покров, полициклические ароматические углеводороды

ASSESSMENT OF POLLUTION OF SOIL ELISTA**¹Goryashkiewa Z.V., ¹Scherbakova L.F., ²Tsombueva B.V.**¹Saratov State Technical University named Yu.A. Gagarina, Saratov, e-mail: goryashkievaz@mail.ru;²Kalmyk State University named B.B. Gorodovikov, Elista, e-mail: bairacom@mail.ru

Research work shows the level of chemical contamination of soil in Elista. The samples of the soil were collected from gas stations territory, boiler room and the track. The soil was tested to define the concentration of 3,4-benzo(a)pyrene, heavy metals, organic carbon content and salt composition. The fact that the concentration of benz(a)pyrene in the surface layer of soil in the gas station territory and near the track doesn't exceed the permissible concentration (MPC) was revealed during the study. High level of concentration by compound of copper and lead is marked in the soil cover of urban landscape. The highest level of heavy metals accumulation has the soil with high anthropogenic impact (gas stations soil and the soil near boiler room). The oil and organic carbon in the soil is doubled as it get closer to the source of pollution. The soil in Elista has sulfate-sodium-chloride type of salinity.

Keywords: benzo(a)pyrene, oil, organic carbon, heavy metals, industrial pollution, soil cover, polycyclic aromatic hydrocarbons

В городской среде почвы формируются в условиях больших антропогенных нагрузок, поэтому почвенный покров города значительно отличается от природных. Вследствие загрязнения почв промышленными производственными отходами, строительными материалами и бытовым мусором в городской среде происходит ухудшение водного и воздушного режима почв.

Среди неорганических загрязнений почвенного покрова наибольшую опасность представляют тяжелые металлы. Многие тяжелые металлы способны менять валентность и принимать участие в окислительно-восстановительных процессах. В настоящее время внимание к токсикантам экологического происхождения резко увеличилось вследствие способности металлов накапливаться в организме.

Среди органических загрязнителей почвенного покрова особое место занимают полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). ПАУ являются опасными токсикантами, обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами. Основными источниками поступления ПАУ в городской почвенный покров являются все процессы термической обработки сырья, продукты горения печей и выбросы выхлопных газов автомобильного транспорта [1].

На законодательном уровне в России узаконен контроль единственного представителя полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) 1 класса опасности – 3,4-бенз(а)пирена. Предельно допустимая концентрация бенз(а)пирена в почве – 20 мкг/кг.

Цель данного исследования – оценить состояние почвенного покрова урбанизированных территорий г. Элиста.

Материалы и методы исследования

Объектами изучения были выбраны почвы г. Элиста, в местах расположения автозаправочных станций (АЗС), вдоль автомагистралей (трасс), почвы территорий, находящихся под воздействием промышлен-

ленных предприятий (котельная). В качестве фона были взяты образцы почв, отобранные в 100 м от источников загрязнения. Отбор проб на территории АЗС и трассы проводился на глубине 0–20 см и 20–30 см и на фоновых участках с поверхности (0–20 см) [2].

В зоне влияния котельной в соответствии с направлением господствующих ветров выделяли четыре участка, первый из которых непосредственно примыкал к периметру зоны (0–20 см и 20–30 см), второй отстоял от него на 100 м, третий на 200 м и четвертый – 300 м.

Исследования почвенных образцов и выбор пробных площадей для проведения полевых исследований осуществляли общепринятыми методиками. Количественное содержание подвижных форм и валовое содержание ТМ (Pb, Cu, Cd, Zn) в почвах определяли методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии. Содержание органического углерода в образцах почвы определяли по ГОСТ 26213-91. Массовая доля нефтепродуктов в почве была измерена флуориметрическим методом по ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002. Для определения солевого состава почв применялся метод капиллярного электрофореза «Капель – 105 М Люмекс» по методикам [4, 5].

Бенз(а)пирен определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе «Люмахром» с флуориметрическим детектором [6]. Метод основан на извлечении 3,4-бенз(а)пирена хлористым метилом из образцов почвы. Концентрированный экстракт подвергался очистке методом колоночной хроматографии с дальнейшим количественным определением методом ВЭЖХ.

Результаты исследования и их обсуждение

Наибольшее количество опасных веществ, выбрасывающихся на территорию города, накапливаются в верхних слоях почв, что приводит к изменению химических свойств субстрата. Исследования свойств почвы г. Элиста показали, что почвогрунты

по степени засоленности являются сильно-засоленными и по типу засоления сульфатно-хлоридно-натриевыми (табл. 1).

Анализ водной вытяжки почвы показал, что на территории АЗС происходит увеличение содержания SO_4^{2-} , Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Наибольшее накопление отмечено для SO_4^{2-} и Na^+ – увеличение концентрации по сравнению с фоновыми значениями в 7 и 7,5 раз соответственно. Увеличение содержания Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} на территории АЗС в 2,5–3 раза.

Результаты исследования солевого состава почвенного покрова вблизи трассы показали, что в почве накапливаются SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} . Увеличение содержания Ca^{2+} незначительное. Следует отметить, что содержание SO_4^{2-} и Cl^- вблизи 20–30 см в 1,6–1,8 раза больше чем 0–20 см, объясняется смывом данных анионов осадком в нижележащие слои почв.

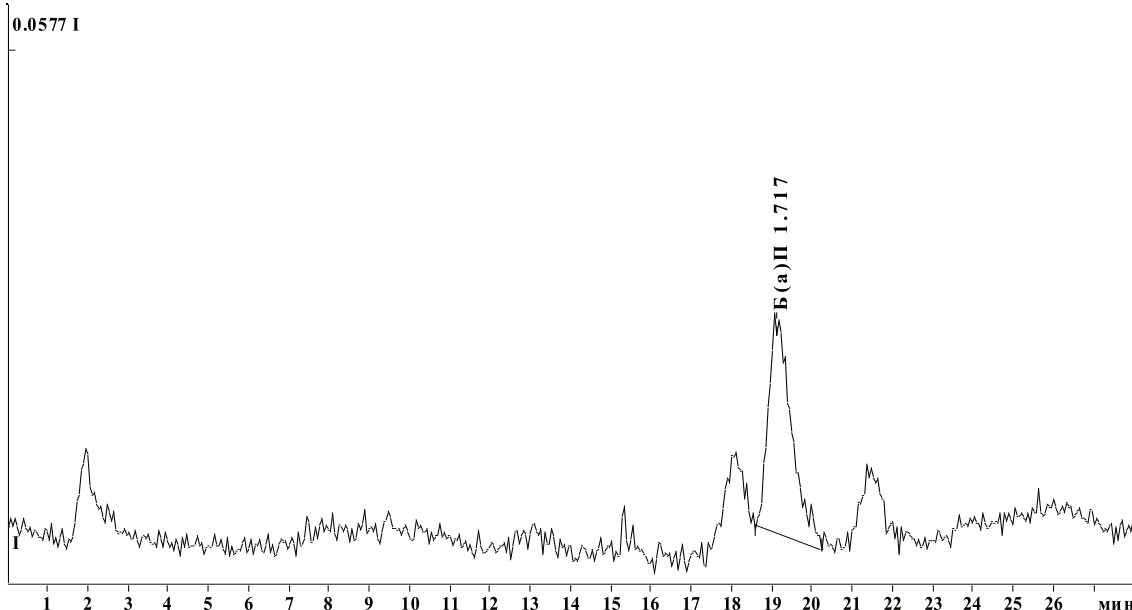
На территории вблизи котельной отмечено увеличение содержания Na^+ и SO_4^{2-} . В почвенных образцах, взятых по розе ветров на расстоянии 100, 200 и 300 м, не происходит накопление солей.

Для определения оценки загрязнения территорий полициклическими ароматическими углеводородами были исследовано содержание в них бенз(а)пирена, являющегося маркером загрязнения почв ПАУ. Исследования показали, что на территории АЗС и в почвенном покрове вблизи трассы в поверхностном слое концентрация бенз(а)пирена минимальная. На территории котельной и по розе ветров бенз(а)пирен не обнаружен (табл. 2).

Таблица 1

Химический состав водной вытяжки из почв исследуемых территорий

Почвенный профиль	мг*экв/кг						Тип засоления
	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	
АЗС 0–20 см	35,00	6,19	153,60	115,00	25,00	27,50	$\text{SO}_4\text{-Cl-Na}$
АЗС 20–30 см	37,50	9,40	43,20	144,76	57,50	42,50	$\text{SO}_4\text{-Cl-Na}$
АЗС Фон	11,40	6,30	21,12	15,60	10,00	12,50	$\text{Cl-SO}_4\text{-Na}$
Трасса 0–20 см	26,25	6,60	86,40	120,41	32,50	35,00	$\text{SO}_4\text{-Cl-Na}$
Трасса 20–30 см	41,25	7,90	145,92	129,00	30,00	30,00	$\text{SO}_4\text{-Cl-Na}$
Трасса Фон	14,00	7,50	15,00	190,00	20,00	5,00	$\text{Cl-SO}_4\text{-Na}$
Котельная 0–20	46,25	7,30	108,80	117,60	22,50	30,00	$\text{Cl-SO}_4\text{-Na}$
Котельная 20–30	40,00	8,60	235,20	135,11	17,50	7,50	$\text{SO}_4\text{-Cl-Na}$
Котельная 100 м	31,80	6,90	52,80	38,90	12,50	17,50	$\text{SO}_4\text{-Cl-Na}$
Котельная 200 м	37,50	7,40	43,20	35,60	10,00	15,00	$\text{SO}_4\text{-Cl-Na}$
Котельная 300 м	39,30	6,80	45,12	29,90	15,00	7,50	$\text{SO}_4\text{-Cl-Na}$
Котельная Фон	25,00	7,10	76,80	40,80	15,00	12,50	$\text{SO}_4\text{-Cl-Na}$



Хроматограмма бенз(а)пирена на территории АЗС 0–20

Таблица 2
Содержание бенз(а)пирена в почвенном покрове исследуемых территорий

Почвенный профиль	БП, мг/кг
АЗС 0–20 см	1,717
АЗС 20–30 см	1,390
АЗС Фон	н/о
Трасса 0–20 см	2,019
Трасса 20–30 см	н/о
Котельная 0–20	н/о
Котельная 20–30	н/о
Котельная Фон	н/о
Котельная 100 м	н/о
Котельная 200 м	н/о
Котельная 300 м	н/о
Трасса Фон	н/о

На рис. 2 представлена хроматограмма определения бенз(а)пирена в почве на территории АЗС в поверхностном слое на которой на 19 мин хорошо виден пик бенз(а)пирена (БП), среднее его содержание составляет 1,717 мг/кг, что значительно ниже предельно допустимой концентрации [7]. На фоновых территориях и в почвенном покрове вблизи котельной бенз(а)пирен не обнаружен. Полученные данные по содержанию бенз(а)пирена в почве свидетельствуют о загрязнении данным поллютантом вследствие работы двигателей автомобильного транспорта.

Распределение содержания БП в профиле почв на территории АЗС имеет поверхностный характер – в поверхностном слое почвы концентрация БП больше, чем на глубине 20–30 см. Поверхностный характер распределения БП свидетельствует о слабой миграционной способности бенз(а)пирена по почвенному профилю, что подтверждается и литературными данными [3], в которых авторы утверждают, что в почвенном профиле, формирующемся в условиях интенсивной техногенной нагрузки, наблюдается резкая приповерхностная аккумуляция полициклических ароматических углеводородов.

Одним из показателей загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами является повышенное содержание органического углерода. Органический углерод представляет собой общее содержание сумм всех органических веществ, а именно гумуса, парафинов и других углеводородов.

В результате загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами (НП) происходит интенсивный рост общего содержания органического углерода. Деструкция НП и нефти приводит к увеличению концентрации органических веществ.

В ходе исследования было выявлено, что содержание органического углерода изменяется в пределах 0,36–3,66 % а также увеличение идет непосредственно возле АЗС и трассы. Минимальные значения кон-

центрации органического углерода наблюдаются на фоновых территориях. Увеличение содержания органического углерода по сравнению с фоновыми значениями происходит за счет его техногенного внесения.

Таблица 3
Содержание органического углерода
и нефтепродуктов

Почвенный профиль	C _{орг} , %	НП, мг/кг
АЗС 0–20 см	2,10	607,30
АЗС 20–30 см	1,05	309,50
АЗС Фон	0,36	24,65
Трасса 0–20 см	1,50	404,95
Трасса 20–30 см	1,08	175,80
Трасса Фон	0,87	68,05
Котельная 0–20	2,88	13,27
Котельная 20–30	1,20	111,90
Котельная Фон	0,87	86,90
Котельная 100 м	3,66	179,50
Котельная 200 м	1,71	230,26
Котельная 300 м	1,65	277,16

В почвенных образцах исследуемых территорий были определены содержания нефтепродуктов (НП), концентрация НП колеблется в пределах от 25,65–607,10 мг/кг. Накопление нефтяных углеводородов происходит на территории трассы в поверхностном слое почвы и превышает фоновые значения в 6 раз, а на глубине 20–30 см – 2,6 раз. В местах отбора проб с территории АЗС зафиксировано максимальное содержание нефтепродуктов – 607,10 мг/кг. Концентрация НП уменьшается по мере удаления от источника загрязнения (табл. 3).

На территории вблизи котельной отмечено наименьшее содержание нефтепродуктов в почве. Однако в почвенных образцах взятых по розе ветров на расстоянии 100, 200, 300 м происходит увеличение содержания нефтепродуктов по сравнению с фоном.

Выполненные исследования на содержание тяжелых металлов показали (табл. 4), что промышленный комплекс города (ко-

тельная) и особенно автозаправочные станции оказывают негативное воздействие на загрязнение почвенного покрова города.

Все изучаемые тяжелые металлы в разной степени интенсивно накапливаются в почвах города. На территории автозаправочной станции валовое содержание цинка не превышает ПДК (100 мг/кг), что составляет 91,2 мг/кг. Однако концентрация подвижных форм цинка превышает допустимую концентрацию в 3 раза. Накопление свинца исследуемой территории связано с выбросами в атмосферу продуктов сгорания топлива, его валовое содержание и подвижные формы сопоставимы с ПДК (табл. 4). Наибольшее содержание Си в подвижных формах составляет 7,40 мг/кг, что превышает ПДК в 2 раза.

Анализ распределения тяжелых металлов на почвенных образцах вдоль трасс выявил, что средний уровень содержания микроэлементов не превышает допустимую концентрацию.

В почвах зоны влияния котельной валовое содержание тяжелых металлов (Zn, Pb, Cu, Cd) не превышает допустимой нормы. ПДК подвижной формы меди для почв составляет 3,0 мг/кг, почвенном образце с территории котельной – 3,5 мг/кг. Концентрация свинца (31,3 мг/кг) сопоставима с допустимой нормой 32,00 мг/кг.

Заключение

На основе экспериментальных исследований можно сделать выводы о количественной оценке техногенного загрязнения почвогрунтов различных функциональных зон г. Элиста.

1. Исследуемые почвы города характеризуются сульфатно-хлоридно-натриевым типом засоления.

2. В ходе исследования было выявлено, содержание бенз(а)пирена в поверхностном слое почв АЗС и трассы не превышает ПДК. На территории котельной и по розе ветров бенз(а)пирен не обнаружен.

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов

Почвенный профиль	Подвижная форма, мг/кг /кг				Валовое содержание ТМ, мг			
	Pb	Cu	Cd	Zn	Pb	Cu	Cd	Zn
АЗС 0–20 см	29,60	15,20	0,36	91,20	29,10	7,40	0,22	68,40
Трасса 0–20 см	13,90	7,30	0,30	33,80	8,70	2,20	0,17	17,20
Котельная 0–20 см	25,80	22,00	0,50	93,50	31,30	3,50	0,90	17,60
ПДК	30,00	55,00	2,00	100,00	32,00	3,00	2,00	23,00

3. Степень загрязнения нефтепродуктами городской почвы уменьшается по мере удаления от источника загрязнения.

4. В ходе исследования было выявлено, что содержание органического углерода изменяется в пределах 0,36–3,66%, а также увеличение идет непосредственно возле АЗС и трассы. Минимальные значения концентрации органического углерода наблюдаются на фоновых территориях.

5. Приоритетными загрязнителями среди измеренных тяжелых металлов являются соединения цинка, свинца. Наибольший уровень аккумуляции тяжелых металлов имеют почвы автозаправочных станций, а также почвы вблизи котельной.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ № 16-05-00916.

Список литературы

1. Геннадиев А.Н. Миграция и аккумуляция полициклических ароматических углеводородов при техногенном

загрязнении почв / А.Н. Геннадиев, Ю.И. Пиковский, // Сборник тезисов международной научной конференции «Современные проблемы загрязнения почв». – Москва: МГУ, 2004 – С. 3–15.

2. ГОСТ 17.4.3.01-83. Почвы. Общие требования к отбору проб. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 16 с.

3. Зволинский В.П. Экология нефтезагрязненных почв европейской части России / В.П. Зволинский, Е.К. Батовская, А.Н. Бондаренко // Земледелие. – 2007. – № 4. – С. 13–14.

4. ПНД Ф 16.1:2.2.2:2.3.74.-2012. Определения водорастворимых форм неорганических катионов в почвах, грунтах тепличных, глинах, торфе, осадках сточных вод, активном иле, донных отложениях. – М.: Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия, 2012 – 33 с.

5. ПНД Ф 16.1:2.2.3:2.2.69-10. Определения водорастворимых форм неорганических анионов в почвах, грунтах тепличных, глинах, торфе, осадках сточных вод, активном иле, донных отложениях. – М.: Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия, 2010 – 44 с.

6. ПНД Ф 16.1:2.2.2:2.3.39-2003. Определения массовой доли бенз(а)пирена в пробах почв, грунтов, твердых отходов, донных отложений, осадках сточных вод, 2010 – 42 с.

7. Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 15 с.

УДК 528.235

ПОСТРОЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ МНОГООКОННЫХ ГИС СИСТЕМ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

^{1,2}Жигалов К.Ю.¹Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова Российской академии наук, Москва;²НОУ ВО «Московский технологический институт», Москва, e-mail: kshakalov@mail.ru

Статья посвящена использованию стереоскопических интерфейсов пользователя в геоинформационных системах (ГИС) для решения задач автоматизации управления и мониторинга строительными процессами. Кроме того, затронута тема возможности использования современных шлемов виртуальной реальности и мобильных телефонов для получения эффекта наибольшего присутствия. Основное внимание в статье уделяется вопросам оптимизации ГИС для обеспечения наибольшей эффективности работы системы в целом. Подробно изложены принципы графического построения ядра системы. Достаточно большое внимание уделено объединению современных средств обработки с целью достижения наибольшей эффективности применения стерео режимов в ГИС. В результате применения описанной методики можно достигать высокой эффективности работы системы автоматизации управления и мониторинга, что существенно ускорит внедрение данных систем повсеместно.

Ключевые слова: использование ГИС, многооконные ГИС, стереоскопическая визуализация, тесселяция

CREATION AND USAGE OF INTERACTIVE MULTIWINDOW GIS OF SYSTEMS FOR AUTOMATED PRODUCTION OF CONSTRUCTION WORKS

^{1,2}Zhigalov K.Yu.¹V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow;²Moscow Technological Institute, Moscow, e-mail: kshakalov@mail.ru

Article is devoted to use of stereoscopic interfaces of the user in geographic information systems (GIS) for the decision of tasks of control automation and monitoring by construction processes. Besides, the subject of a possibility of use of the modern helmets of the virtual reality and mobile phones for obtaining effect of the greatest presence is touched in the article. The main attention in article is paid to questions of optimization of GIS for support of the greatest overall performance of system in general. The principles of graphic creation of a kernel of system are explained. Rather much attention is paid to combining of the modern means of processing for the purpose of achievement of the greatest efficiency of application of the stereo modes in GIS. As a result of application of the described technique it is possible to reach high overall performance of system of management automation and monitoring that will significantly accelerate introduction control systems.

Keywords: use of GIS, multiwindow GIS, stereoscopic visualization, tessellation

Современные геоинформационные системы хранят и обрабатывают огромное количество информации. Данный аспект позволяет применять их для решения достаточно большого круга задач, в том числе и не в традиционном для них виде. Например, геоинформационные системы могут найти широкое применение в системах автоматического управления крупными площадными объектами, такими как заводы, угольные разрезы и строительство дорог.

В ряде случаев пользователям достаточно сравнительно простого интерфейса для выполнения целого ряда задач (например, навигационные системы). В случае же их использования для сложных систем, таких как системы управления техникой, оператор должен видеть не только основную, но и вспомогательную информацию. При этом информация должна отображаться разных типов [4, 6]:

- план работ;
- 3d карта местности;
- табличные и атрибутивные данные;
- интерактивные пометки и сообщения системы управления;

• аварийные сообщения и рекомендации.

Все означенные выше данные разного типа, но при их выводе используется один усредненный метод отображения. Это приводит к неэффективному использованию ресурсов компьютера. Например, что 3d карта местности максимально информативна в трехмерном (он же стереорежим), который позволяет получать эффект присутствия оператора на месте проведения работ (см. рис. 1).

Существует два основных варианта отображения стерео изображения на сегодняшний день:

- на мониторах и проекторах (некоторое время назад для этого требовались

специализированные мониторы, сейчас есть технологии отображения 3d изображения посредством видеокарты на любом мониторе);

- на шлемах виртуальной реальности (в настоящий момент их достаточно большое разнообразие).

На сегодняшний день стандартные геоинформационные системы и фотограмметрические станции, при работе в стереорежиме имеют однооконный интерфейс, что не позволяет совмещать обработку основной информации с использованием других окон как источника вспомогательной информации. Для понижения расхода ресурсов на такое отображение возможно использовать системы, контролирующие направление взгляда пользователя [10]. В качестве первого шага в направлении разработки такого рода систем был разработан способ создания стереоскопического интерфейса пользователя в многооконной среде Windows (патент RU 2380763, ИПУ РАН) [1, 3]. Тем не менее такого рода метод несет в себе недостаток, связанный с необходимостью подготовки высококачественного стереоскопического интерфейса во всем окне программного средства (в нашем случае ГИС), безотносительно к тому, какая часть этого интерфейса закрыта другими окнами, что приводит к неэффективному

расходу вычислительных ресурсов (см. рис. 2). Такой недостаток особенно остро ощущается при визуализации сложных динамических сцен. Согласно мнению некоторых исследователей, этот недостаток приводит к неоправданному расходу вычислительных ресурсов в те промежутки времени, когда внимание оператора направлено на другие окна [2].

В данном случае используется подход применения многооконного стереоскопического интерфейса, в котором качество стереоскопической визуализации зависит от текущей конфигурации окон и от направления взгляда пользователя, что должно обеспечивать экономию вычислительных ресурсов за счет подготовки упрощенного варианта отображения в областях, удаленных от области пристального взгляда пользователя. Такая задача включает в себя решение следующих задач [3, 5]:

- подготовка стереоскопического контента низкого и высокого качества отображения с учетом конфигурации окон для отображения;
- определение трехмерных координат направления взгляда пользователя на экране;
- преобразование качества отображения стереоскопической информации в реальном времени для улучшения восприятия пользователем с учетом конфигурации окон.

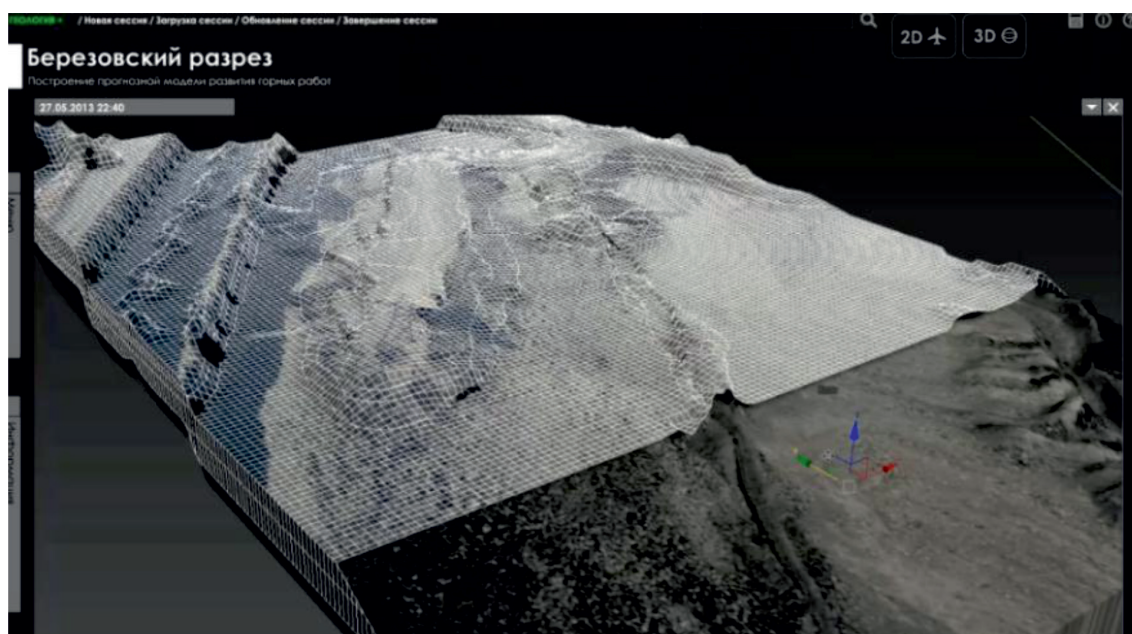


Рис. 1. Пример стереоизображения 3d ГИС



Рис. 2. Пример перекрывания атрибутивной информацией части стереоизображения

На основе проведенных исследований, для нахождения направления вектора взгляда, подходы на основе трехмерных моделей, моделирующих общие физические структуры человеческого глаза геометрически, признаны наиболее эффективными. Экспериментальные данные показали, что при удалении пользователя на 90–110 см от экрана, и при частоте распознавания 25 Герц в секунду, точность распознавания области пристального взгляда составляет 10–15 мм [1].

Следует отметить, что существует два диаметрально противоположных варианта действий с многооконным интерфейсом пользователя:

- метод искусственного повышения качества изображения в местах (окнах) системы, куда устремлен взгляд человека;
- метод понижения качества изображения в местах (окнах) системы, куда устремлен взгляд человека.

Разработки ведутся параллельно в обоих данных направлениях.

Для целей повышения эффективности использования ресурсов ПК (в означенной

выше технологии) при отображении стереоскопических изображений целесообразно использовать метод тесселяции применительно к месту пристального взгляда оператора. Разработанный Институтом проблем управления РАН алгоритм тесселяции предлагает использование ресурсов пакета Direct 3D 11 [7, 8]. Согласно пакету Direct 3D 11 стадия тесселяции традиционно производится между вершинным и геометрическим шейдерами с целью сглаживания, вызываемой дискретностью сетки трехмерной модели визуализируемого объекта [8, 9]. В проведенных тестах стадия тесселятора использовала параметр для подразбиения патча на несколько квадратов и треугольников. При этом решения о разбиении делаются на основе тесселяционных и конфигурационных параметров, передаваемых из оболочного шейдера. Координаты параметризации каждой вершины после стадии тесселяции передаются в шейдер областей. Все это позволяет ликвидировать мозаичность изображения, вызываемую дискретностью сетки трехмерной модели визуа-

лизируемого объекта путем сглаживания изображения в области тесселяции.

Проведенные эксперименты показали, что метод тесселяции для повышения качества изображения доказал свою состоятельность при опросах операторов, задействованных в тестировании такого рода систем.

лету» могут вообще достигать нескольких десятков секунд. Все это обуславливает поиски других вариантов решения данного вопроса.

Самым простым решением вопроса на сегодняшний день служит решение растягивания ПО на несколько мониторов, в этом случае вспомогательную информацию можно

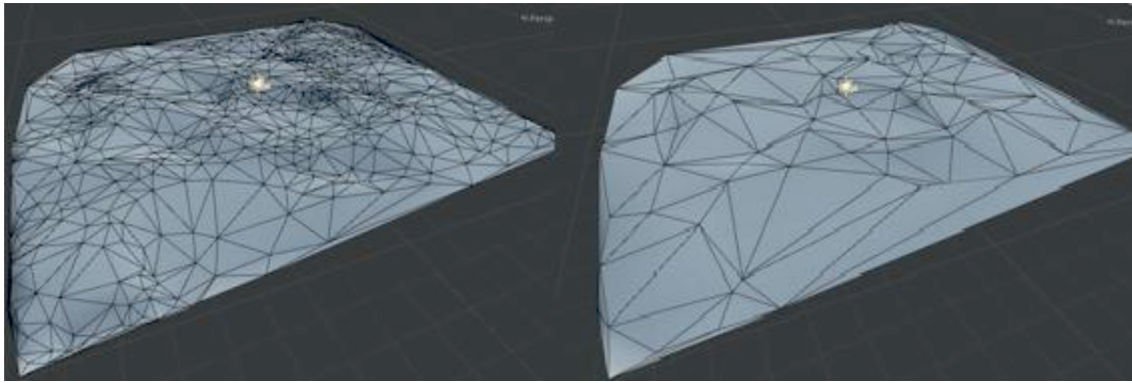


Рис. 3. Пример отображения разного количества треугольников одной поверхности при тесселяции

Кроме того, повышение производительности в окнах, куда не устремлен взгляд человека, возможно за счет изменения детализации элементов интерфейса посредством использования метода LOD (Level of Details), при котором помимо основной трехмерной модели элемента интерфейса создаются аппроксимированные копии такой модели (см. рис. 3). Соответственно данные копии могут создаваться как в режиме реального времени, так и заранее. Данные модели могут подставляться в зависимости от направления взгляда пользователя или от нагрузки на видеоподсистему компьютера. Теоретически при таком подходе должно достигаться существенное ускорение процесса визуализации трехмерной сцены без потери информативности ее элементов. И в игровых системах это так. Но ГИС сцены зачастую намного более громоздкие, чем игры, и данный подход несет в себе кучу других недостатков. Рассмотрим это далее.

Отображение на одном мониторе и стерео и нестереоизображения достаточно затратно с точки зрения ресурсов системы так как монитор все равно будет работать в стерео режиме, а соответственно, видеокарта будет изготавливать картинку под оба глаза наблюдателя отдельно. Кроме того, на хранение двух копий одной сцены в памяти видеокарты необходимо выделять большее количество места. А параллельные вычисления вершин для пересчета качества отображения «на

перемещать на второй, третий и прочие мониторы без параллельной стереообработки и стереоотображении данных окон. При этом систему улавливания направления вектора взгляда оператора имеет смысл оставить, только у нее несколько упрощается функция. Это связано с тем, что системе необходимо понимать, смотрит ли оператор в монитор со стереоэффектом или нет. В случае, если оператор будет смотреть в другую сторону, система просто будет отключать стереорежим.

Тем не менее такого рода системы становятся бесполезными при использовании в работе операторами шлемов виртуальной реальности. Конечно, данная технология еще не до конца отработана в полной мере и в современных фотограмметрических станциях и ГИС системах не применяется. Главным образом это связано с тем, что шлемы или приспособления для крепления мобильных телефонов не имеют высокого разрешения. Но, если быть объективными, она достаточно перспективна, и повышение качества отображения а следовательно, и их применение в ГИС различного уровня не за горами. У шлемов нет датчиков, отслеживающих взгляд пользователей, а следовательно, и означенные в первой части нашей статьи технологии применить нельзя. Но понижения требовательности ресурсов можно добиться за счет разного качества генерирования картинки для 3d данных и вспомогательной информации. На сегодняшний день

работа таких систем построена по принципу программного рендеринга. При этом система полностью воспроизводит картинку самостоятельно, на первоначальном этапе программисты располагают полную картину 3d мира в систему и программно расставляют камеры для каждого глаза. При этом вся атрибутивная информация, при ее наличии, располагается на пластинах. Исходя из этого можно сказать, что вопросы оптимизации изображения на шлемах виртуальной реальности еще в начале своего пути и стандартные методы, применимые к отображению на персональных компьютерах, тут не работают.

Выводы

На сегодняшний день, теоретически, имеется два основных вида представления 3d данных с максимальным погружением, и возможностью обработки стереоскопических данных в ГИС системах:

- стереоотображение на мониторах;
- стереоотображение на шлемах виртуальной реальности.

Следует отметить, что текущее программное обеспечение шлемов виртуальной реальности не позволяет их использовать по данному назначению. Тем не менее это направление активно исследуется и, при учете данных из статьи, может быть использовано в ближайшее время.

Что касается отображения на мониторах, то тут все отработано в большей мере. Тем не менее существующие ГИС отображают стереоизображение в однооконном интерфейсе, что затрудняет оператору использовать атрибутивные данные в той же информационной системе.

Наиболее эффективный способ повышения эффективности работы системы отображения 3d и стереосистем сейчас видится в применении многооконных (многоинтерфейсных) ГИС. В этом случае их было бы возможно разворачивать сразу на несколько мониторов и отображать стереоокно на одном, а атрибутивные и вспомогательные данные на остальных. Данный способ существенно сэкономил бы ресурсы системы на отображение стереоэффекта на нескольких мониторах одновременно. В этом случае также нет необходимости использовать системы слежения на взглядом наблюдателя для отображения разного качества изображений на одном мониторе. В случае использования такого рода систем можно просто отключать режим стереоотображения в окне, когда пользователь в него не смотрит. Это позволит существенно экономить ресурсы системы за счет отсут-

ствия необходимости хранить и отображать изображение ухудшенного качества.

Кроме того, в настоящее время ведутся работы по изысканию менее затратных с точки зрения ресурсов способов вывода атрибутивной информации на экран. Согласно исследованию, использование существующих ресурсов по отображению окон даже с простой текстовой информацией потребляет до 30 % вычислительных ресурсов видеоподсистемы. Связано это с тем, что существующие технологии отображения стереоинтерфейсов были разработаны преимущественно для игр, где нет необходимости в постоянном отображении большого количества атрибутивной информации.

Следует отметить, что решения по многооконному интерфейсу применимы не только касательно ГИС управления чем-либо, но и на фотограмметрических станциях и прочих системах обработки стереоинформации. Кроме того, тестирование показало эффективность такого рода систем в таких задачах, как горнодобывающая промышленность, строительство и эксплуатация дорог и площадных сооружений, фотограмметрические обработки аэро- и космосъемки.

Список литературы

1. Алчинов А.И., Беклемишев Н.Д., Кекелидзе В.Б. Методы цифровой фотограмметрии. Технология «Талка». Московский государственный университет печати. – 2007. – 259 с.
2. Алчинов А.И., Иванов А.В. Разработка многооконных интерактивных систем для обработки трехмерных изображений с использованием датчика направления взгляда оператора // Датчики и системы. – 2014. – № 4. – С. 2–7.
3. Алчинов А.И., Подловченко А.Б., Викторов А.В., Иванов А.В. Патент RU 2380763. Способ создания стереоскопического графического интерфейса пользователя компьютера. Оpubл. 27.01.2010.
4. Жигалов К.Ю. Адаптация современных ГИС под задачи автоматизации процессов управления механизмами на примере строительства автодороги // Естественные и технические науки. – М., 2005. – № 5. – С. 235–236.
5. Жигалов К.Ю., Сюняев Ш.И. Модели движения строительной техники в процессах автоматизации строительства объектов // Актуальные инновационные исследования: наука и практика [Электронное научное издание]. – 2013. – Т. 3. http://www.actualresearch.ru/nn/2013_3/Article/geosciences/zhigalov2013_3.htm (дата обращения 20.11.2015).
6. Жигалов К.Ю., Сюняев Ш.И. Подготовка площадок проведения строительных работ для процессов автоматизации и мониторинга строительства автострад / Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные тенденции в образовании и науке», Тамбов, – 2013. – Часть 11. – С. 46–48.
7. Журкин И.Г., Алчинов А.И., Максимов В.И., Хусаинова Р.Ф. Особенности разработки систем передачи стереоскопического 3D видео и изображений через телекоммуникационные сети в реальном времени // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 6. – С. 87–90.
8. Информация о Direct3D, Официальный сайт Microsoft [Электронный ресурс] URL: www.microsoft.com/ruru/Download/details.aspx?id=35 (дата обращения: 10.01.2017).
9. Hansen D.W., Ji Q. In the Eye of the Beholder: Survey of Models for Eyes and Gaze // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. – 2010. – Vol. 32, № 3. – P. 478–500.
10. Mashitani K., Hamagishi G., Takemoto S., Horiuchi Keiji., Hori Y. US Patent 7646907. Stereoscopic image generating device and stereoscopic image delivery method. 2010.

УДК 550.8.053

ЗОНАЛЬНОСТЬ МНОГОМЕТАЛЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ КУМИРНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕРЕБРА (СЕВЕРНОЕ ПРИМОРЬЕ)**Ивин В.В., Медведев Е.И., Фатьянов И.И.***Федеральное агентство научных организаций, ФГБУН «Дальневосточный геологический институт» ДВО РАН, Владивосток, e-mail: Cage21@mail.ru*

В работе рассмотрены результаты минералого-геохимического изучения рудных зон Кумирного месторождения серебра (Приморский край), пространственно связанных с Малиновским позднемеловым-палеогеновым гранитоидным массивом. Для каждой рудной зоны были определены средние содержания элементов, полученные данные использовались при создании круговых диаграмм, анализ которых позволил выделить количественно преобладающие элементы (Ag, Au, Cu, Zn, Pb, Sn) и минеральные ассоциации для каждой из рудных зон. Дальнейшее сопоставление полученных результатов позволило выделить на территории месторождения три геохимических типа руд: олово-медно-серебряный (Sn-Cu-Ag), полиметалльно-серебряный (Zn-Pb-Ag) и золото-серебряный (Au-Ag). Особенностью первого является присутствие значительных количеств микровключений серебросодержащих минералов в халькопирите, второго – концентрирование основных количеств серебра в акантите, третьего – широкий спектр минеральных форм серебра. В размещении оруденения отмечается вертикальная и латеральная зональность. Вертикальная зональность выражена в развитии олово-медно-серебряного оруденения преимущественно на отметках 150–300 м, полиметалльно-серебряного – 300–500 м, золото-серебряного – выше 500 м. Латеральная зональность является следствием развития вертикальной: с возрастанием гипсометрических отметок от Малиновского массива со 150 м до 750 м в юго-западном направлении также отмечается последовательная смена геохимических типов руд.

Ключевые слова: серебро, золото, полиметаллы, олово, акантит, типизация, зональность**MINERALIZATION ZONING MNOGOMETALNOGO KUMIRNOE SILVER DEPOSIT (NORTHERN PRIMORYE)****Ivin V.V., Medvedev E.I., Fatyanov I.I.***Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: Cage21@mail.ru*

Kumirnoe silver deposits are spatially associated with Malinowski Late Cretaceous-Paleogene granitoid massifs, characterized poly-metal mineralization. It is indicative that of poorly and moderately-sulphide mineralization – the presence of cassiterite and native gold. Provided three geochemical types of ores: tin-silver-copper (Sn-Cu-Ag), silver-polymetal (Zn-Pb-Ag) and gold-silver (Au-Ag). A feature of the first is the presence of significant amounts of silver micro-minerals chalcopirite, the second – the concentration of major amounts of silver in the acanthus, the third – a wide range of mineral forms of silver. The placement of mineralization observed lateral and vertical zonation. Vertical zonation is expressed in the development of tin-copper-silver mineralization primarily at elevations of 150–300 m, silver-polymetal – 300–500 m, gold-silver – above 500 m. Lateral zoning is a consequence of the vertical: with increasing hypsometric marks from Malinowski array from 150 m to 750 m in the south-west also noted a succession of geochemical ore types.

Keywords: silver, gold, polymetal, tin, typification, zoning

Кумирное месторождение серебра расположено в северной части Приморского края, по содержанию основного полезного компонента (серебра) является одним из наиболее перспективных и малоизученных объектов. Исследования минералого-геохимического состава рудных зон месторождения (отбор проб из рудных тел и вмещающих их пород, шлиховое опробование протокочек) проводилось во время проведения полевых работ 2011–2012 гг. на площади месторождения из серии рудных тел, вскрытых разведочными канавами и расчистками. В них помимо основного компонента серебра обнаружены: олово, медь, цинк, свинец и золото. Многометалльность оруденения является характерной особенностью месторождения, в связи с чем основной целью данной работы является выявление мине-

ралого-геохимической и пространственной зональности в размещении минерализации на территории месторождения. Зональность благороднометалльного оруденения является характерным признаком многих гидротермальных месторождений [1, 4–6], исследования пространственного распределения минералого-геохимических типов руд на Кумирном месторождении откроют дополнительные перспективы для выявления новых геохимических типов руд и позволят наметить перспективные участки поисковых работ, а возможно, и обнаружения новых типов золотого оруденения на его территории.

Геологическое строение месторождения

Кумирное месторождение входит в состав Нижнетаежного рудного узла, располо-

женного в Прибрежной металлогенической зоне [7]. Узел характеризуется весьма сложным геологическим строением и состоит из ряда тектонических блоков с разной вертикальной амплитудой перемещения [2]. Развитые на его площади породы принадлежат двум структурным этажам: нижнему – терригенному (ранний мел) и верхнему – вулканогенному (поздний мел).

На месторождении проявлены породы верхнего структурного этажа, состоящего из стратифицированных эффузивно-пирокластических образований приморской (турон-кампан) и самаргинской (маастрихт) толщ (рис. 1). Приморская толща представлена агломератовыми, псефитовыми, псаммитовыми литокристаллокластическими туфами риолитов с обломками пород складчатого основания, игнимбритами, спекши-ми псаммитовыми туфами с фьямме ар-гиллизированного вулканического стекла. На эффузивно-пирокластических породах приморской толщи согласно залегают вулканиты среднего и умеренно кислого состава

самаргинской толщи. Стратифицированные вулканогенные образования прорваны штокообразными субвулканическими телами и дайками позднемелового и палеогенового возраста.

Эффузивно-пирокластические образования приморской и самаргинской толщ являются комагматами разноглубинных гранитоидных массивов, расположенных в рудном узле. К наиболее крупному из них, Малиновскому, пространственно тяготеют рудные зоны Кумирного месторождения с полиметалльной минерализацией. Массив неоднороден по строению. Он сложен кварцевыми диоритами и биотитовыми порфировидными гранитами, в краевых частях массива переходящими в гранит-порфиры. По данным ОАО «Примгеология» возраст массива позднемеловой-палеогеновый. Датировки образцов кварцевого диорита и порфировидного гранита, укладываемые в возрастной интервал формирования массива, показали соответственно 64 ± 1 млн лет и 47 ± 2 млн лет [8].

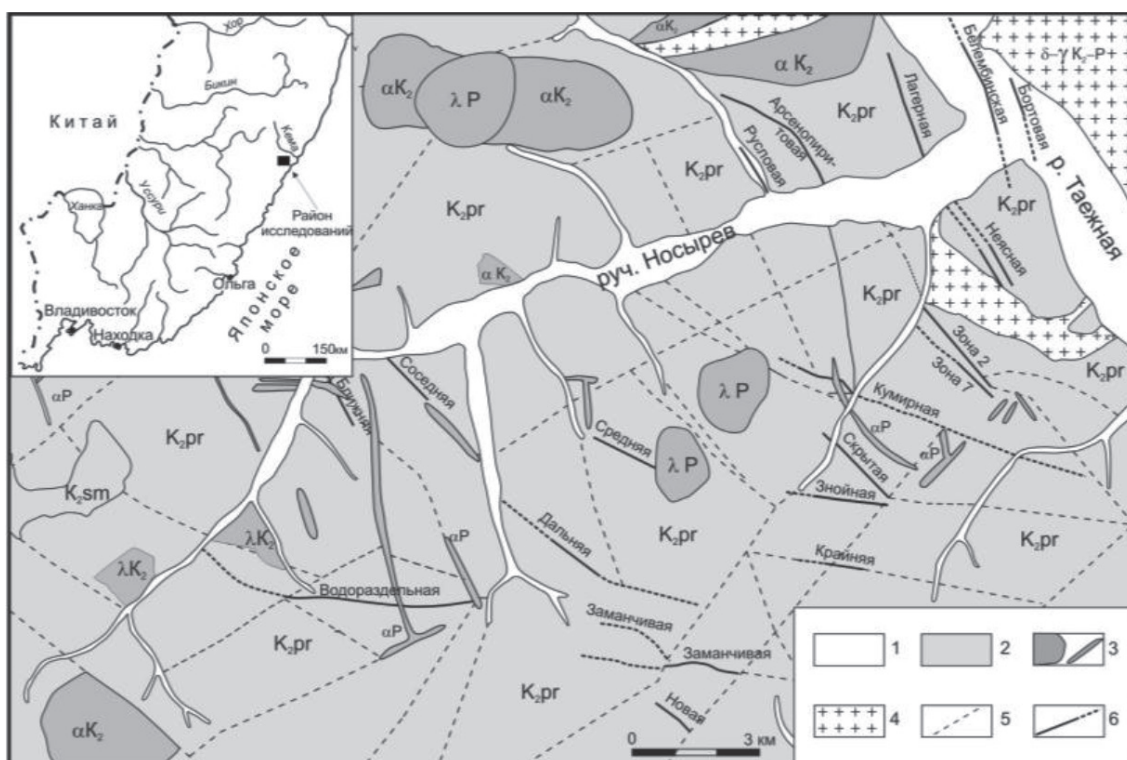


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Кумирного месторождения (по материалам ОАО «Примгеология» с изменениями авторов). 1 – четвертичные отложения; 2 – приморская (K_2pr) и самаргинская (K_2sm) толщи; 3 – штокообразные субвулканические тела и дайки позднемелового и палеогенового возраста; 4 – Малиновский гранитоидный массив (δ - γ K_2 - P); 5 – разрывные нарушения; 6 – рудные зоны

Химический состав серебросодержащих минералов Кумирного месторождения (мас. %)

Рудные зоны	S	Fe	Cu	Zn	Pb	Sn	Ag	Au
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Неясная	14,70	–	–	–	–	–	22,88	19,60
Знойная	16,87	–	–	–	–	2,43	73,76	–
Зона № 2	–	–	–	–	–	–	1,24	98,49
Зона № 2	–	–	–	–	–	–	78,62	20,63
Кумирная	12,29	0,30	–	–	–	–	85,50	–
Водораздельная	13,04	0,50	–	–	–	–	84,04	–
Заманчивая	21,22	3,50	15,7	3,80	0,21	–	28,98	–
Заманчивая	20,71	4,50	14,4	2,30	–	–	34,35	–
Кумирная	17,23	–	–	–	–	0,82	59,36	1,89
Кумирная	15,20	–	0,16	–	–	–	69,49	–

Окончание таблицы							
Sb	As	Ge	Se	Te	In	S	Минерал
10	11	12	13	14	15	16	17
40,37	–	–	–	–	–	97,54	Матильдит
–	–	6,10	–	–	–	99,19	Аргиродит
–	–	–	–	–	–	99,73	Золото
–	–	–	–	–	–	99,25	Электрум
–	0,48	–	0,50	–	–	99,66	Акантит
–	–	1,40	–	–	–	98,95	Акантит
26,62	0,67	–	–	0,10	–	100,78	Фрейбергит
24,63	–	–	–	–	–	100,88	Фрейбергит
20,05	–	–	0,13	–	–	99,50	Пираргирит
13,61	1,47	–	0,55	–	–	100,48	Стефанит

Примечание. Составы минералов определялись на рентгеноспектральном микроанализаторе JEOL JXA – 8100 в лаборатории рентгеновских методов исследований в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН (аналитик Г.Б. Молчанова). – элемент не обнаружен.

Минералого-геохимическая характеристика рудных зон

На месторождении известно 19 рудных зон северо-западной, реже субширотной ориентировки протяженностью до 1,5 км, мощностью до 15 м. Исследования образцов из рудных зон Кумирного месторождения проводились в центре коллективного пользования Дальневосточного геологического института (ЦКП ДВГИ ДВО РАН). Образцы распиливались, а затем из них были сделаны серии рудных аншлифов и шлифов. Полученные материалы исследовались на микроскопе фирмы CARL ZEISS – AXIOPLAN 2. Составы выделенных из протолок горных пород сульфидных, сульфосольных, в том числе впервые установленных серебросодержащих минералов, а также самородного серебра и золота выполнялись на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100 (аналитик Г.Б. Молчанова). В результате проведенных исследований выяснилось следующее.

Зоны состоят из серии крутопадающих сложноветвящихся серицит-гидрослюдисто-кварцевых жил, осевые части которых нередко сложены полупрозрачным кварцем, иногда гребенчатого строения. Руды относятся к мало- и умеренносульфидному типу. Прожилково-вкрапленная минерализация распространена весьма неравномерно, в отдельных частях жил доля рудных минералов может достигать 20%. Зоны, по данным ОАО «Приморгеология», сопровождаются геохимическими ореолами, состоящими из Ag, Cu, Zn, Pb, Sn, Au, Sb, As, Bi, Mo, Mn, Cr, Ni, V, Cd, Te, Se, Ga, Ge.

Рудные минералы представлены сульфидами, сульфосолями, благородными металлами и оксидами. Сульфиды – пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, арсенопирит, акантит, матильдит, аргиродит, канфильдит; сульфосоли – фрейбергит, пираргирит, полибазит, стефанит; благородные металлы – самородные серебро, золото и их интерметаллические соединения (кюстелит, электрум);

оксиды – касситерит, магнетит, гематит. В таблице приводится химический состав некоторых серебросодержащих минералов.

Промышленную значимость руд месторождения определяет серебро-акантит-сульфосольная ассоциация. Ниже приводится краткая характеристика некоторых серебросодержащих минералов продуктивной ассоциации.

Акантит – основной серебросодержащий минерал рудных зон Кумирного месторождения. Он ассоциирует с пиритом, арсенопиритом, галенитом, сфалеритом, иногда образует в них мелкие микровостки или их замещает. Особенно показательно замещение акантитом ромбовидных зерен арсенопирита с образованием псевдоморфоз. Его сростания с сульфосолями серебра свидетельствуют о длительном периоде кристаллизации минерала. Отмечаются как близсинхронные с пираргиритом и полибазитом, так и более поздние его выделения – в виде кайм вокруг сульфосолей с признаками их коррозии. Из элементов-примесей в составе акантитов зафиксированы Cu, Fe, Sb, As, Bi, Ge, Te, Se, Cd.

Аргиродит ассоциирует с акантитом и полибазитом, образуя в них микровключения, реже находясь в тесном с ними сростании. В одной из рудных зон в его составе обнаружены Sn и Ge (см. таблицу).

Пираргирит, как и акантит, является одним из основных минералов серебра. Приурочен к интерстициям и микротрещинам в кварце, что обусловило ксеноморфную форму его выделений, размер которых ко-

леблется от сотых долей до первых мм. Отмечается также в составе сложных полиминеральных агрегатов, состоящих из пирита, халькопирита, арсенопирита, галенита, сфалерита, фрейбергита, полибазита, стефанита, акантита, электрума. В пираргиритах обнаружены As, Cu, Fe, Zn, Se и Au.

Фрейбергит отмечается в сростаниях с другими сульфосолями серебра или образует мелкую вкрапленность ксеноморфных зерен в кварцевом матриксе. Реже наблюдается в виде тонких прожилков в полиминеральных скоплениях пирита, галенита, сфалерита и оторочек вокруг зерен сульфидов. Характер сростаний фрейбергита с другими минералами серебра показывает, что он является одним из ранних в серебро-акантит-сульфосольной ассоциации. В составе фрейбергита отмечен дефицит серы и присутствие As, Fe, Zn, Pb и Te.

Полибазит в кварцевом матриксе образует как мономинеральные выделения таблитчатой и интерстициальной формы, так и сростания с пираргиритом и акантитом. В его составе отмечаются Pb, Te и Se.

Стефанит присутствует в виде тонких прожилков в кварце в ассоциации с халькопиритом, акантитом и пираргиритом. В составе стефанита присутствуют Cu, As, Te и Se.

Самородное серебро в рудных телах представлено микровключениями в сульфидах. Размерность зерен колеблется от сотых до десятых долей миллиметра. В зоне гипергенеза встречается вторичное самородное серебро, ассоциирующее с гидроокислами железа.

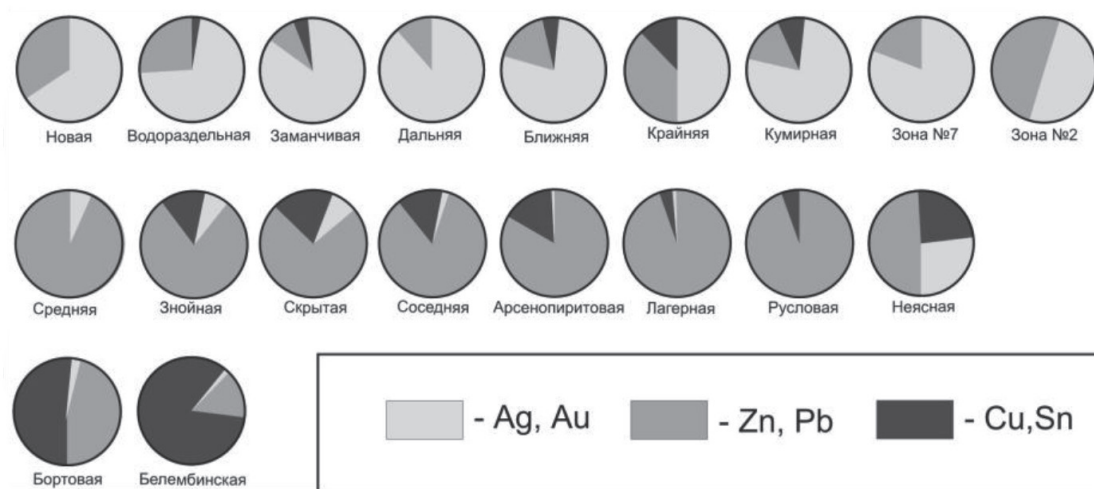


Рис. 2. Круговые диаграммы распределения рудопрофилирующих элементов в рудных зонах Кумирного месторождения, построены с помощью программного комплекса Matlab

Самородное золото в виде лапчатых, гребенчатых и комковидных форм размером от сотых до первых десятых мм, наблюдается в ассоциации с арсенопиритом и сульфосолями серебра. Его состав колеблется в широких пределах от низко- до высокопробных значений. В рудах присутствуют кюстелит и электрум. Средняя проба золота на месторождении – 831 ‰ [3].

Типы руд и зональность их размещения на Кумирном месторождении

Оруденение Кумирного месторождения, расположенного в бассейне руч. Носырев в юго-западном экзоконтактовом ореоле Малиновского гранитоидного массива. Минералого-геохимические исследования рудной минерализации позволили выделить шесть рудопрофилирующих элементов, определяющих металлогеническую специфику месторождения – Ag, Au, Cu, Zn, Pb, Sn. По данным геохимического опробования рудных зон, выполненного ОАО «Примгеология», нами рассчитаны средние содержания этих элементов в каждом рудном теле и построены круговые диаграммы их распределения. Анализ круговых диаграмм показал, что на месторождении проявлено три геохимических типа руд (рис. 2): олово-медно-серебряный (Sn-Cu-Ag), поли-

металльно-серебряный (Zn-Pb-Ag) и золото-серебряный (Au-Ag).

Наблюдается зональное размещение выделенных типов руд на площади месторождения. Рудные тела с олово-медно-серебряной (Sn-Cu-Ag) и полиметалльно-серебряной (Zn-Pb-Ag) минерализацией тяготеют к юго-восточному экзоконтакту Малиновского гранитоидного массива, а золото-серебряное (Au-Ag) оруденение располагается на периферии экзоконтактового ореола (рис. 3). Появление в поле золото-серебряного оруденения блока с полиметалльно-серебряной минерализацией связано с тектоно-магматическими процессами, приведшими к эрозионному срезу верхней (золото-серебряной) части рудной колонны.

Установленная последовательная смена геохимических типов руд от Малиновского массива в юго-западном направлении соответствует латеральной зональности, которая в свою очередь является отражением вертикальной, когда олово-медно-серебряная минерализация (Sn-Cu-Ag) на отметках 150–200 м в долине р. Таежной сменяется на полиметалльно-серебряную (Zn-Pb-Ag) на отметках 200–500 м, а затем вблизи водоразделов с отметками 500–700 м на золото-серебряную (Au-Ag).



Рис. 3. Зональное размещение полиметалльной рудной минерализации в пределах Кумирного месторождения. 1 – четвертичные отложения; 2 – Малиновский гранитоидный массив (δ-γ К₂-Р); 3 – тектонические нарушения; 4 – рудные тела; 5–7 – геохимические типы руд: 5 – олово-медно-серебряный (Sn-Cu-Ag); 6 – полиметалльно-серебряный (Zn-Pb-Ag); 7 – золото-серебряный (Au-Ag)

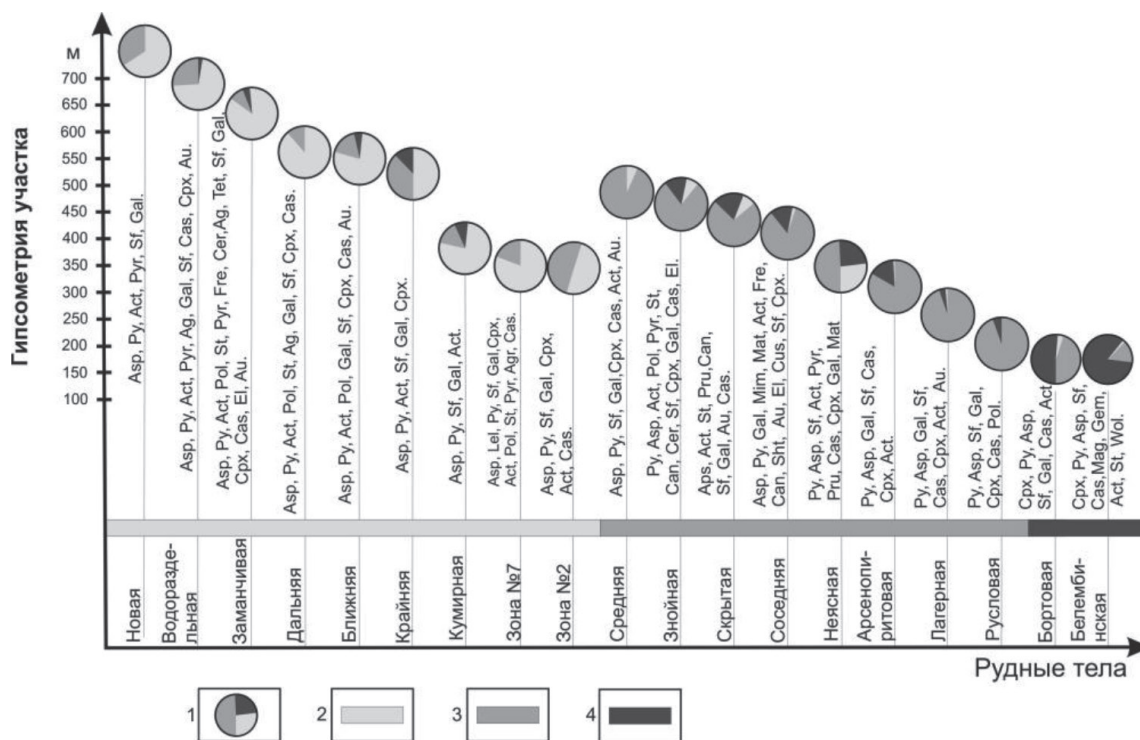


Рис. 4. Схема вертикальной зональности многометалльного оруденения на Кумирном месторождении. 1 – соотношение рудопрофилирующих элементов в рудных телах; 2–4 геохимические типы руд: 2 – золото-серебряный (Au-Ag), 3 – полиметалльно-серебряный (Zn-Pb-Ag), 4 – олово-медно-серебряный (Sn-Cu-Ag). Рудные минералы: Py – пирит, Pyr – пирротин, Mag – магнетит, Gem – гематит, Asp – арсенопирит, Lel – леллингит, Sf – сфалерит, Gal – галенит, Mat – матильдит, Cpx – халькопирит, Cas – касситерит, Wol – вольфрамит, Act – акантит, Pol – полибазит, St – стефанит, Pyr – пираргирит, Can – канфилдит, Cer – кераргирит, Fre – фрейбергит, Pru – прустит, Arg – аргиродит, Ag – самородное серебро, Au – самородное золото, El – электрум, Cus – кюстелит

Таким образом, на Кумирном месторождении серебра в 500-метровом интервале проявлена вертикальная геохимическая зональность оруденения (рис. 4). Установленное распределение многометалльной минерализации по вертикали рудной колонны в целом соответствует зональности на уникальном серебряном месторождении Гуанохуато [9, 10], однако вертикальный размах ее распространения значительно меньше.

Закключение

Для Кумирного месторождения серебра характерна многометалльность оруденения. Выделено три геохимических типа руд: олово-медно-серебряный (Sn-Cu-Ag), полиметалльно-серебряный (Zn-Pb-Ag) и золото-серебряный (Au-Ag). В размещении многометалльного оруденения установлена вертикальная и латеральная зональность.

Вертикальная обусловлена развитием выделенных типов руд на различных гипсометрических уровнях: олово-медно-серебряного в интервале 150–300 м, полиметалльно-серебряного – 300–500 м, и золото-серебряного – 500–700 м. Латеральная зональность оруденения является отражением вертикальной, и смена типов руд связана с гипсометрическими отметками поверхности рудного поля, а также его блоковым строением.

Список литературы

1. Гричук Д.В. Отношение Cd/Zn как индикатор вклада магматических флюидов в питание гидротермальных систем / Д.В. Гричук // Новые идеи в науках о Земле. – Москва: Изд-во МГУ, 2005. – Т. 2. – 83 с.
2. Ивин В.В., Родионов А.Н., Хомич В.Г., Симаненко Л.Ф., Борискина Н.Г. Геологическое строение и типы эндогенной минерализации Нижне-Тажного рудного узла (Приморье) / В.В. Ивин, А.Н. Родионов, В.Г. Хомич, Л.Ф. Симаненко, Н.Г. Борискина // Тихоокеанская геология. – 2006. – Т. 25, № 3. – С. 81–87.
3. Ивин В.В., Медведев Е.И. Минералого-геохимические особенности полиметалльно-олово-серебряного Ку-

мирного месторождения (Северное Приморье) // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8–5. – С. 1100–1106.

4. Константинов М.М., Варгулина Н.П., Косовец Т.Н. Минералого-геохимическая зональность золоторудных месторождений / М.М. Константинов, Н.П. Варгулина, Т.Н. Косовец // Геология рудных месторождений. – 1998. – № 1. – С. 20–34.

5. Рафаилович М.С., Алексеева Л.К., Алексеев В.А. Золотоносные метасоматические формации Казахстана. / М.С. Рафаилович, Л.К. Алексеева, В.А. Алексеев // Уральский геологический журнал. 2000. – № 5. – С. 41–83.

6. Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Поленов Ю.А. Вертикальная метасоматическая зональность и ее значение для прогнозирования слепого оруденения и оценки перспектив отработываемых месторождений на глубину (на примере золоторудных и золотополиметаллических месторождений) / В.Н. Сазонов, В.Н. Огородников, Ю.А. Поленов // Литосфера. – 2008. – № 1. – С. 77–89.

7. Степанов В.А. Металлогения золота Приморья / В.А. Степанов // Вестник Амурского государственного университета. Серия: естественные и экономические науки. – 2012. – № 59. – С. 112–119.

8. Хомич В.Г., Ивин В.В., Борискина Н.Г. Новые определения возраста (К-Ar метод) интрузивных образований Нижнетаежного рудного узла (Северное Приморье) / В.Г. Хомич, В.В. Ивин, Н.Г. Борискина // Вестник ТГУ. – 2010. – № 331. – С. 214–218.

9. Gross W.H. New Ore Discovery and Source of Silver-Gold Veins, Guanajato, Mexico // Economic Geology. – 1975. Vol. 70, P. 1175–1189.

10. Martínez-Reyes J.J., Camprubí A., Tonguç Uysal et al. Geochronology of Mexican mineral deposits. II: Veta Madre and Sierra epithermal vein systems, Guanajuato district // 5 Boletín Sociedad Geológica Mexica. – 2015. Vol. 67, № 2. – P. 349–355.

УДК 504.37/.3.054/.064.2

ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТОКСИЧНОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА АВТОМАГИСТРАЛЕЙ НИЖНЕГО НОВГОРОДА

Козлов А.В., Миронова Ю.И., Машакин А.М., Кондрашин Б.В., Дедык В.Е.,
Тарасов И.А., Воронцова А.А., Акафьева Д.В.

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

В статье проанализировано состояние снежного покрова, отобранного с наиболее крупных автомагистралей города Нижнего Новгорода, на основе его некоторых химических показателей и интегральной биологической токсичности. Пробы снега отбирали в феврале 2017 г. на протяжении крупных автомагистралей Нижнего Новгорода – Сормовского шоссе и проспекта Гагарина (по 4 точечных образца) с визуально чистых участков в непосредственной близости от дороги. В качестве фона был выбран участок заснеженного лесного массива «Дубрава». В результате исследований было установлено, что в условиях городских автомагистралей снежный покров имеет довольно высокие концентрации хлоридов и сульфатов: по точкам отбора с Сормовского шоссе содержание хлоридов и сульфатов варьирует соответственно в диапазонах 24,67–62,36 мг/л и 30,16–62,09 мг/л, а по точкам отбора с проспекта Гагарина данная вариабельность составляет 416,82–988,45 мг/л и 280,11–879,22 мг/л. Наибольшим уровнем загрязненности тяжелыми металлами характеризуется фоновый участок леса, в снеге которого выявлены максимальные концентрации цинка (в среднем до 0,0576 мг/л) и кадмия (в среднем до 0,0133 мг/л). Содержание свинца в снежном покрове примерно одинаковое как с Сормовского шоссе, так и с проспекта Гагарина (0,0053 и 0,0048 мг/л). Минимальное содержание веществ-поллютантов в пробах снега фонового участка проявляет токсический эффект (10%, $V = 6,0\%$), который оценивается как допустимый (1 группа токсичности). Пробы воды снега, отобранного с автомагистрали заречной части города, в целом проявляют среднюю токсичность (2 группа), а отобранного с автомагистрали нагорной части – острую токсичность (59%, $V = 26,5\%$) по отношению к тест-объекту (3 группа).

Ключевые слова: снежный покров, критерии экологического состояния, биологическая токсичность снега

STATE OF ECOLOGY-CHEMICAL ASSESSMENT AND BIOLOGICAL TOXICITY OF SNOW COVER HIGHWAYS OF NIZHNY NOVGOROD

Kozlov A.V., Mironova Yu.I., Mashakin A.M., Kondrashin B.V., Dedyk V.E.,
Tarasov I.A., Vorontsova A.A., Akafeva D.V.

Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, e-mail: a.v.kozlov_ecology@mail.ru

In article condition of snow cover, which is selected from largest highways of Nizhny Novgorod, on the basis of his some chemical indicators and integrated biological toxicity is analysed. Tests of snow selected in February, 2017 throughout large highways of Nizhny Novgorod – Sormovo Highway and Gagarin Avenue (4 dot samples) from visually pure sites in close proximity to the road. As a background the site of snow-covered forest area «Oak grove» has been chosen. As a result of researches it has been established, that in the conditions of city highways snow cover has quite high concentration of chlorides and sulfates: on selection points from Sormovo Highway the content of chlorides and sulfates varies respectively in the ranges of 24,67–62,36 mg/l and 30,16–62,09 mg/l, and on selection points from Gagarin Avenue this variability makes 416,82–988,45 mg/l and 280,11–879,22 mg/l. The largest level of impurity heavy metals characterizes the background site of the wood in which snow the maximum concentration of zinc (on average to 0,0576 mg/l) and cadmium are revealed (on average to 0,0133 mg/l). Content of lead in snow cover approximately identical both from Sormovo Highway, and from Gagarin Avenue (0,0053 and 0,0048 mg/l). Minimum content of substances-pollutances in tests of snow of the background site shows toxic effect (10%, $V = 6,0\%$), which is estimated as admissible (1 group of toxicity). Tests of water of the snow which is selected from the highway of a part over the river of the city in general show average toxicity (the 2nd group), and selected from the highway of a mountain part – acute toxicity (59%, $V = 26,5\%$) in relation to a test object (the 3rd group).

Keywords: snow cover, criteria of ecological state, biological toxicity of snow

Нижний Новгород считается одним из крупных центров России с развитой промышленной инфраструктурой и высокой степенью загазованности воздуха от работы автомобильных двигателей. По этим причинам загрязнение атмосферы экотоксикантами в пределах городской черты остается одной из главных экологических проблем мегаполисов [1, 2, 6, 7].

Несмотря на то, что снег как объект оценки состояния среды не является эко-

логически нормируемой системой, многие исследователи указывают на его высокую значимость в экологических исследованиях окружающей среды [3, 14, 15]. Причиной тому является множество термодинамических и физико-химических факторов образования снега, его массопереноса и процессов загрязнения. В частности, в момент формирования кристаллов воды в воздухе и выпадения их на землю происходит влажная седиментация рассеянных в атмосфере

поллютантов. Кроме того, в атмосферном пространстве активно развит процесс переноса воздушных масс, следствием чего является сухое осаждение загрязняющих веществ на поверхность снежного покрова. Благодаря таким естественным процессам концентрирования поллютантов в снеге содержание в нем загрязняющих веществ считается одним из значимых критериев оценки экологического состояния атмосферы [4, 8, 9, 10, 13].

Цель исследования

Целью данной работы явилась оценка экологического состояния снежного покрова крупных автомагистралей города Нижнего Новгорода на основе данных количественного химического анализа талой воды и определения ее интегральной биологической токсичности, в том числе и во взаимосвязи с содержащимися в ней экотоксикантами.

Материалы и методы исследования

Пробы снега отбирали вручную в полиэтиленовые пакеты в начале февраля 2017 г. равномерно на протяжении крупных автомагистралей Нижнего Новгорода – Сормовского шоссе (заречная часть города) и проспекта Гагарина (нагорная часть города). Для пробоотбора выбирали визуально чистые участки снежного покрова в непосредственной близости от дороги. С каждой автомагистрали равноудаленно друг от друга было отобрано по 4 точечных пробы. В качестве фоновой оценки был выбран снежный покров лесного массива «Дубрава», примыкающий с северо-западной стороны непосредственно к черте города. В лесном массиве было также отобрано 4 точечных образца.

Пробы снега доставляли в лабораторию и раскладывали в емкости для естественного оттаивания. Анализ проб воды был проведен в эколого-аналитической лаборатории мониторинга и защиты окружающей среды при Мининском университете по основным гидрохимическим показателям и биологической токсичности содержащихся в снеге веществ [5]; аналитическая повторяемость – трехкратная. В полученной талой воде определяли кислотность потенциометрическим методом на рН-метре-милливольтметре МАРК-903 и массу взвешенных веществ гравиметрическим методом. В фильтрате данных проб воды определяли содержание хлоридов argentометрическим, а сульфатов – йодометрическим титрованием; общую минерализацию – кондуктометрией с помощью кондуктометра DIST-3 (HANNA).

Содержание тяжелых металлов в воде снега определяли методом инверсионной вольтамперометрии на вольтамперометре-полярографе TA-Lab по методике определения ТМ в воде [12], предварительно отфильтровав образцы и проведя минерализацию имеющихся органических веществ с помощью концентрированной муравьиной кислоты. В качестве оценки критерия интегральной токсичности проб снега использовали биолюминесцентный метод, основанный на реакции люминесцентной генно-инженерной бактерии *Escherichia coli* M-17 (биосенсор

«Эколюм»), используемой при работе на приборе БИОТОКС 10-М [11]. Результаты измерений обработаны методом вариационной статистики с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2007.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 показано изменение показателей воды снега, характеризующих его обобщенное химическое состояние. Кислотность воды снега явилась самым консервативным показателем, поскольку варибельность ее значений была самой минимальной вне зависимости от места отбора проб. В целом вода всего проанализированного снежного покрова находилась в нейтральном диапазоне рН. Снег обеих автомагистралей города характеризовался слабощелочной реакцией, а фоновый участок – слабокислой.

Содержание взвешенных веществ математически не отличалось однородностью как по точкам отбора, так и в целом по анализируемым объектам. Например, варибельность данного показателя в условиях автомагистралей достигала 72,3% по проспекту Гагарина и 132,7% по Сормовскому шоссе. Наибольшие значения содержания взвешенных примесей были определены в условиях нагорной части города, где показатель достигал 51,74 г/л воды снега. В пробах дороги заречной части содержание взвесей достигало 9,68 г/л. По-видимому, такой уровень значений был обусловлен высокой степенью запыленности и загазованности воздуха вследствие интенсивного транспортного потока. Чего нельзя сказать про состояние снежного покрова в лесном массиве, выбранного в качестве фона. Здесь содержание взвешенных веществ в воде снега было минимальным и наименее варибельным ($V = 6,0\%$).

В условиях городских автомагистралей также были установлены довольно высокие концентрации хлоридов и сульфатов в воде снежного покрова. Причем нагорная часть города снова отличалась уровнем данных значений. Так, если по точкам отбора с Сормовского шоссе содержание хлоридов и сульфатов варьировало соответственно в диапазонах 24,67–62,36 мг/л и 30,16–62,09 мг/л, то по точкам отбора с проспекта Гагарина данная варибельность составила 416,82–988,45 мг/л и 280,11–879,22 мг/л.

В фоновых условиях (лесной массив «Дубрава») общий уровень и варибельность данных показателей были много ниже: 5,71–6,45 мг/л и 7,76–8,65 мг/л соответственно по хлоридам и сульфатам.

Очевидно, что подобная разница в уровне таких значений вызвана высокой антропогенной нагрузкой на городскую экосистему, которая может заключаться в наличии больших концентраций техногенных сернистого (SO_2) и серного (SO_3) газов в атмосфере города, хорошо растворимых в воде, а также присутствием пескосоляных смесей на поверхности почвенного и снежного покровов в условиях широко развитого применения противогололедных технологий, которые в качестве антисмо-раживающего реагента изначально содержат технический хлорид натрия. Данный аспект имеет большое значение с точки зрения появления риска загрязнения грунтовых вод избыточным количеством хлоридов и сульфатов, поступающих как через открытые участки почвенного покрова, так и через систему ливневой канализации вглубь грунтов [10, 11].

Содержание всех растворенных солей в пробах воды снега, показанное в виде показателя общей минерализации, также обладало достаточно высоким уровнем и вариабельностью в городских условиях. В частности, если в условиях Сормовского шоссе среднее значение показателя в 333 мг/л варьировало на 32,7%, то в условиях проспекта Гагарина оно составило 2678 мг/л с вариабельностью

в 79,9%. Минерализация воды снега, отобранного с фонового участка, была минимальной (20 мг/л, $V = 5,9\%$).

Помимо содержания наиболее распространенных химических веществ пробы воды снега также характеризовались наличием тяжелых металлов (табл. 2).

Анализируя снежный покров, нужно сказать о значительной вариабельности содержания в нем цинка, кадмия, свинца и меди в зависимости от точек отбора проб.

Например, наибольшей статистической неоднородностью отличалось содержание кадмия (до 104%) и меди (до 134%) в воде снега с Сормовского шоссе, а также содержание свинца в воде снежного покрова с проспекта Гагарина (до 130%).

Однако наибольшим уровнем загрязненности тяжелыми металлами характеризовался фоновый участок леса, в снеге которого были выявлены максимальные концентрации цинка (в среднем до 0,0576 мг/л) и кадмия (в среднем до 0,0133 мг/л). Содержание свинца в снежном покрове было примерно одинаковым как с Сормовского шоссе, так и с проспекта Гагарина (0,0053 и 0,0048 мг/л). Медь как экотоксикант была обнаружена в воде снега только в заречной части города (в среднем до 0,0033 мг/л).

Таблица 1

Общие химические показатели воды снега
($M \pm m$: среднее $\pm$ ошибка среднего; $V, \%$ – коэффициент вариации)

Показатель	Значения по точкам отбора				M ± m	V, %
	I	II	III	IV		
Фоновый уровень (лесной массив «Дубрава»)						
Водородный показатель (pH), ед. pH	6,83	6,22	6,24	6,50	6,45 ± 0,14	4,4
Взвешенные вещества, г/л	1,55	1,72	1,50	1,62	1,60 ± 0,05	6,0
Общая минерализация, мг/л	21	18	20	21	20 ± 1	5,9
Содержание хлоридов, мг/л	5,71	6,37	5,98	6,45	6,13 ± 0,17	5,6
Содержание сульфатов, мг/л	8,65	7,76	8,15	8,45	8,26 ± 0,19	4,7
Заречная часть города (Сормовское шоссе)						
Водородный показатель (pH), ед. pH	7,13	7,28	6,98	7,04	7,11 ± 0,07	1,8
Взвешенные вещества, г/л	9,68	1,29	1,25	0,74	3,24 ± 2,15	132,7
Общая минерализация, мг/л	440	410	260	220	333 ± 54	32,7
Содержание хлоридов, мг/л	50,49	62,36	51,17	24,67	47,17 ± 7,98	33,8
Содержание сульфатов, мг/л	32,29	62,09	48,80	30,16	43,34 ± 7,51	34,7
Нагорная часть города (проспект Гагарина)						
Водородный показатель (pH), ед. pH	7,27	7,07	6,95	7,05	7,09 ± 0,07	1,9
Взвешенные вещества, г/л	16,36	51,74	10,93	21,87	25,23 ± 9,12	72,3
Общая минерализация, мг/л	2290	5800	1540	1080	2678 ± 1070	79,9
Содержание хлоридов, мг/л	416,82	988,45	660,30	509,71	643,82 ± 125,35	38,9
Содержание сульфатов, мг/л	384,18	879,22	540,49	280,11	521,00 ± 130,85	50,2

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в воде снега
($M \pm m$: среднее $\pm$ ошибка среднего; $V, \%$ – коэффициент вариации)

Показатель	Значения по точкам отбора				М ± m	V, %
	I	II	III	IV		
Фоновый уровень (лесной массив «Дубрава»)						
Цинк (Zn), мг/л	0,0833	0,0192	0,0749	0,0531	0,0576 ± 0,0143	49,6
Кадмий (Cd), мг/л	0,0264	0,0046	0,0032	0,0188	0,0133 ± 0,0056	84,9
Свинец (Pb), мг/л	0,0092	0,0047	0,0005	0,0051	0,0049 ± 0,0018	72,9
Медь (Cu), мг/л	н.п.о.*	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	—	—
Заречная часть города (Сормовское шоссе)						
Цинк (Zn), мг/л	0,0220	0,0094	0,0970	0,0590	0,0469 ± 0,0198	84,3
Кадмий (Cd), мг/л	0,0001	0,0006	0,0053	0,0065	0,0031 ± 0,0016	103,9
Свинец (Pb), мг/л	0,0091	0,0035	0,0055	0,0032	0,0053 ± 0,0014	51,0
Медь (Cu), мг/л	0,0096	0,0034	0,0001	0,0002	0,0033 ± 0,0022	134,0
Нагорная часть города (проспект Гагарина)						
Цинк (Zn), мг/л	0,0170	0,0750	0,0300	0,0230	0,0363 ± 0,0132	72,8
Кадмий (Cd), мг/л	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	—	—
Свинец (Pb), мг/л	0,0026	0,0025	0,0002	0,0140	0,0048 ± 0,0031	128,8
Мель (Cu), мг/л	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	—	—

Примечание. * – результат измерения ниже предела обнаружения элемента в соответствии с данной методикой.

Таблица 3

Характеристика интегральной биологической токсичности воды снега
($M \pm m$: среднее $\pm$ ошибка среднего; $V, \%$ – коэффициент вариации)

Место отбора	Интегральная токсичность воды снега, % (значения по точкам отбора)				$M \pm m$	$V, \%$
	I	II	III	IV		
Фоновый уровень (лесной массив «Дубрава»)	9	10	11	11	10 ± 0	6,0
Заречная часть города (Сормовское шоссе)	37	54	27	22	35 ± 7	40,3
Нагорная часть города (проспект Гагарина)	62	79	53	42	59 ± 8	26,5

Таблица 4

Взаимосвязь химического состояния воды снега и ее биологической токсичности
($r \pm Sr$: коэффициент корреляции $\pm$ ошибка r)

Показатель	Коэффициент корреляции показателей химического состава и интегральной токсичности ($r \pm Sr$)		
	фоновый уровень	заречная часть города	нагорная часть города
Кислотность	$0,13 \pm 0,70$	$0,94 \pm 0,23$	$0,26 \pm 0,68$
Минерализация	$0,98 \pm 0,12$	$0,81 \pm 0,41$	$0,95 \pm 0,22$
Хлориды	$0,60 \pm 0,57$	$0,82 \pm 0,40$	$0,71 \pm 0,50$
Сульфаты	$0,98 \pm 0,15$	$0,73 \pm 0,49$	$0,87 \pm 0,34$
Цинк	$0,99 \pm 0,10$	$0,61 \pm 0,56$	$0,89 \pm 0,33$
Кадмий	$0,85 \pm 0,38$	$0,91 \pm 0,29$	–
Свинец	$0,83 \pm 0,39$	$0,45 \pm 0,63$	$0,84 \pm 0,39$
Медь	–	$0,43 \pm 0,64$	–

В табл. 3 показаны результаты определения интегральной биологической токсичности проб воды снежного покрова на основе реакции тест-объекта «Эколюм». Было выявлено, что в целом талая вода всех образцов изучаемого снежного покрова об-

ладала токсичностью по отношению к выбранному тест-объекту (генно-инженерная бактерия *Escherichia coli* M-17).

Нужно сказать, что даже минимальное содержание веществ-поллютантов в пробах снега фоновом участке проявляло токсич-

ческий эффект (10%, $V = 6,0\%$), который оценивается как допустимый (1 группа токсичности). Пробы воды снега, отобранного с автомагистрали заречной части города, в целом проявили среднюю токсичность (2 группа), а отобранного с автомагистрали нагорной части – проявили острую токсичность (59%, $V = 26,5\%$) по отношению к тест-объекту (3 группа).

Поскольку ранее проанализированная биологическая токсичность проб воды снежного покрова аналитически зависит от содержания примесей, проявляющих данный токсический эффект, нами была оценена зависимость концентрации веществ-поллютантов снега и величины токсичности (табл. 4).

В целом нужно сказать, что в условиях техногенных территорий коррелятивная зависимость показателей была более выражена по сравнению с фоновыми показателями.

Было установлено, что между содержанием в пробах воды определенных веществ и ее интегральной биологической токсичностью имела прямая корреляционная связь, которая в большинстве случаев характеризовалась как сильная. Например, по точкам отбора с Сормовского шоссе коэффициент корреляции r составлял $0,94 \pm 0,23$ по кислотности, $0,82 \pm 0,40$ по содержанию хлоридов, $0,73 \pm 0,49$ по содержанию сульфатов и $0,81 \pm 0,41$ по общей минерализации.

Относительно точек отбора проб с проспекта Гагарина данные коэффициенты r соответственно составили $0,26 \pm 0,68$, $0,71 \pm 0,50$, $0,87 \pm 0,34$ и $0,95 \pm 0,22$ по аналогичным показателям. Установлено, что по большей части величина биологической токсичности зависела как от содержания растворенных солей, так и от содержания ионов тяжелых металлов в пробах, однако четких тенденций выявлено не было. Достаточно высокая ошибка коэффициента корреляции, очевидно, была вызвана значительной вариабельностью абсолютных величин показателей.

Выводы

Резюмируя вышесказанное, следует подчеркнуть значимость снежного покрова автомагистралей в оценке экологического состояния загрязненности атмосферного воздуха города. На основе высокого содержания взвешенных веществ, растворимых форм химических элементов, и в том числе тяжелых металлов, по состоянию на зимний период

2017 г. с наибольшей экологической напряженностью следует рассматривать состояние снежного покрова нагорной части города на примере проспекта Гагарина.

Список литературы

1. Андреева О.С. Оценка показателей эколого-хозяйственного баланса территории при формировании экологического каркаса индустриального города / О.С. Андреева, Н.Б. Ермак, Е.Е. Таргаева // *Успехи современной науки*. – 2016. – № 6. – Т. 1. – С. 135–139.
2. Географический атлас Нижегородской области / Г.С. Камерилов, С.В. Наумов, Г.Г. Побединский и др. – Нижний Новгород: Верхневолжское АГП, 2005. – 52 с.
3. Гусева Т.В. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды / Т.В. Гусева, Я.П. Молчанова, Е.А. Заика, В.Н. Виниченко, Е.М. Аверочкин. – М.: Эколайн, 2000. – 87 с.
4. Исламова А.А. Анализ уровня загрязненности почвенно-растительной компоненты урбоэкосистемы города Бирск республики Башкортостан / А.А. Исламова, Е.Э. Палатова // *Успехи современной науки*. – 2017. – № 1. – Т. 5. – С. 15–17.
5. Козлов А.В. Оценка экологического состояния почвенного покрова и водных объектов. Н. Новгород: Мининский университет, 2016. – 146 с.
6. Копосова Н.Н., Козлов А.В., Шешина И.М. Анализ территориальных различий в уровнях концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города Нижнего Новгорода // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 3. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=19379>.
7. Копосова Н.Н. Нижний Новгород: исследование города как социально-экологической среды: автореф. дисс. канд. геогр. наук. – С-Пб., 1997. – 19 с.
8. Копосова Н.Н. Формирование профессиональных компетенций при изучении курса «Техногенные системы и экологический риск» / Н.Н. Копосова // *Вестник Мининского университета*. – 2015. – № 2 (10). – С. 16.
9. Купчик Е.Ю. Химический мониторинг снежного покрова г. Чернигова // *Научный вестник Ужгородского национального университета. Серия Химия*. – 2014. – № 2 (32). – С. 84–90.
10. Летенкова И.В. Химический анализ снежного покрова Нижегородской области / И.В. Летенкова, В.Ф. Литвинов, В.Г. Смержок // *Вестник Новгородского государственного университета*. – 2014. – № 76. – С. 73–76.
11. МР 01.021-07 «Методика экспрессного определения интегральной химической токсичности питьевых, поверхностных, грунтовых, сточных и очищенных сточных вод с помощью бактериального теста «ЭКОЛЮМ». М.: ФГУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии», 2007. – 17 с.
12. ПНД Ф 14.1:2.4.222-06 «Методика измерений массовой концентрации цинка, кадмия, свинца и меди в водах питьевых, природных и сточных методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА». – http://standartgost.ru/g/%D0%9F%D0%9D%D0%94_%D0%A4_14.1:2.4.214-06.
13. Шумилова М.А. Исследование загрязненности снежного покрова на примере города Ижевска / М.А. Шумилова, О.В. Садиуллина, В.Г. Петров // *Вестник Удмуртского университета. Серия: физика и химия*. – 2012. – Вып. 2. – С. 83–89.
14. Щукова И.В. Качество воды водозаборных скважин в районах малоэтажной застройки городских агломераций / И.В. Щукова, З.В. Кивилева // *Успехи современной науки*. – 2016. – № 11. – Т. 10. – С. 87–89.
15. Янченко Н.И. Особенности химического состава снежного покрова и атмосферных осадков в городе Братске / Н.И. Янченко, О.Л. Яскина // *Известия Томского политехнического университета*. – 2014. – Т. 324. – № 3. – С. 27–35.

УДК 629.4/5:662.7

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КОЛЛЕКТИВНОЙ ФЛОТАЦИИ
ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ РУД ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМ МЕТОДОМ****Коростовенко В.В., Стрекалова Т.А., Степанов А.Г.***ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Институт цветных металлов
и материаловедения, Красноярск, e-mail: root@gold.sfu-kras.ru*

В настоящей статье представлены результаты исследований, направленных на изучение возможности применения высоковольтных импульсных разрядов для обработки растворов флотации свинцово-цинковых концентратов. В качестве источника силового электрофизического воздействия использовали разрядно-импульсную установку, энергию обработки варьировали в широком диапазоне. Установлено, что в результате мощного электровзрывного воздействия изменяются окислительные свойства воды, повышаются количественные и качественные показатели флотации (в диапазоне энергий обработки от 6 до 12 кДж/дм³). Изучено влияние количества импульсов и материала электродов (сталь и медь) на показатели флотации. Применение данной технологии позволяет повысить извлечение металлов в концентрат: свинца на 5,6%, цинка – на 10,2%, при одновременном росте содержания этих металлов в концентрате.

Ключевые слова: разрядно-импульсная обработка, сульфидная руда, активация пульпы, концентрат, электродный потенциал, флотация, извлечение

**INTENSIFICATION OF POLYSULPHIDE ORES BULK FLOTATION
BY ELECTROPHYSICAL METHOD****Korostovenko V.V., Strekalova T.A., Stepanov A.G.***Siberian Federal University, School of Non-Ferrous Metals and Material Science, Krasnoyarsk,
e-mail: root@gold.sfu-kras.ru*

The present article contains the results of the researches directed on studying the possibility of high-voltage impulse categories use for processing of zinc-lead concentrates flotation solutions. A discharge-impulse installation was used as a source of electrical force effects; the processing energy varied in a wide range. It is found that as a result of powerful electroexplosive influence oxidizing properties of water change, quantitative and qualitative indicators of flotation raise (in the range of processing energies from 6 to 12 kJ/dm³). The impact of impulse quantity and electrodes material (steel and copper) on flotation indicators is studied. Application of this technology allows increasing metals recovery into concentrate: lead for 5,6%, zinc for 10,2%, with a simultaneous growth of these metals content in the concentrate.

Keywords: discharge-impulse processing, sulphide ore, pulp activation, concentrate, electrode potential, flotation, extraction

Эффективность процесса обогащения во многом определяется раскрытием минералов при рудоподготовке. Однако в процессе рудоподготовки не всегда удается достигнуть полного раскрытия всех сростков рудных минералов с нерудными. В первичной переработке сырья минералы в подавляющем большинстве обогащаются флотационными методами. Известные способы повышения эффективности процесса флотации в большинстве случаев не позволяют добиться желаемого раскрытия минералов и обеспечить необходимую степень извлечения ценных компонентов. Одним из перспективных направлений в этой области является применение электрофизических методов и, в частности, разрядно-импульсной обработки (РИО) минеральной пульпы [1–3].

Исследования влияния разрядно-импульсной обработки на флотацию проводились на стадии межциклового коллективной флотации сульфидных руд Горевского (проба № 1) и Токобского (проба № 2) месторожде-

ний, химический состав которых (по основным составляющим) приведен в табл. 1.

Содержание окисленных форм свинца в пробах № 1 и 2 составляло соответственно 18 и 5% (мас.); вкрапленность минералов неравномерная. Соотношение окисленных и сульфидных форм в пробе № 1 показано в табл. 2.

Необходимая тонкость помола (75% класса – 0,074 мм) достигалась измельчением в лабораторной стержневой мельнице при соотношении Т:Ж:С = 1:0,8:4,8. Масса навески руды составляла 250 г, время измельчения без РИО принимали 40 и 35 мин. по условиям выхода контрольного класса.

Время флотации во всех случаях принималось равным 10 мин. Режим флотации для пробы № 1: сода (900 г/т, $t_k = 1$ мин); сернистый натрий (30 г/т, $t_k = 1$ мин); бутиловый ксантогенат (90 г/т, $t_k = 2$ мин); сосновое масло (60 г/т, $t_k = 1$ мин); для пробы № 2 из указанного режима исключался сернистый натрий. Флотацию проводили

в лабораторной флотомашине объемом 1 л при содержании твердого 25 % в технической и дистиллированной воде постоянной температуры ($T = 18^\circ\text{C}$).

Разрядно-импульсную обработку проводили в реакторе из титана объемом 1200 мл

с системой электродов «острие – острие», электроды сменные, расположение горизонтальное. В нижней части реактора размещался лопастной диск перемешивающего устройства, изготовленный из полиэтилена высокого давления.

Таблица 1

Химический состав исследуемых руд

Содержание, % (мас.)	Pb	Zn	Cu	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Mn
Проба № 1	4,07	0,5	0,17	27,5	33,32	2,96	1,86	1,66
Проба № 2	2,35	3,5	0,1	23,4	не определялось			

Таблица 2

Фазовый состав руды пробы № 1 (% мас.)

Содержание Pb			Содержание Zn			Содержание Cu		
общ.	окисл.	сульф.	общ.	окисл.	сульф.	общ.	окисл.	сульф.
3,5	0,65	0,43	0,43	0,05	0,38	0,019	0,009	0,010

Таблица 3

Показатели флотации руды (проба № 1)

E, кДж/дм ³	T _{измельч.} , мин	γ , %	β_{Pb} , %	β_{Zn} , %	ϵ_{Pb} , %	ϵ_{Zn} , %
0	10	14,08	12,75	1,279	45,44	36,75
9,2	10	16,52	13,104	1,314	54,80	44,30
0	25	19,72	12,082	1,262	60,32	50,78
9,2	20	22,16	12,20	1,314	63,44	59,42
0	35	24,36	11,66	1,360	71,90	67,61
9,2	30	27,36	11,26	1,316	77,99	73,18
0	45	26,76	11,05	1,320	74,86	72,08
9,2	35	31,72	10,89	1,342	87,43	86,87

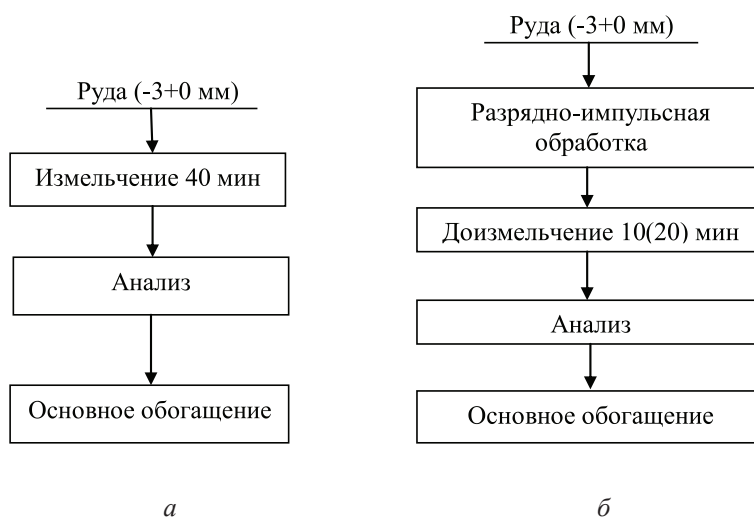


Рис. 1. Принципиальные схемы рудоподготовки: а – базовая; б – комбинированная

Ранее [2] нашими исследованиями было доказано, что измельчение исходного материала по комбинированной схеме с применением разрядно-импульсной обработки (рис. 1) способствует росту выхода технологических классов при сокращении общего времени измельчения. По данным ситового анализа лучшие результаты достигаются при обработке энергией 9,2 кДж.

Для окончательной оценки эффективности комбинированной схемы измельчения проведены опыты по флотации, результаты которой представлены в табл. 3.

Анализ данных табл. 3 свидетельствует, что подготовка материала по комбинированной схеме измельчения повышает показатели флотации. Измельчение по комбинированной схеме в течение 35 мин по сравнению с чисто механическим измельчением (45 мин) повышает извлечение в коллективный концентрат свинца и цинка на 13 и 14% соответственно. Причиной этого является, на наш взгляд, не только улучшение степени раскрытия минеральных ассоциаций, но и структурно-химические изменения минералов при разрядно-импульсной обработке, предопределяющей рост интенсивности рефлексов пирита, галенита, пирротина и других минералов. Выполненные ранее исследования разрядно-импульсного воздействия на физико-химические свойства жидкой фазы показали их существенное изменение при такой обработке, что неизбежно должно отразиться на флотационном разделении минералов. В частности, при РИО воды значительно возрастает концентрация растворенного в ней кислорода, что оказывает влияние на поведение флотационных систем, связанное с воздействием кислорода на сульфиды.

Характер и степень участия кислорода в процессе флотации подробно проанализировали И.Н. Плаксин и Р.Ш. Шафеев [4], установившие, что закрепление ксантогената на поверхности частиц определяется типом проводимости минерала. Фиксация собирателя ухудшается в случае электронной проводимости. При переходе к дырочной проводимости ксантогенат, наоборот, посредством рекомбинации электронов образует прочную связь с поверхностью минерала. Под действием кислорода поверхность многих минералов «электронного» типа (галенит, халькопирит) приобретает «дырочную» проводимость, что и способствует улучшению флотационных свойств [4].

Результаты исследований по флотации проб руды с предварительной разрядно-импульсной обработкой воды показали, что, наряду с существенным изменением E_h , pH и α , имеет место изменение окислительной способности воды, что отмечено при снятии значений электродных потенциалов (рис. 2).

Разрядно-импульсная обработка минеральной пульпы позволила существенно повысить количественные и качественные показатели флотации, что особенно заметно в диапазоне энергий обработки от 6 до 12 кДж. Одной из основных причин активации пульпы является смещение окислительно-восстановительного потенциала жидкой фазы пульпы в положительную сторону, причем наилучшие показатели извлечения получены при значениях E_h более +145 и +130 мВ соответственно для проб № 1 и 2 (рис. 3). Однозначно можно утверждать, что разрядно-импульсная обработка пульпы более эффективна, чем предварительная обработка воды (рис. 4).

Обработка пульпы с использованием стальных электродов в диапазоне энергий 6–12 кДж/дм³ увеличивает извлечение в коллективный концентрат свинца и цинка соответственно на 5,2 и 4,5% при одновременном росте содержания этих металлов в концентрате.

Более высокие показатели флотации получены при обработке пульпы с применением медных электродов. Так, извлечение в коллективный концентрат по сравнению с базовой схемой увеличилось на 5,5 и 5,8% соответственно для свинца и цинка при некотором улучшении качества концентрата. С ростом энергии обработки показатели флотации существенно хуже при общем увеличении выхода в концентрат.

Флотация после обработки пульпы серией импульсов (рис. 5) повышает извлечение металлов в концентрат: свинца на 5,6%, цинка – на 10,2%. Обработка пульпы медными электродами приводит к некоторому насыщению системы ионами меди, что активирует минералы цинка.

При разрядно-импульсной обработке пульпы дополнительным эффектом РИО является вскрытие новых поверхностей обнажения минеральных составляющих пульпы, т.е. имеет место энергетическое и химическое воздействие непосредственно на минеральную поверхность с протеканием активных окислительно-восстановительных процессов.

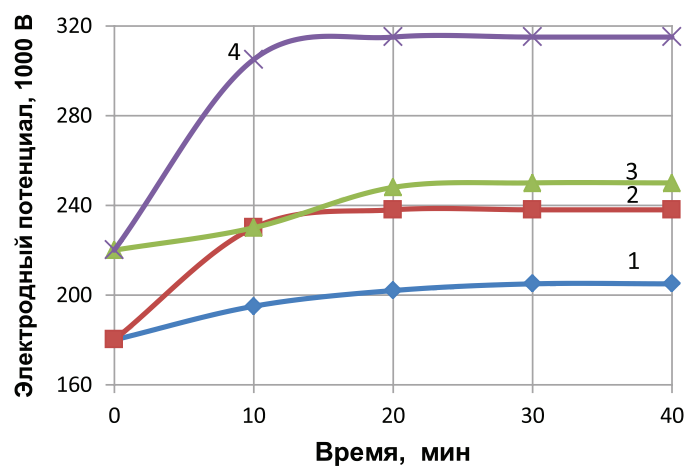


Рис. 2. Изменение электродных потенциалов галенита (2, 4) и пирита (1, 3) на стадии кондиционирования: 1, 2 – вода необработанная; 3, 4 – после РИО воды энергией 6 кДж/дм³

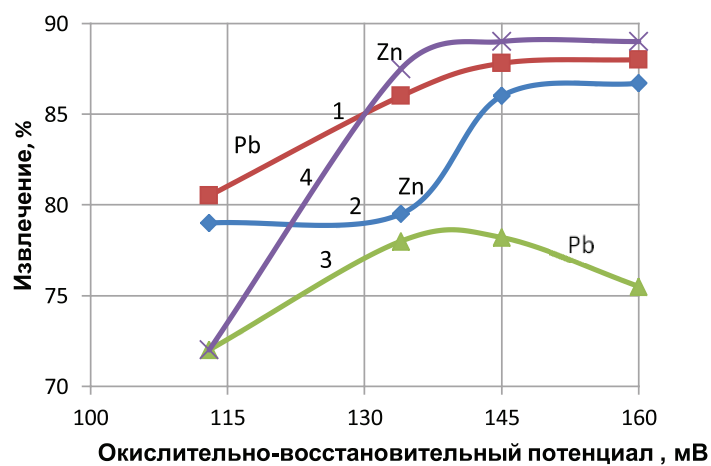


Рис. 3. Зависимость извлечения сульфидов от ОВП пульпы: 1, 2 – проба № 1; 3, 4 – проба № 2

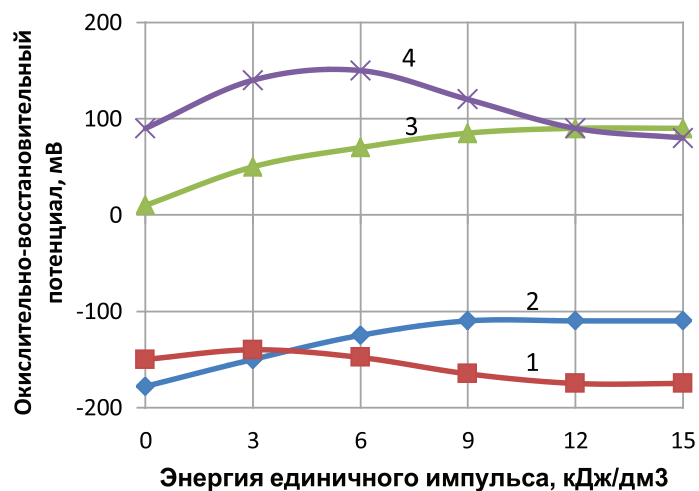


Рис. 4. Изменение ОВП пульпы на стадии кондиционирования (2, 3) и коллективной флотации (1, 4): 1, 2 – без обработки; 3, 4 – после РИО энергией 9 кДж/дм³

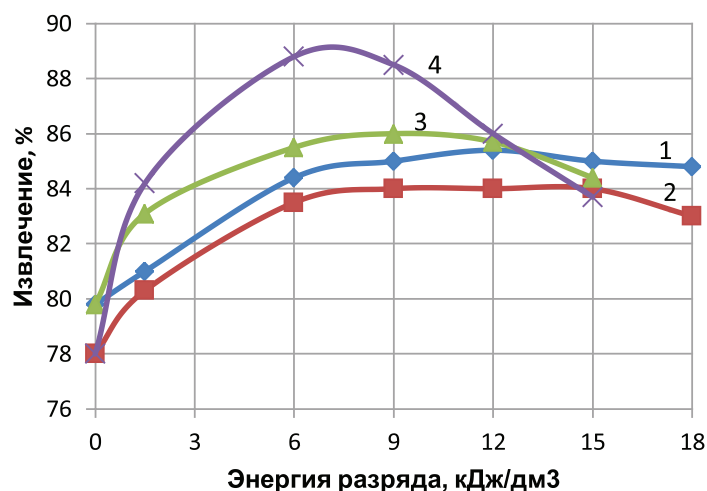


Рис. 5. Влияние энергии РИО пульпы медными электродами на извлечение сульфидов: 1, 3 – свинец; 2, 4 – цинк; 3, 4 – серия импульсов

В работе [5] отмечается, что следствием окисления может явиться не только изменение проводниковых свойств поверхности минерала, но и образование новых соединений, которые, адсорбируясь на твердых частицах, делают поверхность химически иной, не сходной с поверхностью неокисленного минерала.

Наши исследования подтвердили качественные и количественные видоизменения природы поверхностных слоев в результате окислительного процесса, что влияет на закрепление реагента-собираателя, а в итоге – на флотационное поведение минерала.

Оптимальные показатели флотации при разрядно-импульсной обработке пульпы достигаются при меньших энергиях воздействия 5–7 кДж/дм³, далее наблюдается переизмельчение минералов, рост выхода в коллективный концентрат за счет нерудных минералов и ошламование последних.

Эти данные хорошо согласуются с нашими выводами по избирательному разрядно-импульсному раскрытию минералов.

Список литературы

1. Гулый Г.А. Научные основы разрядно-импульсных технологий [Текст] / Г.А. Гулый – Киев: Наук. думка, 1990. – 208 с.
2. Коростовенко В.В. Избирательное раскрытие и структурно-химические изменения минералов при импульсном воздействии [Текст] / В.В. Коростовенко, Т.А. Стрекалова и др. // Международный журнал экспериментального образования. – 2013 – № 4. – С. 73–76.
3. Малюшевский П.П. Основы разрядно-импульсной технологии [Текст] / П.П. Малюшевский. – Киев: Наук. думка, 1983. – 269 с.
4. Плаксин И.Н. Об особенностях гидрофобизирующего действия кислорода на поверхность сульфидных минералов [Текст] / И.Н. Плаксин, Р.Ш. Шафеев // ДАН СССР. – 1960. – Т. 135. – № 1. – С. 140–142.
5. Чантурия В.А. Роль полупроводниковых и электрохимических свойств минералов в процессе флотации [Текст] / В.А. Чантурия // Современное состояние и перспективы развития теории флотации. – М.: Наука, 1979. – С. 55–72.

УДК 550.34.01

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПЛАТФОРМЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ)

Лютеев В.А., Лютеева Н.В.*ФГБУН Институт геологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, Сыктывкар, e-mail: VALutoev@geo.komisc.ru*

В данной работе выполнен обобщающий анализ ранее полученных научных решений по сейсмическому районированию Республики Коми. Построена схема сейсмогенных зон, соответствующая современной сейсмичности, которая в значительной мере опирается на критерии вероятности. Для проверки степени ее достоверности проведено сопоставление сейсмогеологической модели и реальной картины сейсмической обстановки на территории Республики Коми за последние 15 лет. Определены диссипативные особенности геологических структур северной части Русской плиты – Волго-Уральской антеклизы, Вычегодского прогиба и Ижемской впадины, относящейся к Печорской плите. На основе данных о пластовых скоростях продольных и поперечных волн рассчитаны упругие и прочностные параметры горных пород по сейсмоструктурным этажам, определены зоны инициации и глубины возможных очагов землетрясений. В результате существенно обновлена карта сейсмического районирования Республики Коми масштаба 1:2500000.

Ключевые слова: Республика Коми, сейсмологическая модель, сейсмогенная зона, активный разрыв, диссипация, упругая емкость, очаг, землетрясение, магнитуда, плейстосейстовая область, сейсмическое районирование

FEATURES OF SEISMIC ZONING PLATFORM AREAS (ON EXAMPLE OF KOMI REPUBLIC)

Lutoev V.A., Lutoeva N.V.*Institute of Geology of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Syktvkar, e-mail: VALutoev@ geo.komisc.ru*

In this paper we performed a synthesis of previously received scientific results on the seismic zoning of Komi Republic. We made a diagram of seismogenic zones, corresponding to the modern seismicity, which mainly relies on the criterion of probability. To test its reliability we compared a seismic-geological model and the real picture of seismic situation in Komi Republic within last 15 years. We determined dissipative features of the geological structures of the northern part of Russian plate – Volgo-Ural antecline, Vychegda trough and Izhma depression related to Pechora plate. Based on the stratal velocities of longitudinal and transverse waves we calculated the elastic and strength parameters of the rocks for seismic floors, delineated initiation zones and the depth of possible earthquakes focuses. As a result, we significantly updated the seismic zoning map of Komi Republic of scale 1:2500000.

Keywords: Komi Republic, seismic model, the seismogenic area of the active gap, dissipation, elastic capacity, the hearth, earthquake, magnitude, plasmocytoma region, seismic zoning

На начальном этапе сейсмического районирования использовались преимущественно сейсмостатистические данные, на основе которых на карте отображалось площадное распределение землетрясений. Схемы и карты, построенные таким образом в 1937, 1940, 1957, 1968, 1978, 1980 гг., получили название нормативные карты общего сейсмического районирования (ОСР). Далее данный способ районирования был несколько изменен – карты заменили комплектами карт ОСР-97, на которых вся территория была поделена на зоны равной интенсивности (в баллах MSK-64 по отношению к средним грунтам II категории СНиП-II-7-81) с разной вероятностью превышения максимальной интенсивности землетрясений (0,1; 0,05; 0,01; 0,005) в течение 50 лет (500, 1000, 5000), т.е. произошло изменение первоначальной статистической парадигмы на вероятностную – ВАСО (ве-

роятностно-статистический анализ сейсмической опасности) [10].

Сейсмическому районированию платформенных территорий уделялось значительно меньше внимания, чем предгорным и горным областям, ввиду того, что здесь сейсмические события проявлялись значительно реже. Проблемой платформенной сейсмичности в XX веке на глобальном уровне занимались Г.Д. Панасенко, А.Ф. Грачев, И.В. Ананьин, Ю.К. Щукин, Ф.Н. Юдахин и др. Вопросы региональной сейсмичности Республики Коми были затронуты впервые Н.И. Тимониным, В.А. Дедеевым, Н.А. Малышевым; научно-практическим решением этих вопросов уже на базе инструментальных наблюдений в настоящее время занимаются В.В. Удоратин, В.А. Лютеев, Н.Н. Носкова, В.И. Арихина, Н.В. Лютеева и др.

Актуальность изучения слабой сейсмичности Республики Коми логически следует

из работ И.В. Ананьина, объясняющих особенности энергетического проявления землетрясений на Русской плите, в которых он утверждает, что необходимо учитывать сейсмические толчки с магнитудами не только $M \geq 5$, но и $M \geq 4$ ввиду того, что коэффициенты затухания интенсивности землетрясений на платформах ($S = 2$) меньше, чем в современных районах горообразования ($S = 3,5-4,5$), поэтому происходит усиление величины балльности землетрясений на платформах, и часто она не соответствует магнитудам в очаге [1]. С точки зрения практических интересов актуальность исходит из крайне высокой экологической опасности территории Республики Коми, насыщенной линейными многокилометровыми сооружениями по перекачке нефти и газа с севера на юг; извлечения из недр в крупных промышленных масштабах Воркутинского и Интинского угля, бокситов Тимана; наличия в южной части Республики Коми ряда предприятий, связанных с производством бумаги.

Целью исследований является построение карты сейсмогенных зон, соответствующей масштабу детального сейсмического районирования для платформенной части Республики Коми и переходной зоны Урала, способной служить проектным основам при определении исходной сейсмичности на площадках строительства линейных и других особо ответственных объектов.

Сейсмологическая модель

Для формирования очага землетрясения должны присутствовать следующие генетические предпосылки:

- определенное местоположение внутриплатформенных надпорядковых геологических структур по отношению к границам литосферных плит, где формируются основные тензоры полей касательных и нормальных напряжений с последующим распределением и фокусировкой этих сил в земной коре и литосфере;

- наличие тектонических разломов, являющихся границами геологических структур различного порядка, имеющих определенную кинематику движения, способствующую сейсмической активизации разлома;

- возможности накопления и расходования сейсмической энергии, которая в асейсмичных районах убывает в основном через процессы релаксации с малой скоростью протекания. В сейсмических районах медленные процессы не могут обеспечить нужную скорость ее диссипации, так как скорость деформирования среды высокая [8].

Из множества гипотез, описывающих развитие сейсмического процесса в очаге, нами выбраны две – Э. Зюсса – Б.Б. Голицына и Х. Рейда. Обе гипотезы своим содержанием дополняют друг друга по отношению к краевым зонам литосферных плит и к складчатым областям. Однако вторая гипотеза, скорее всего, говорит о сейсмических процессах, происходящих во внутриплитных областях, где фиксируется меньшее количество сейсмических толчков. Таким образом, в крупных структурных элементах среды происходит накопление упругой энергии с последующей периодической разрядкой в виде землетрясения или микроземлетрясения по ближайшим слабо сцепленным линейamentным зонам, которые названы сейсмогенными зонами [3]. Кроме того, землетрясения могут возникать и внутри структуры без линейных зон, если в ней есть локальные ослабленные зоны, приобретенные в процессе тектонических движений, но сейсмические толчки в таких зонах будут иметь гораздо меньшую силу – такую сейсмичность называют рассеянной.

Материалы и методы сейсмических исследований

Для составления схемы сейсмического районирования Республики Коми были использованы инструментальные и исторические сведения о землетрясениях (см. табл. 1), региональные геолого-геофизические материалы разломной тектоники, неотектоники, современной геоморфологии, глубинного строения земной коры и осадочного чехла и др. Их последовательная интерпретация позволила определить критерии условно-сейсмического потенциала ряда геологических структур региона. В результате была построена сейсмологическая модель Республики Коми, состоящая из четырех разнотипных сейсмогенных зон [5]:

- первый тип (I-1) – зоны, в которых инструментально зарегистрированы сейсмические толчки с магнитудой ($5,0 \leq M \leq 6,0$), или имеются исторические достоверные сведения о произошедших землетрясениях;

- второй тип (I-2) – зоны, подобные зонам I-1 по сейсмогеологическому строению, но отсутствует сейсмологическая информация на данный момент;

- третий тип (II-1) – зоны, в которых инструментально зарегистрированы землетрясения с магнитудой ($4,0 \leq M \leq 5,0$), или есть также достоверные исторические сведения;

- четвертый тип (II-2) – зоны, подобные зонам II-1 по сейсмогеологическому строению, но отсутствует сейсмологическая информация на данный момент.

Таблица 1

Каталог местных землетрясений и исторических сведений по Республике Коми
(на момент построения схемы сейсмического районирования – 2000 г.)

№ п/п	Дата	Время	Координаты		h, км	M, ед.	I, балл	Эпицентр	Источник
			N	E					
1	1626 г. 05.20	—	—	—	—	—	4	н. течение р. Сев. Двины	Двинской летописец
2	1847 г. 08.16	7:00	64.60	40.80	—	—	4	—	Журнал ... 1847 г.
3	1914 г. 04.20	16:00	65.50	53.50	—	—	5	с. Пильгоры,	Ломакин, 1948 г.
4	1939.01.13	16:47:12.4	60.63	51.78	10?	4,5	7	с. Нючпас	Л.С. Чепкунас
5	1985 г.				—	2,0–2,2	—	Притиманская впадина	отчет Яцкевич и др., 1987
6	1991 г.	—	62.98	60.32	—	—	4,5	г. Инта	печатн. сообщ.
7	1998 г. 04.16	00:55:03	61.93	58.37	—	3,2	4,5	Верхнепеч. опускание	с/с Сыктывкар

Примечание. 1. в данной таблице приведены только те землетрясения, в которых авторы уверены с вероятностью близкой к единице. 2. h – глубина очага, M – магнитуда, I – интенсивность.

В дальнейшем предполагалось, что в условиях постоянного наблюдения за сейсмическим режимом региона в зонах I-2 и II-2 также будут зарегистрированы землетрясения. Каждая из этих зон с учетом сейсмологических, тектонических и геологических факторов была охарактеризована предельно возможными параметрами: магнитудой – M; интенсивностью – I; протяженностью – L; шириной сейсмогенной зоны – d; глубиной очага – h; шириной плейстосейстовой области – D, включая зону – d. Ширина плейстосейстовой области для Кировско-Кажимской сейсмогенной зоны была определена на основе макросейсмических сведений по Сысольскому землетрясению, полученных Н.И. Тимониным на основе опросных данных. Для остальных сейсмогенных зон ширина плейстосейстовой области рассчитывалась из известного уравнения макросейсмического поля:

$$I_0 = 1,5 \cdot M_{\max} - 3,5 \cdot \lg(h^2 + D^2)^{1/2} + 3,$$

где I_0 – величина исходной балльности (в баллах MSK),

$M_{\max}$ – максимально возможная магнитуда землетрясения в ближайшей сейсмогенной зоне,

D – расстояние от оси сейсмогенной зоны по нормали до точки, где величина балльности должна быть равна пяти, как предельно-минимальная величина устойчивости слабых грунтов к интенсивности сотрясения, h – глубина очага землетрясения (расчетная или определенная инструментально).

В итоге были определены размеры плейстосейстовых областей, совпадающие с зонами возможных очагов землетрясений (зона ВОЗ), однако обладающих несколько меньшими силами сейсмических толчков по отношению к областям, содержащим оси сейсмогенных зон. На этапе регистрации землетрясения в зоне ВОЗ вносились его координаты и далее она переводилась в статус сейсмогенных зон (см. рис. 1, табл. 1).

Кировско-Кажимская сейсмогенная зона (I). Эта семибалльная сейсмогенная зона в пределах Республики Коми имеет: L = 300 км, d = 25 км, D = 70 км. Внутри этой зоны известны эпицентры землетрясений: 1939 г. (M = 4,5 ± 0,2) и 2000 г. (M = 2,7). Глубина очага землетрясения по инструментальным данным определена h = 10 км. На основе всех выкладок, проведенных нами, допускаем возникновение землетрясений вдоль активных разрывов с максимальными магнитудами 5,0 ≤ M ≤ 6,0, интенсивностью на поверхности 6,0 ≤ I₀ ≤ 7,0. Выделяем также по границе Кировско-Кажимского авлакогена Вычегодскую и Коми-Пермяцкую зоны ВОЗ с такими же параметрами магнитуды и интенсивности. *Восточно-Центрально-Тиманская сейсмогенная зона (II)* до шести баллов MSK с максимальной магнитудой 4,0 ≤ M ≤ 5,0, интенсивностью на поверхности 5,0 ≤ I₀ ≤ 6,0 при возможных глубинах очагов h = 3 и 15 км; L = 250 км; d + D = 170 км. *Припечорская сейсмоген-*

ная зона (III). Пятибалльное землетрясение 1915 г. произошло в зоне Припечорского разлома, разделяющего Ижемский (стабильный) и Печоро-Колвинский (мобильный) мегаблоки земной коры при $L = 360$ км; $d + D = 45$ км, в южной части в области пересечения разломов $d + D = 80$ км, возможные глубины очагов землетрясений – $h = 3$ км в районах извлечения нефти, а на остальной территории $h = 10$ и 20 км. Здесь мы допускаем возможность возникновения землетрясений с магнитудой $4,0 \leq M \leq 5,0$ и соответственно $5,0 \leq I_0 \leq 6,0$. Южно-Тиманско-Ухтинская сейсмогенная зона (IV). На основе карт и схем разломной тектоники с учетом неотектонической активности ряда линейно вытянутых поднятий, а также инструментально зарегистрированного в процессе выполнения сейсморазведочных работ в 1985–1987 гг. микроземлетрясения с магнитудой $M \leq 2,2$ делаем вывод о действительной тектонической активности в современное время. Поэтому в пределах южной оконечности Центрально-Тиманского, а также в средней части Восточно-Тиманского, имеющих глубинные разрывы были намечены сейсмоактивные участки. В соответствии с серией глубинных разрывов в пределах большой территории параметры активной Южно-Тиманско-Ухтинской объединенной сейсмогенной зоны составляют $L = 270$ км; $d + D = 120$ км; $h = 3$ и 5 км. Южно-Печорская сейсмогенная зона (V). В этой зоне двумя сейсмостанциями «Сыктывкар» и «Зимстан» 16.04.1998 г. было зафиксировано землетрясение с магнитудой $M \leq 3,3$, что подтверждает ее активность в современное время (рис. 1). Протяженность активной ее части составляет $L = 80$ км, общая ширина $d + D = 50$ км. Максимально допустимая величина магнитуды сейсмических событий принята здесь $4,0 \leq M \leq 5,0$ и, соответственно $5,0 \leq I_0 \leq 6,0$ по шкале MSK. Возможные глубины очагов землетрясений в момент выполнения районирования для данной сейсмогенной зоны еще не были установлены.

Интинская (VI) и Воркутинская (VIII) сейсмогенные зоны выделяются нами как зоны, в которых возможны природно-техногенные события, связанные с выемкой большого объема и масс горных пород, ведущей к нарушению баланса упруго-деформационных сил геологической среды. На это указывает ряд Интинских (1991, 1994 г.) горных ударов. Размеры актив-

ной части сейсмогенной зоны, скорее всего небольшие $L = 100$ км, $d + D = 30$ км. Магнитуды слабые, но интенсивность местных природно-техногенных землетрясений вблизи шахт может быть достаточно ощутимой $4,0 \leq I_0 \leq 5,0$ по шкале MSK, так как глубина очагов в зонах сейсмической разгрузки, скорее всего, будет составлять $h \leq 1$ км.

Усинская сейсмогенная зона (VII) выделена нами в пределах эксплуатируемых нефтяных месторождений: Усинское, Возейское и др. – где, возможно, уже случались микроземлетрясения, приведшие к прихватам бурильных инструментов и утечке нефтепродуктов. Длина активной части сейсмогенной зоны $L = 80$ км, ширина $d + D = 30$ км. Предположительно, величины интенсивности локальных сейсмических толчков будут небольшими $4,0 \leq I_0 \leq 5,0$ по шкале MSK. Глубина природно-техногенных очагов землетрясений для этой зоны, скорее всего, будет составлять $2,0 \leq h \leq 4,0$ км.

Восточная область Республики Коми, приходящаяся на западный склон Урала, также относится к современным геодинамически активным регионам. Здесь активность обусловлена проявлением неорогенетических процессов, приведших к новому росту Уральских гор. Эти процессы сопровождаются подвижками вдоль современных активных разломов и инициацией землетрясений $2,5 \leq M \leq 5,5$. В течение последних 200 лет здесь произошло порядка 46 землетрясений [4]. Установленные сейсмогенные зоны рассматриваются нами в целом как сумма плейстоценовых областей семи- и шестибалльных зон или только шестибалльной зоны.

Ранее нами уже отмечалось, что сейсмогенная зона второй категории может перейти в первую, а четвертая – в третью. Так, например, 30 ноября 2000 г. произошло природно-техногенное землетрясение в Воркутинской сейсмогенной зоне, которое ощущалось жителями г. Воркуты и зарегистрировано местной сейсмической станцией. Интенсивность толчка по макросейсмическим данным достигала четырех баллов по шкале MSK. Следовательно, зону ВОЗ второй категории (четвертый тип) по факту землетрясения можно перевести в третий тип той же категории.

На основе этой модели, в условиях редкой сейсмичности платформ, к наиболее опасной сейсмической зоне были отнесены

структуры Кировско-Кажимского авлакогена и прилегающие к нему края сводовых поднятий (первый тип), к опасной зоне – Южно-Тиманское сочленение южной оконечности Печорской плиты и Урала, которое контролируется Западно-Тиманской зоной разломов, названной нами Южно-Печорской сейсмогенерирующей зоной (третий тип). К опасным зонам в равной степени относятся Припечорская, Восточно-Центрально-Тиманская, Южно-Тиман-

ско-Ухтинская сейсмогенные зоны (третий тип). Также следует обратить внимание на природно-техногенные зоны землетрясений, в пределах которых расположены гг. Воркута, Инта и Усинск. Ввиду острого дефицита сейсмического материала мы вынуждены были искать новые методы для помощи в решении задач сейсмического районирования. Далее мы приводим краткое описание физических основ этих методов и результатов.

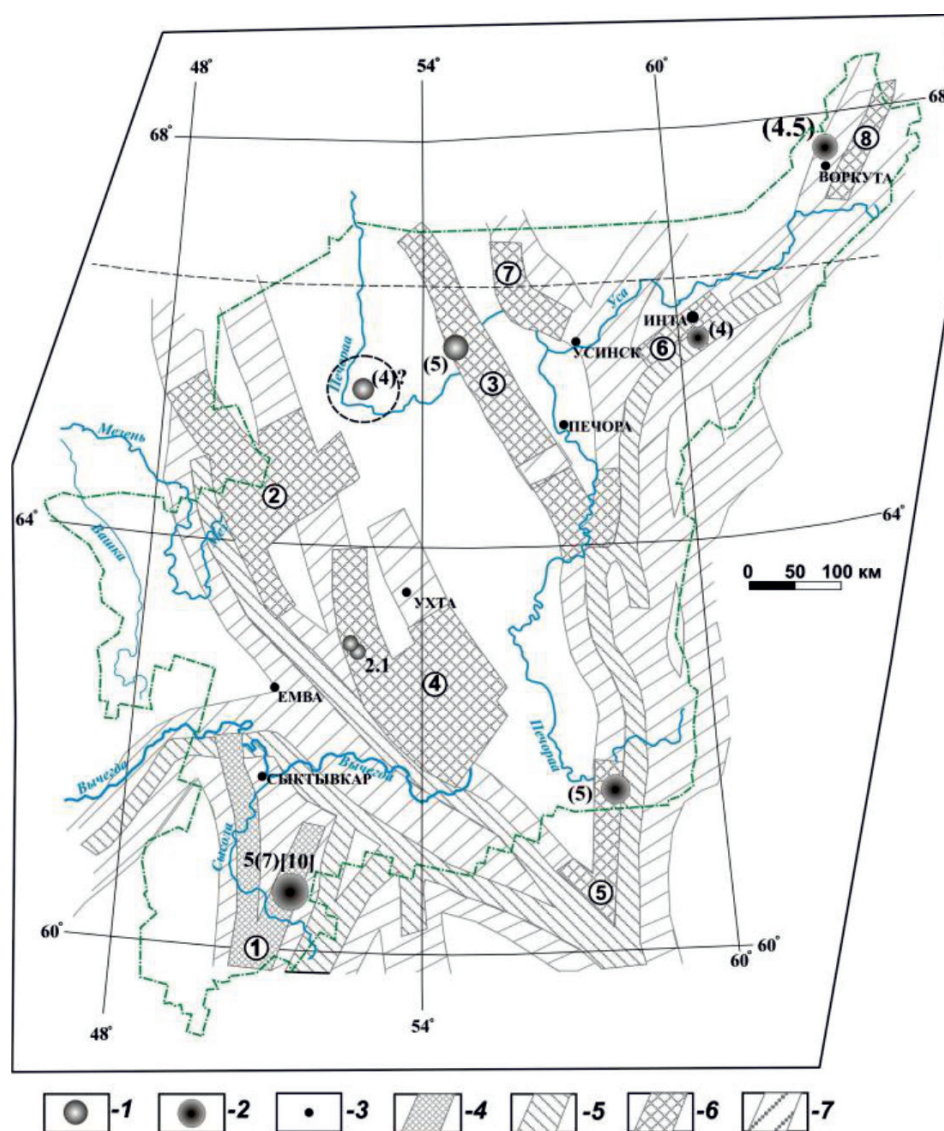
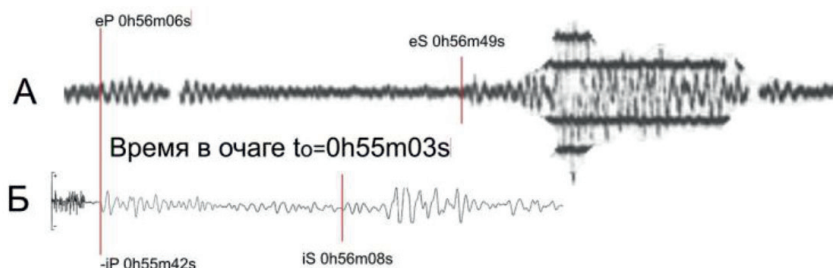


Рис. 1. Сейсмическое районирование Республики Коми на основе сеймотектонического анализа и исторических сведений о землетрясениях [5]. 1 – эпицентры землетрясений по историческим данным; 2 – эпицентры землетрясений по инструментальным данным; 3 – административные центры; 4 – сейсмогенные зоны категории I-1 с известными землетрясениями с магнитудой ($5,0 \leq M \leq 6,0$); 5 – Сейсмогенные зоны категории I-2 с возможными землетрясениями с магнитудой ($5,0 \leq M \leq 6,0$); 6 – Сейсмогенные зоны категории II-1 с известными землетрясениями с магнитудой ($4,0 \leq M \leq 5,0$); 7 – Сейсмогенные зоны категории II-2 с возможными землетрясениями с магнитудой ($4,0 \leq M \leq 5,0$)

П.н. «Сыктывкар» - Верхнепечорское поперечное опускание
S-P=43 сек, эпицентральное расстояние равно 400 км



П.н. «Зимстан» - Верхнепечорское поперечное опускание
S-P=26 сек, эпицентральное расстояние равно 222 км

Рис. 2. Сейсмограммы с соответствующими временами пробега по составляющим вертикальных компонент, полученные при регистрации Верхнепечорского землетрясения из п.н. «Сыктывкар» и «Зимстан» (А – сейсмограмма аналоговой с/с «РС-II», Б – сейсмограмма цифровой с/с «Дельта-01»)

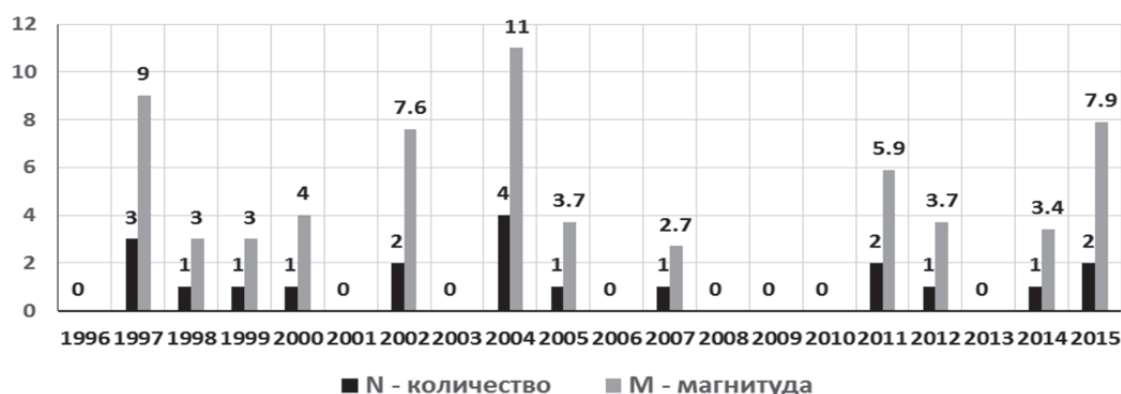


Рис. 3. Статистическое соотношение общего количества землетрясений и магнитуд в пределах Республики Коми

Новые методы в решении задач сейсмического районирования

С появлением в 2002 г. современных сейсмических станций SDAS с программной обработкой WSG, способных регистрировать местные и близкие землетрясения, мы смогли увидеть более реальную картину сейсмичности, что подтверждается тем, что сейсмодатчики ежегодно фиксируют примерно одно-два местных или близких сейсмических события с $M \leq 3,5$ единиц и один раз в несколько лет – с $M > 3,5$ единиц (см. рис. 3). В качестве примера приведены два землетрясения: первое с $M = 3,5$ единиц зафиксировано в пределах Западно-Тиман-

ской разломной зоны на северо-западе от г. Сыктывкара на удалении 130 км и отвечает условию «близкого события»; второе с $M = 2,6$ единиц – на границе структур Сысольского свода и Кировско-Кажимского авлакогена юго-восточнее г. Сыктывкара на удалении 27 км, оно отвечает условию «местного события» (см. рис. 4).

В связи с тем, что координаты землетрясений, зарегистрированных в последние полтора десятка лет, в большинстве своем, попадают в предварительно выделенные сейсмогенные зоны, подтверждает выбранную нами модель сейсмического районирования (см. табл. 2).

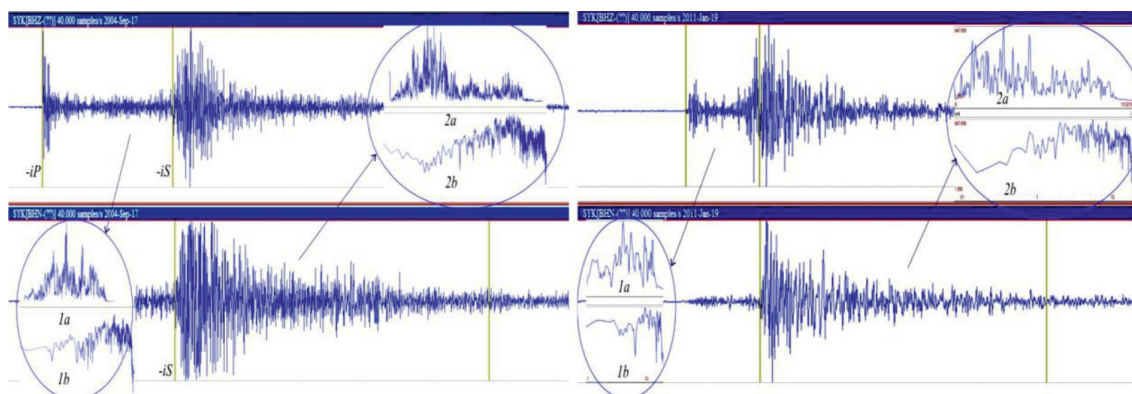


Рис. 4. Сейсмограммы и спектры ответа близкого Емвинского и местного Сыктывдинского землетрясений в г. Сыктывкаре, где: $-iP$, $-iS$ – отрицательные первовступления P и S волн; $1a$, $2a$ – спектры Фурье P и S волн; $1b$, $2b$ – логарифмические спектры P и S волн

Таблица 2

Каталог местных землетрясений в пределах Республики Коми за период 2002–2017 гг.
(после построения схемы сейсмического районирования)

№ п/п	Дата, время	Координаты		Н, км	М, ед.	I, балл	Эпицентр администрат.	Источник
1	2002.02.25 18:38:09	63.70	47.60		2.8	4	Республика Коми (граница)	Землетрясения..., Чепкунас, 2006
2	2002.11.09 06:47:00	60.35	50.17	30–40	3.6		Республика Коми Койгород. р-н	Землетрясения..., Чепкунас, 2006
3	2004.05.28 19:59	61.78	51.38		2.8–3.0		Республика Коми Корткерос. р-н	Землетрясения России, в 2004–2007 г.
4	2004.09.17 18:58:08	62.85	51.25	11	3.5	5.0	Республика Коми г. Емва, п. Ракпас	Землетрясения России, в 2004–2007 г.
5	2005.05.23 19:17:11	67.75	64.19		3.8	5.5	Республика Коми р-н г. Воркуты	Землетрясения России, в 2005–2007 г.
6	2007.04.20 17:39:28.6	60.34	60.24	10	3.9		Район Уральск. гор	Землетрясения России, в 2007–2009 г.
7	2008.09.07 23:21:28.6	60.32	51.01		3.3		Республика Коми Койгородский р-н	Голубева, Верхованц., Белевская, 2008
8	2011.01.19 17:18:12.6	61.43	50.97	10	2.6		Республика Коми Сыктывдинский р-н	с/с «Сыктывкар», «Сыктывкар»,
9	2012.12.24 06:22:39	66.768	64.360	11	3.7		Центр. часть Полярного Урала	Коми НЦ УрО РАН Институт геологии с/с «Сыктывкар»
10	2014.01.28 04:41:38	62.361	59.539	5	3.4		Республика Коми истоки р. Печоры	Коми НЦ УрО РАН Институт геологии с/с «Сыктывкар»
11	2015.01.04 13:58:06	64.552	60.720	14	4.8		Республика Коми Приполярн. Урал	Коми НЦ УрО РАН Институт геологии с/с «Сыктывкар»
12	2015.03.21 14:14:19	62.926	58.221	12	3.1		Республика Коми Верхн. Печ. опуск.	Коми НЦ УрО РАН Институт геологии с/с «Сыктывкар»

Далее, учитывая инструментальные данные, зоны ВОЗ были переведены из второго (I-2) в первый тип (I-1), из четвертого (II-2) – в третий тип (II-1), т.е. в сейсмогенные

зоны (см. рис. 5). Одновременно с накоплением базы данных о землетрясениях проводились полевые исследования по определению степени воздействия приливных сил

атмосферного давления на земную кору для определения диссипативных особенностей геологических структур Волго-Уральской антеклизы, Печорской плиты, Вычегодского прогиба. В результате, с помощью уравнения кросскорреляции, объединяющего функциональные зависимости изменения атмосферного давления и микросейсмического поля геологических структур, были определены: параметры релаксации (t_R), указывающие на время, в течение которого структуры переходят в равновесное состояние после внешнего воздействия; параметры скорости рассеивания упругой энергии (v); параметры потенциала сейсмичности (Π) [6] (см. табл. 3).

определенные с помощью ГСЗ, которые позволили провести расчеты прочностных и упругих динамических и статистических параметров геологических структур по сейсмоструктурным этажам (ССЭ) в масштабе первого порядка [2]. Расчеты проводились с помощью номограмм В.Н. Никитина и формул В.И. Бондарева [9]. В результате для каждого ССЭ выбранной геологической структуры были рассчитаны $E \rightarrow E_c$ – модули Юнга, ν_d – коэффициент Пуассона, G – модуль сдвига, $E_{\text{деф}}$ – модуль общей деформации, $\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности сжатия. Далее, с помощью математической операции, известной как пересечение множеств, из ранее полученных

Таблица 3

Диссипативные эффективные параметры геологических структур $\{t_R, v, \Pi\} = F(P)$

№ п/п	Наименование структур	t_{R_x} час	t_{R_y} час	$v^{\text{ср.кв.}}_{\text{мин}}$ нм/час	$v^{\text{ср.кв.}}_{\text{макс}}$ нм/час	$\Pi^{\text{мин}}_{(нм/час^2)^{-1}}$	$\Pi^{\text{макс}}_{(нм/час^2)^{-1}}$	$\Delta \Pi_{(нм/час^2)^{-1}}$	кол-во земл.
1	Сысольский свод	23,5	23,8	3,95	8,68	6,03	2,74	3,29	4
2	Вычегодский прогиб	15	13	2,97	4,86	5,05	3,09	1,96	3
3	Коми-Пермяцкий свод	8,5	5,8	5,26	11,01	1,62	0,77	0,85	–
4	Кировско-Кажимский авлакоген	15,8	10,2	4,53	6,75	3,49	2,34	1,15	2
5	Ижемская впадина	8,57	8,57	8,82	21,64	0,97	0,40	0,57	–

Таким образом, соотношение эффективных параметров диссипации геологических структур (t_R, v, Π) позволяет получить сравнительные данные потенциала сейсмичности по отношению к распределению произошедших сейсмических событий на платформенной части Республики Коми. Так, например, Ижемская впадина, являющаяся геологическим образованием Печорской плиты, фактически не имеет потенциала для создания очагов землетрясения. Коми-Пермяцкий свод по потенциалу сейсмичности чуть выше геологической структуры Ижемской впадины, поэтому его можно отнести к зоне слабой сейсмичности. Остальные же рассмотренные геологические структуры обладают относительно большим потенциалом сейсмичности.

В рамках сейсмического районирования важен также вопрос выбора глубины инициации очага землетрясения, относительно которого наряду с параметром удаленности сейсмогенных зон определяется исходная величина балльности для площадки строительства. Для этого были использованы скорости поперечных и продольных волн разреза земной коры,

прочностных параметров горных пород в пределах одного ССЭ составлялась его единая индивидуальная характеристика [7]. Эта характеристика, одновременно принадлежащая каждому из множеств параметров (сдвиговой, сжимающей и общей прочности), получила название «параметр упругой емкости» (Ω). Чем больше этот параметр, тем выше способность накопления упругой энергии в ССЭ, и наоборот. Таким образом, мы исключаем анализ каждого параметра отдельно и рассматриваем только их общую эффективную составляющую Ω , позволяющую избежать предвзятости характеристик ССЭ, составленных только на основе одного параметра при наличии еще и других, возможно даже противоречивых показателей, которые используются при определении возможных глубин очагов землетрясений. Для закрепления наших выводов воспользуемся авторитетными мнениями ведущих сейсмологов: М.А. Садовского и В.Ф. Писаренко, – которые утверждают, что формирование очага землетрясения в блоковой среде земной коры происходит, прежде всего, вследствие накопления упругих деформаций в объ-

еме самого блока [8]. Результаты расчетов по параметру Ω позволили обнаружить достаточно хорошо дифференцированную картину изменения упругих свойств горных пород в ССЭ геологических структур. Их можно представить следующими неравенствами:

- 1) при $\Omega_{III} \gg \Omega_{II} < \Omega_I$ – в кровле III и в подошве I (небольшой силы) ССЭ;
- 2) при $\Omega_{III} \approx \Omega_{II} > \Omega_I$ – в кровле II ССЭ;
- 3) при $\Omega_{III} < \Omega_{II} > \Omega_I$ в – кровле II ССЭ;

4) при $\Omega_{III} \ll \Omega_{II} > \Omega_I$ – в подошве и в кровле II ССЭ;

5) при $\Omega_{IV} \gg \Omega_{III} < \Omega_{II} \approx \Omega_I$ – в кровле III ССЭ;

6) при $\Omega_{III} \gg \Omega_{II} > \Omega_I$ – в кровле III и II ССЭ;

7) при $\Omega_{III} \gg \Omega_{II} > \Omega_I$ – в кровле III и маловероятно во II ССЭ.

Примечание. *В подструктурных сейсмозтажах для формирования возможных очагов землетрясений соотношение неравенств аналогично приведенным выше (1–7).

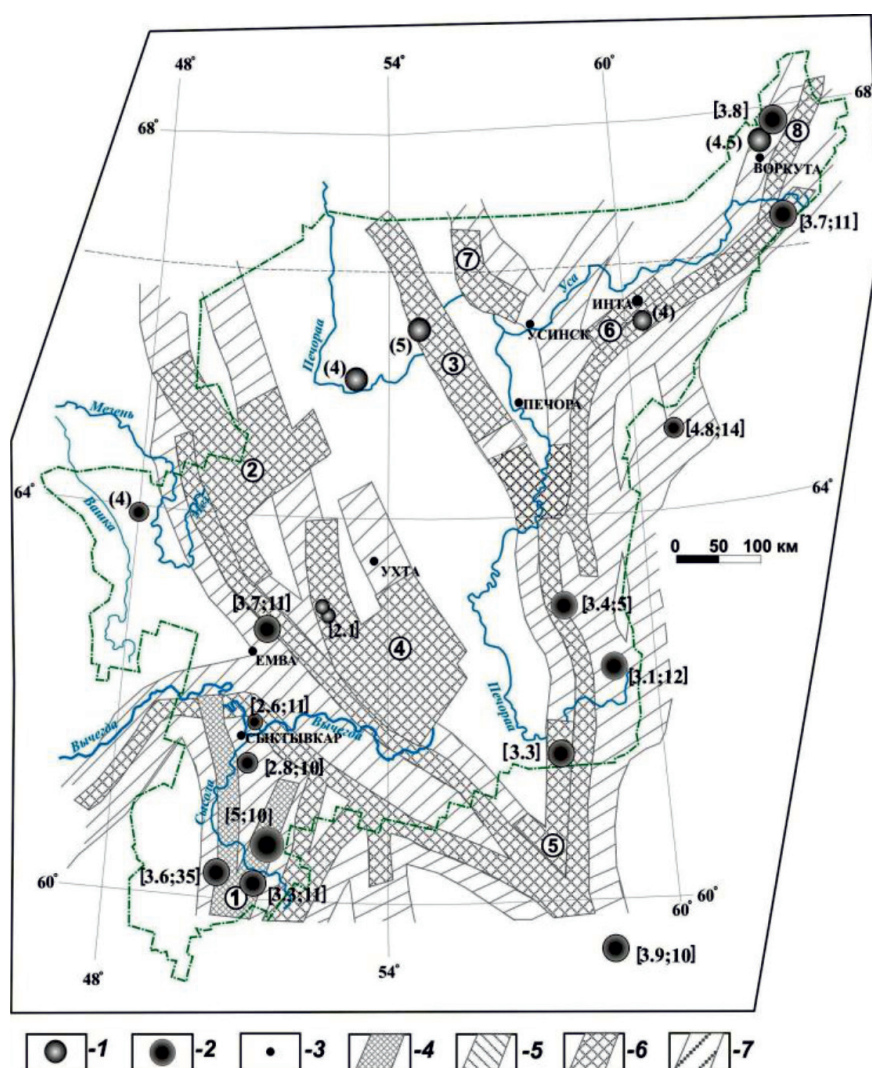


Рис. 5. Сейсмическое районирование Республики Коми на основе сейсмотектонического анализа и инструментальных сведений о землетрясениях. 1 – эпицентры землетрясений по историческим данным; 2 – эпицентры землетрясений по инструментальным данным; 3 – административные центры; 4 – сейсмогенные зоны категории I-1 с известными землетрясениями интенсивностью до 7 баллов по MSK-64 ($5,0 \leq M \leq 6,0$); 5 – Сейсмогенные зоны категории I-2 с возможными землетрясениями интенсивностью до 7 баллов по MSK-64 ($5,0 \leq M \leq 6,0$); 6 – Сейсмогенные зоны категории II-1 с известными землетрясениями интенсивностью до 5 баллов по MSK-64 ($4,0 \leq M \leq 5,0$); 7 – Сейсмогенные зоны категории II-2 с возможными землетрясениями с интенсивностью до 6 баллов по MSK-64 ($4,0 \leq M \leq 5,0$)

В результате по геологическим структурам первого порядка в пределах границ Республики Коми мы получили следующие глубины ВОЗ: Волго-Уральская антеклиз (Сысольский свод – 12,5 км; Кировско-Кажимский прогиб – 13 км; Коми-Пермский свод – 11 км), Мезенская синеклиза (Пинежский прогиб – 8 км; Сафононская ступень – 11 км; Вашкинский свод – 7,5 км), Тиманская гряда (Канино-Тиманский меговал – 6 км; Четласко-Цилемский меговал – 14,5 км; Восточно-Тиманский меговал – 11 м), Печорская синеклиза (Ижма-Печорская моноклиналь – 7,5 км; Печоро-Колвинский прогиб – 10 км; Большеземельский свод – 16 км), Предуральский желоб (Варандей-Адзвенский прогиб – 10 км; Пайхойский аллохтон – 3,5 км; Припайхойский прогиб – 6 и 35 км), Уральский кряж (Западно-Уральская складчатая зона – 20 км; Центрально-Уральское поднятие – 21 км; Восточно-Уральская складчатая зона – 11 км).

Для справедливости отметим, что волноводы традиционно рассматриваются как потенциальные области сейсмической разгрузки, а выделенные нами зоны инициации, напротив, являются областями накопления упругих деформаций. Однако очаги землетрясений не всегда будут находиться внутри этих переходных зон ввиду высокой диссипативной скорости, что и отмечается в вышеприведенных соотношениях.

В итоге нами предлагается несколько измененная схема сейсмического районирования Республики Коми в масштабе 1:2500000.

Заключение

Таким образом, сейсмическое районирование Республики Коми проводилось в два этапа. **Первый этап** был выполнен на основе материалов изученности глубинного строения северной и центральной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Для южной части были использованы материалы, связанные с поиском алмазоносных трубок взрыва. Подтверждающим фактором сейсмичности отдельных участков республики являлись исторические сведения о землетрясениях, произошедших в районе Печоро-Колвинского авлакогена. Особое место было отведено Сысольскому семибальному землетрясению с магнитудой, близкой к пяти единицам, которое удалось зарегистрировать одновременно несколькими отечественными и зарубежными сейсмическими станциями. Этот же этап включает и начало работы аналоговой региональной с/с «Сыктывкар», при помощи которой были получены первые записи местных и близких сейсмических событий. В результате были выделены четыре

разнотипные сейсмогенные зоны, две из которых обладают условным сейсмическим потенциалом. **Второй этап** выполнения сейсмического районирования связан с накоплением записей сейсмических событий с помощью современных сейсмических станций. Практически все зарегистрированные землетрясения подтвердили разработанную модель сейсмичности Республики Коми. Одновременно проводился мониторинг геологических структур Волго-Уральской антеклизы, Вычегодского прогиба и Печорской плиты на способность к диссипации. Также были определены зоны инициации возможных очагов землетрясений в разрезе земной коры по ССЭ. В результате карта 2001 г. была существенно обновлена: добавлены и уточнены сейсмогенные зоны, определены глубины очагов землетрясений, найден способ определения потенциала сейсмичности геологических структур. По нашему мнению, данная карта может служить рекомендацией по заданию исходной сейсмичности проектных основ для площадок строительства особо ответственных объектов и линейных сооружений, связанных с транспортировкой нефти и газа.

Работа выполнена при поддержке проекта № 15-18-5-11 Программы фундаментальных исследований РАН.

Список литературы

1. Ананьин И.В. К вопросу о проявлении некоторых землетрясений в восточной части Восточно-Европейской платформы // Исследования по сейсмической опасности / И.В. Ананьин // Вопросы инженерной сейсмологии. – М.: Наука. – 1988. – Вып. 29. – С. 119–123.
2. Булин Н.К., Егоркин А.В. Региональный прогноз нефтегазоносности недр по глубинным сейсмическим критериям / Н.К. Булин, А.В. Егоркин. – М.: Центр ГЕОН, 2000. – 194 с.
3. Губин И.Е. О детальном сейсмическом районировании / И.Е. Губин // Детальное сейсмическое районирование. – М.: Наука, 1980. – С. 5–26.
4. Дружинин Ф.Ф., Юнусов Ю.С., Парыгин Г.И. Специфика сейсмичности уральского региона // Глубинное строение и развитие Урала: материалы научно-производств. конф., посвящ. 50-летию баженовской геофиз. экспед. (г. Заречный, 28–30 ноября 1994 г.). – Екатеринбург, 1996. – С. 102–109.
5. Лютоев В.А. Сейсмогенные зоны Республики Коми и микросейсмическое районирование города Сыктывкара. / В.А. Лютоев – Сыктывкар: Геопринт, 2001. – 32 с.
6. Лютоев В.А. Использование диссипативных особенностей платформ в сейсмическом районировании / В.А. Лютоев // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, – 2011. – № 9. – С. 14–17.
7. Лютоев В.А., Пономарева Т.А. Геолого-геофизическая основа сейсмического районирования Европейского северо-востока России / В.А. Лютоев, Т.А. Пономарева // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – Сыктывкар, 2011. – № 12. – С. 7–12.
8. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде / М.А. Садовский, В.Ф. Писаренко. – М.: Наука, 1991. – 96 с.
9. Савич А.И., Яценко З.Г. Исследования упругих и деформационных свойств горных пород сейсмоакустическими методами / А.И. Савич, З.Г. Яценко. – М.: Недра, 1979. – 214 с.
10. Уломо В.И., Шумилина Л.С. Комплект новых карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8000000. / В.И. Уломо, Л.С. Шумилина // Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сеймоопасных районах. М.: ОИФЗ. 1999. – 57 с.

УДК 504.05:632.15

**ТЕХНОГЕННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ НА ТЕРРИТОРИИ
КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ****Ошхунова А.А., Кравченко И.В., Калашникова Л.М.***ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова»,
Нальчик, e-mail: vampirchik07227@mail.ru, kivik51@rambler.ru, klm49@mail.ru*

В данной статье рассматриваются основные группы потенциальных источников техногенных чрезвычайных ситуаций, распространенных на территории Кабардино-Балкарской Республики. В республике расположены химически опасные объекты, гидротехнические сооружения, пожароопасные и взрывоопасные объекты, предприятия по хранению и переработке зерна, нефти и нефтепродуктов, спирто-водочные производства, объекты газо- и теплоснабжения, которые негативно влияют как на окружающую среду, так и на человека в целом. Среди множества угрожающих техногенных опасностей химическая опасность занимает одно из первых мест. В Кабардино-Балкарской Республике главными потребителями химически опасных веществ являются предприятия металлургии, пищевой промышленности и коммунального хозяйства. Авторы выделили зоны различной степени техногенной опасности. Очень сильно характеризуется территория города Нальчика, сильной – города Прохладного, средней – города Баксана, Майского, Терека, Нарткала, Тырнауза.

Ключевые слова: химически опасные вещества, потенциальные источники техногенных ЧС, чрезвычайная ситуация, техногенная катастрофа, авария

**TECHNOGENIC ENVIRONMENTAL RISKS ON THE TERRITORY
OF KABARDINO- BALKARIAN REPUBLIC****Oshkhunova A.A., Kravchenko I.V., Kalashnikova L.M.***Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, Nalchik,
e-mail: vampirchik07227@mail.ru, kivik51@rambler.ru, klm49@mail.ru*

In this article discusses the main groups of potential sources of technogenic disasters, widespread on the territory of Kabardino-Balkaria. In the republic is located chemically dangerous objects, waterworks, flammable and explosive objects, enterprise storage and processing of grain, oil and oil products, alcohol and vodka production, gas and heating facilities, which have a negative impact both on the environment and on human in whole. Among the many threatening dangers the technogenic chemical hazards is one of the first places. In Kabardino-Balkaria republic main consumers of chemically hazardous substances are the enterprises of metallurgy, food industry and public utilities. The authors identified areas of varying degree of technological risk.

Keywords: chemically hazardous substances, potential sources of technogenic emergency situations, emergency, technological disaster, crash

Бурный научно-технический прогресс, особенно во второй половине 20 века, в значительной мере способствовал повышению производительности труда, росту материального благосостояния общества. Однако он имеет и негативные последствия, среди которых риски техногенных аварий.

Цель исследования: изучение техногенных рисков на территории Кабардино-Балкарской Республики (КБР).

На территории КБР имеются отрасли промышленности, опасные с точки зрения возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

1. Химически опасные объекты (компрессорные, холодильные установки, хранилища химически опасных веществ – кислот, щелочей, склады ядохимикатов и др.).

2. Гидротехнические сооружения (гидроэлектростанции, хвостохранилища, каналы, берегоукрепительные и селезащитные сооружения и др.).

3. Пожаро- и взрывоопасные объекты – предприятия по хранению и переработке зерна, нефти и нефтепродуктов, спирто-водочные производства, объекты газо- и теплоснабжения и др.).

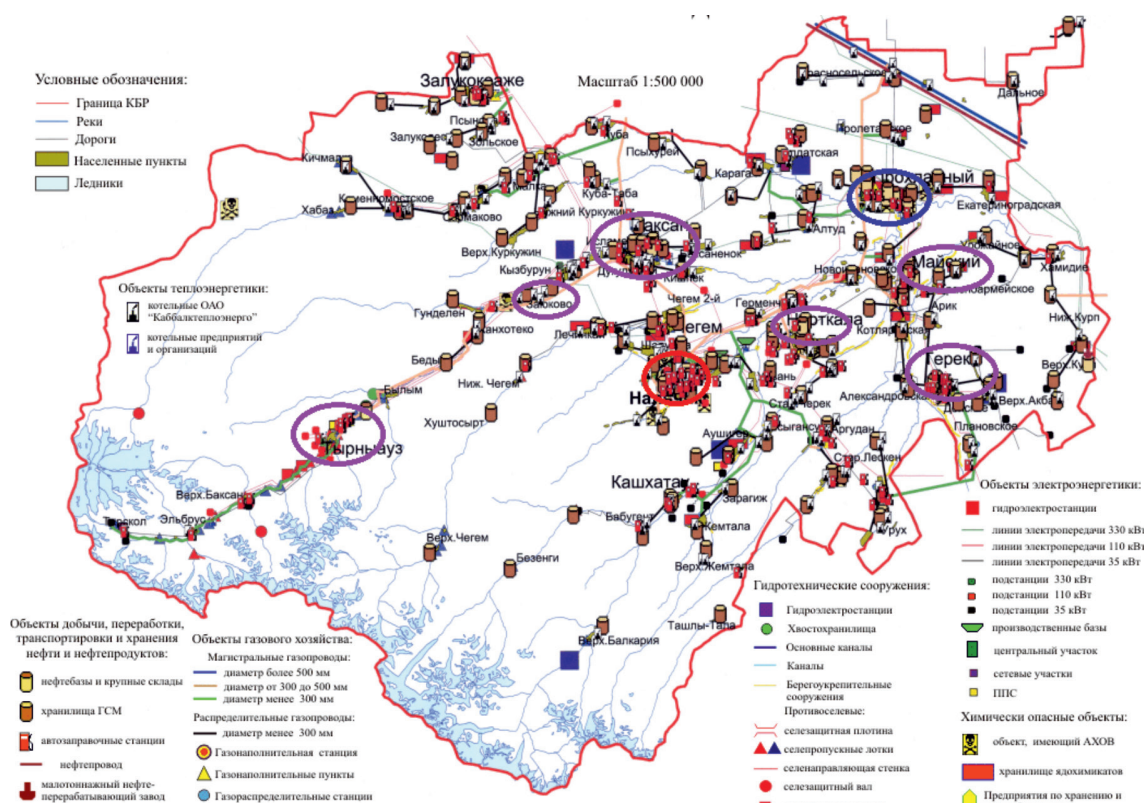
4. Энергетические системы [6].

Исследование проводилось на региональном материале, проанализированы литературные данные об объектах, наиболее опасных с точки зрения возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера на территории КБР. На основе данных, полученных для каждого из населенных пунктов, была определена степень опасности техногенных источников ЧС для разных районов республики. Для этого рассчитывался коэффициент К, равный частному от деления суммы баллов, характеризующей общую техногенную опасность по всем населенным пунктам данного района на их количество. По полученным значениям коэффициента К вы-

делены следующие градации средней техногенной опасности районов: очень сильная – > 100; сильная – 51–100; средняя – 25–50; слабая – < 25.

В современном мире среди множества угрожающих техногенных опасностей химическая опасность занимает одно из первых мест. Это связано с токсическими свойствами многих химических веществ. Потенциально опасными являются более 50 тыс. из многих миллионов известных химических веществ. Самые опасные химические вещества, способные вызвать массовые поражения людей в результате аварийных выбросов, называют аварийно химически опасными веществами (АХОВ). Поражающее воздействие АХОВ на людей обусловлено способностью опасных веществ проникать в организм через органы дыхания, кожу, слизистые оболочки, нарушать нормальную деятельность организма, вызывать различные болезненные состояния, а иногда летальный исход [2].

В КБР главными потребителями химически опасных веществ являются предприятия металлургии, пищевой промышленности и коммунального хозяйства. Среди 46 основных объектов, использующих или хранящих АХОВ, больше половины приходится на предприятия пищевой промышленности и продовольственные склады. Такие объекты имеются во многих населенных пунктах, поэтому потенциальные источники выброса аммиака рассредоточены по разным районам республики, но больше всего их в г. Нальчике. Аварийность на указанных объектах достаточно высока (рисунок). Так, в марте 1990 г. на базе хранения мороженого в г. Нальчике произошел взрыв холодильной камеры с выбросом аммиака. В результате взрыва и отравления парами АХОВ погибло 6 человек. В январе 1999 произошла утечка аммиака в компрессорной Нальчикского холодокомбината, и только своевременные действия МЧС КБР позволили предотвратить взрыв и выброс АХОВ в атмосферу.



Техногенные объекты на территории Кабардино-Балкарской Республики. Масштаб 1:500000 (Атлас природно-техногенных опасностей Кабардино-Балкарской Республики, 2005)

- зона очень сильной техногенной опасности;
- зона сильной техногенной опасности;
- зона средней техногенной опасности

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в р. Баксан

Год	Место отбора проб	Содержание ПДК				
		Mo	Fe	Cu	Al	Mn
2011	Во всех створах	3,4–16	2,3	1,2–1,5	11,8–16,5	–
2012	Устьевой (г. Прохладный)	4,2	3,0	2,0	4,48	2,2
2013	Во всех створах	9	8,8	2,50	9,45	3,65
2014	Во всех створах	11,1	9,83–12,22	2,92–3,52	8,97–10,25	4,85

Примечание. Доклад о природопользовании и экологической ситуации в Кабардино-Балкарской Республике [3].

На территории КБР имеется 4 хвостохранилища предприятий металлургической отрасли, одно из которых расположено в пределах городской черты Нальчика, а остальные – в Эльбрусском районе, где эксплуатировалось месторождение вольфрамовых и молибденовых руд. Здесь же, в долине р. Баксан, располагался Тырныаузский вольфрамомолибденовый комбинат (ТВМК). Основным источником поступления токсичных металлов в р. Баксан являлись стоки обогатительной фабрики комбината. В технологическом процессе существовала система нейтрализации сточных вод, которая позволяла значительно снизить содержание металлов в жидкой фазе пульпы, сбрасываемой в накопитель отходов. Однако в накопителе состав пульпы менялся, вольфрам и молибден переходили в растворимые соединения, и они из хвостохранилища за счет процессов фильтраций и инфильтраций попадали в р. Баксан. В итоге содержание этих металлов в речной воде сильно возрастало и превышение предельно допустимых концентраций наблюдалось до нижнего течения реки.

Гидротехнические сооружения ТВМК включают в себя пульпопровод хвостов, насосную станцию, 3 хвостохранилища с дамбами, водоотводные тоннели № 1, 2, 3 предназначенные для забора воды р. Гижгит.

Первое хвостохранилище, расположенное в г. Тырныаузе ниже промплощадки комбината и второе на 8-м км автодороги в сторону п. Былым, в настоящее время не эксплуатируются. Оба до последнего времени не представляли опасности, только происходило пыление с поверхности второго накопителя в период сильных ветров [1]. В результате селевой катастрофы в июле 2000 г. была затоплена верхняя часть г.о. Тырныауз, и в старое хвостохранилище № 1 попали воды р. Баксан. В реку были вынесены накопленные в 1950–1960 гг. отходы переработки руды, содержащие соли

тяжелых металлов. Как следствие, в створе реки ниже по течению наблюдалось увеличение концентраций молибдена, вольфрама и меди (табл. 1).

Третье и самое крупное хвостохранилище, расположенное в месте впадения в Баксан реки Гижгит, было введено в эксплуатацию в 1967 г. В процессе эксплуатации пропуска вод р. Гижгит и слива вод из хвостохранилища состояние бетонного крепления тоннелей резко ухудшилось. При сильном подъеме уровня воды р. Гижгит из-за проливных дождей крепление тоннелей может разрушиться. Обвал кровли тоннеля или его закупорка приведут к тому, что воды реки размоют плотину № 2 и хлынут в хвостохранилище. Если вода поднимется на уровень гребня основной плотины, то последняя неизбежно будет разрушена и десятки миллионов кубических метров воды «хвостов» в виде селевого потока будут выброшены в р. Баксан. Это вызовет экологическую катастрофу и техногенную чрезвычайную ситуацию регионального масштаба [1].

В Нальчике наиболее крупным объектом длительного хранения токсичных отходов является хвостохранилище ОАО «Гидрометаллург», расположенное между территорией завода и пос. Кенже. За годы работы предприятия здесь накоплено 552 тыс. т так называемых отвальных кеков, образующихся при выщелачивании вольфрамовых и вольфрамомолибденовых концентратов. Различные токсичные вещества поступают в водоёмы и воздушную среду в результате работы данного предприятия (табл. 2).

Развитие химического производства, химизация сельского хозяйства ведут к тому, что вводятся новые химические соединения. Многие соединения являются токсичными. В частности, токсичность свойственна пестицидам. Пестицидами называют химические соединения, используемые для защиты растений, сельскохозяйственных

продуктов, древесины, для уничтожения эктопаразитов животных и др. К пестицидам относятся гербициды, фунгициды, инсектициды, нематодыциды [3].

На начало 2002 г. в 6 районах республики (Прохладненском, Зольском, Майском, Терском, Чегемском и Черекском) было выявлено 23 хранилища с ядохимикатами, непригодными для применения. Основная часть складов просроченных пестицидов находится на территории Прохладненского района. Обследование показало, что сроки хранения ядохимикатов нарушены, они хранятся в разорванных и размокших мешках, ржавых бочках, а некоторые вообще без тары. Среди ядохимикатов присутствуют такие токсичные пестициды, как ДДТ, симазин, акрекс, ДНОК, тиазол, нитрафен. Особенно настораживает тот факт, что в хранилищах Прохладненского, Терского, Чегемского и Черекского районов находятся неидентифицированные препараты, а это значит, что неизвестна их токсичность и меры предосторожности, которые следует соблюдать в обращении с этими веществами [1].

Производство спирта, водки и ликероводочных изделий за последнее десятилетие превратилось в достаточно крупную отрасль пищевой промышленности республики, что обусловлено обилием местного сырья. В настоящее время на территории КБР выявлено около 50 заводов по производству алкогольной продукции. Их распространение по территории очень неравномерно. Крупными центрами производства винно-водочного ассортимента являются города Нальчик, Баксан, Чегем. На заводах по производству спирта пожаровзрывоопасными считаются отделения зернового сырья, спиртоотпускное, спиртосливное, спиртохранилища и т.д. [4].

Аварийные ситуации при эксплуатации оборудования по производству алкогольной продукции возникают вследствие следующих причин: нарушение герметичности оборудования, выход из строя систем контроля технологическими процессами, разрыв трубопроводов парами горячей воды и т.д. Анализ аварий показывает, что большинство из них является следствием одной или комплекса следующих причин: неисправности технических средств, несовершенства проектных решений, несоблюдения требований производственных инструкций по безопасному ведению производства.

В структуру жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) Кабардино-Балкарской Республики входят 22 предприятия, занимающиеся эксплуатацией систем водоснабжения и канализации в населенных пунктах республики.

В структуре ЖКХ системы водоснабжения и канализации являются потенциально опасными объектами. Угроза и ущерб от аварий на этих объектах бывают прямыми и косвенными. Прямые – результат утечки из водопровода, когда увеличивается влагосодержание подстилающих грунтов, особенно лессовых пород, и здания разрушаются в результате просадки. Прямой ущерб также наносят аварии в системе канализации, в результате которых неочищенные сточные воды попадают в водоемы. Косвенные угрозы связаны с тем, что объекты водоснабжения входят в состав более сложной системы коммунального хозяйства, и если нарушается режим обеспечения водой других объектов данной системы, например котельных, это приводит к серьезным последствиям для населения, различных хозяйственных объектов, особенно в период отопительного сезона [5].

Таблица 2

Жидкие и газообразные вещества, выбрасываемые ОАО «Гидрометаллург»

Наименование веществ	ПДК	Класс опасности	Выброс вещества (т/год)
Аммиак	0,16	4	134,5
Сероводород	0,0064	2	1,41103
Хлористый водород	0,16	2	0,748048
Диоксид серы	0,4	3	17,9888
Серная кислота	0,24	2	0,005
Оксид углерода	4	4	2,8884
Керосин	0,96	3	5,19458
Диоксид азота	0,068	2	16,08698
Оксид азота	0,32	3	7,3

Примечание. Доклад о природопользовании и экологической ситуации в Кабардино-Балкарской Республике [3].

Жилищно-коммунальный комплекс республики является одним из главных источников загрязнения поверхностных водоемов. Чаще всего вредные примеси сбрасываются в водные объекты в результате аварий на канализационных сетях, коллекторах, очистных сооружениях. Неочищенные стоки, поступающие в водоемы, резко увеличивают концентрацию вредных и токсичных веществ, в них нарушается экологическая обстановка, приводя к массовой гибели рыбы и других водных организмов, к загрязнению донных отложений, делает невозможным использование воды не только для питья, но и для полива сельскохозяйственных культур.

В городском округе (г.о.) Нальчик основное загрязнение поверхностных вод, и в частности р. Шалушки, связано со сбросом сточных вод с очистных сооружений города. При проектной мощности до 150 тыс. м³ коммунальных и промышленных стоков в сутки фактическая загруженность очистных сооружений составляет 64%. При этом все сточные воды, прошедшие очистку, не соответствуют нормативам качества окружающей среды. По данным [7], в 2003 г. с очистных сооружений г. Нальчика было сброшено 35 млн м³ загрязненных сточных вод. Это негативно сказалось на качестве воды р. Урвань ниже впадения в нее р. Шалушки: содержание азота нитратов, азота нитритов, хлоридов и нефтепродуктов увеличилось до 2 ПДК, азота аммонийных солей – до 3 ПДК, а фосфатов – до 14 ПДК. В 2017 г. в городе вступят в строй новые очистные сооружения, соответствующие всем необходимым санитарным требованиям.

Происходят аварии на гидротехнических сооружениях, они разнообразны и по виду, и по последствиям. Наиболее опасны гидродинамические аварии, когда происходит прорыв плотин, дамб и других подпорных сооружений, в результате чего огромные массы воды устремляются вниз по течению. Последствием гидродинамических аварий является волна прорыва, которая обладает большой скоростью и разрушительной силой, а также затопление местности со всеми находящимися на ней жилыми, промышленными, сельскохозяйственными и другими объектами [3].

Заключение

В настоящее время на территории КБР остаётся высоким риск возникновения техногенных аварий. Причем тяжесть их последствий имеет склонность к возрастанию. Увеличивается также наносимый ими материальный ущерб, высоки безвозвратные потери населения и наносится непоправимый вред окружающей природной среде.

Техногенные катастрофы вызваны антропогенным фактором, поэтому необходимо проводить работы по их профилактике: своевременная смена устаревшего оборудования, контроль над соблюдением правил техники безопасности, проверка обслуживающего персонала на профпригодность.

Таким образом, анализ техногенной ситуации различных территорий Кабардино-Балкарской республики позволяет выделить зоны по степени техногенной опасности.

1. Очень сильной характеризуется территория г.о. Нальчик.

2. Сильной – г.о. Прохладный.

3. Средней – г.о. Баксан, с.п. Заюково, г.о. Майский, г.о. Терек, г.о. Нарткала, г.о. Тырнауз [7].

Техногенную катастрофу невозможно полностью предотвратить, поэтому необходимо предусмотреть мероприятия по оповещению населения об опасности, возможности эвакуации населения из пострадавших районов и организации помощи пострадавшим и выжившим в зоне бедствия.

Список литературы

1. Атлас природно-техногенных опасностей Кабардино-Балкарской республики / Под общей редакцией И.И. Мазура. – М.: 2005. – 243 с.
2. Безопасность России. Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (Шойгу С.К. и др.). – М.: МГФ «Знание», 1999. – 592 с.
3. Доклады о состоянии окружающей природной среды и деятельности Министерства природных ресурсов по КБР в 2011–2014 г. – Нальчик: МПР по КБР, 2011–2014.
4. Охрана труда в ликероводочном и пивобезалкогольном производствах. – М.: НИК «Апрохим», 2000. – 377 с.
5. Проблемы и перспективы развития программ экологического страхования. Режим доступа: <http://portal-u.ru/vypuski/item/2126>.
6. Разумов В.В. Географические аспекты изучения потенциальных источников чрезвычайных ситуаций природного, техногенного, военного и биологического характера (на примере республик Северного Кавказа): дис. на соиск. д-ра геогр. наук. – Нальчик, 2002. – 252 с.
7. Шагин С.И. Географические аспекты оценки природно-техногенной опасности территории Кабардино-Балкарской республики Нальчик: дис. на соиск. кан. геогр. наук (25.00.23). – Нальчик, 2005. – 223 с.

УДК 332.1

ПРОБЛЕМЫ ЭВОЛЮЦИИ ГОРОДА-МИЛЛИОНЕРА И ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ПРЕДПОЧТЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ Г. УФЫ)

Сафиуллин Р.Г., Сафиуллина Р.М., Ибрагимова З.Ф.

ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет», Уфа, e-mail: SafiullinRG@yandex.ru,
RMSafiullina@yandex.ru, ZilyaF2013@yandex.ru

Исследование территориальных особенностей развития городской территории в современный период представляет научно-практическое значение в связи с необходимостью определения территориальной стратегии устойчивого развития города с учетом мнения жителей. При разработке территориальной стратегии развития города необходимо применение экономико-географического научно-конструктивного подхода. Социологический опрос населения города является важной составляющей комплексного экономико-географического исследования города-миллионера, который позволяет установить степень включенности респондентов, активность населения в решении городских проблем, основные предпочтения в вопросе дальнейших перспектив развития города. В настоящее время происходит осознание того, как идеи развития городов могут сделать комфортнее и счастливее жизнь каждого жителя. Чтобы г. Уфа стала наиболее привлекательной для жизни, инвесторов, необходимо решать вопросы градостроительного развития городской среды с учетом мнения самих жителей города.

Ключевые слова: территориально-структурная трансформация, тренды, развитие, изменение, эволюция, джентрификация, субурбанизация, деиндустриализация, сегрегация

THE PROBLEM OF THE EVOLUTION OF THE CITY-MILLIONAIRE AND TERRITORIAL POPULATION PREFERENCE (FOR EXAMPLE UFA)

Safiullin R.G., Safiullina R.M., Ibragimova Z.F.

Bashkir State University, Ufa, e-mail: SafiullinRG@yandex.ru, RMSafiullina@yandex.ru,
ZilyaF2013@yandex.ru

A study of territorial development of the urban area in modern times to represent the scientific and practical significance in connection with the need to define the territorial sustainable development strategy taking into account the views of the city residents. In the formulation of the territorial development strategy of the city it is necessary to apply economic and geographical science and constructive approach. Sociological survey of the population of the city is an important component of the integrated economic-geographical studies of the city-millionaire, which allows you to set the degree of involvement of respondents participation in solving urban problems, basic preferences in the matter of the future prospects of the development of the city. Currently, there is awareness of how the idea of urban development can make a comfortable and happy life of every citizen. To g. UFA has become the most attractive for life, investors need to address issues of urban development of the City Wednesday, taking into account the views of the people of the city.

Keywords: clusters of structural transformation, trends, development, change, evolution, gentrification, suburbanization, de-industrialization, segregation

Городские агломерации в России в процессе стихийного и точечного территориального развития. В основе этого процесса экономическая выгода, так называемый агломерационный эффект – сокращение затрат вследствие объединения различных видов деятельности в одном месте. Однако эффект от этой выгоды имеет свой предел: растущие транспортные расходы на перевозку сырья, товаров и пассажиров должны оставаться выгодными при всех издержках и не вести к снижению качества среды. Эффективное территориальное развитие городских агломераций предполагает долгосрочное стратегическое планирование социальной, транспортной, экологической, инженерной инфраструктур с оптимизацией землепользования, определением новых территорий

для развития (размещения мест проживания, приложения труда и бизнеса). Фактически это означает создание в долгосрочной перспективе агломерационного сообщества как формы межмуниципальной кооперации с рационально организованной территорией в территориальной системе «город – пригород» и обеспечение эффективного совместного использования земель [1, 13].

Вопросам территориального развития Республики Башкортостан и г. Уфы посвящено много научных трудов, исследований [6–10, 13–14]. Последние двадцать лет Уфимская агломерация неконтролируемо территориально разрастается, необратимо поглощая окружающие сельские населенные пункты. Это сказывается на ухудшении экологической обстановки в городе, ведет

к удлинению пути маятниковой миграции, увеличению издержек на строительство новых сетей и инфраструктуры, а также затрат на содержание существующей инфраструктуры, усилению неравномерности в распределении налоговой базы по территории агломерации. В результате формируется значительное увеличение разрыва в доходах между муниципалитетами, расположенными на периферии и в центре – г. Уфе. Решение этих проблем возможно за счет создания новых центров притяжения на периферии Уфимской агломерации, перемещение потока инвестиций на новые территории, трансформация неравномерно используемых промышленных зон в черту города, фонда ветхого жилья, обустройство акватории р. Белая в черте города.

Города с позиции «новой экономической географии» рассматриваются как центры агломерирования, города как центры создания рабочих мест, города как драйверы экономического развития территории [2–5, 11–12, 15]. Города-миллионеры представляют собой масштабные территориально организованные системы, усложняющиеся и трансформирующиеся под воздействием внешних и внутренних процессов. В новых социально-экономических условиях территория города-миллионера реструктурируется, становится одним из важнейших инструментов его развития и повышения конкурентоспособности, привлечения человеческих и финансовых ресурсов, инвестиций и т.д. Происходит изменение конфигурации прежних элементов территориальной структуры города, проявляющееся в изменении их локализации, размерах и перепрофилировании, появление новых элементов. На фоне стремительного расширения городского пространства наблюдается одновременное «уплотнение» его центральных районов.

На современном этапе развития территориальная структура города-миллионера г. Уфы характеризуется существенными трансформациями. Так, в частности, в территориальной структуре г. Уфы происходит сокращение промышленных зон в центральной части города за счет перепрофилирования их в объекты культурного, делового и общественного назначения (ТРК «Мир» – бывшая швейная фабрика), а также переноса на периферию города или за его пределы.

Селитебные зоны центра и участков, расположенных вдоль основных автомагистралей, первые этажи центральных улиц, вытесняются объектами деловой активно-

сти (Пр. Октября, улицы Ленина, Энгельса, Цурюпы, Коммунистическая, Кирова, Чернышевского, Достоевского, Фрунзе).

Появление крупноформатных торгово-развлекательных комплексов, концентрирующих вокруг себя прочие объекты третичной сферы, способствует формированию новых локальных центров как городского, так и регионального значения. В г. Уфе насчитывается 6 торгово-развлекательных центров (ТРК) (арендно-пригородная площадь более 25 тыс. кв. м), это 13 место по количеству ТРК среди городов-миллионеров России. Интенсивность появления торгово-развлекательных центров отмечается в период с 2000 по 2006 гг.

Гипермаркеты в г. Уфе стали строиться с 2009 г.. Их концентрация (площадь не менее 2,5 тыс. кв. м. и наличие большой автостоянки) в основном вдоль трассы «Уфа-Аэропорт» и в центральной части города.

Гостиничные комплексы (трех и четырех звездные) расположены в основном в общественно-деловой части города. К проведению саммитов ШОС и БРИКС в 2015 г. в г. Уфе было построено восемь гостиниц.

Ключевыми процессами современной внутригородской динамики г. Уфы являются процессы *субурбанизации, джентрификации, дезиндустриализации, сегрегации*.

Процесс *субурбанизации* проявляется в росте пригородных зон и повышении экономической активности на периферии городской территории. Особенностью субурбанизации г. Уфы является развитие традиционной внешней субурбанизации, выражающейся в размещении примыкающих к центральной части города, территорий, занятых усадебной застройкой и коллективными садоводствами. На сегодняшний день, пригородная зона города в радиусе 40–60 км представляет собой территорию стихийных свалок, сброса нечистот в водоемы (реки, озера, пруды), что связано, во-первых, с быстрым развитием коллективного садоводства до 1998 г., во-вторых, с хаотичным коттеджным строительством в пригородной зоне с 2003 г. и продолжающегося до сих пор.

Процесс *джентрификации* отличается преимущественно точечным характером распространения и выражается в строительстве или реконструкции отдельных зданий в центральных городских кварталах.

Особое развитие получают процессы *дезиндустриализации* способствующие функциональной переориентации города и перестройке его территориальной структуры.

Процесс *деиндустриализации* выражается в ликвидации, переносе на периферию или перепрофилировании производственных предприятий, локализующихся преимущественно в центре города (швейная фабрика «Мир», завод УЗЭМИКС, завод БЭТО, Уфимская кондитерская фабрика). Происходит вытеснение промышленных предприятий предприятиями сферы услуг и общее их доминирование в территориальной структуре. Как пример можно отметить реализацию проекта планировки Лихачевского промузла, где наряду с реконструированными и успешно работающими в новых условиях производствами (заводы НУМИК, «Амстар», УМКК) отмечается появление новых несвойственных прежде функций – крупные торговые комплексы («Радуга», ТЦ «Парус», комплекс «Арена» и др.). Торговая функция развивается на площадке бывшего сортопрокатного завода. Постепенное изменение функциональной специфики города проявляется в территориальной реорганизации пространства (вытеснение агентами деловой активности индустриальных и селитебных и торговых зон из центральных районов города на периферию и т.д.).

Процессы *сегрегации* в городе имеют некоторые специфические особенности и темпы развития, выражающиеся, прежде всего, в разделении городского пространства на «престижные» и «наименее престижные» районы.

По результатам проведенного нами в 2009–2010 гг. социологического опроса (количество анкетированных составило 700 человек) половина респондентов – жителей г. Уфы вполне удовлетворены районами, в которых проживают, считая их комфортными и удобными: сумма ответов «однозначно да» и «скорее, да» на вопрос «Как Вы считае-

те, является ли Ваш район г. Уфы комфортным, удобным для проживания?» составила 50 % (рис. 1). Еще около трети опрошенных горожан занимают нейтральную позицию, отмечая как положительные стороны своего района, так и нерешенные проблемы (28%). Таким образом, общая удовлетворенность находится на уровне 78%, тогда как недовольство своим районом высказывают только 21 % респондентов г. Уфы.

В соответствии с данными опроса, чаще негативные ответы давались пожилыми респондентами, а также людьми с достатком выше среднего, предъявляющими высокие требования к условиям жизни. Молодежь 16–24 лет воспринимает свой район наиболее позитивно (71 % ответов «однозначно да» и «скорее, да»), тогда как в возрастной группе 25–34 лет высока доля отрицательных оценок.

Наибольшее недовольство территорией проживания выражают горожане из самых промышленных районов города – Калининского и Орджоникидзевогo.

К комфортным районам проживания, по мнению опрошенных, можно отнести Кировский (Зеленая Роща, Южный), Советский и Октябрьский – в них положительные оценки дали 67%, 60 % и 57% респондентов соответственно.

Одним из индикаторов, указывающих на положение дел в городском районе, является число жителей, желающих переехать в другую часть города. Высокий процент отрицательно ответивших на вопрос «Скажите, пожалуйста, Вы хотели бы переехать в другой район г. Уфы?» (в соответствии с данными массового опроса населения сумма ответов «определенно нет» и «скорее нет» составила 74 %) является хорошим показателем.



Рис. 1. Оценка жителями г. Уфы комфортности и удобства жизни в районе

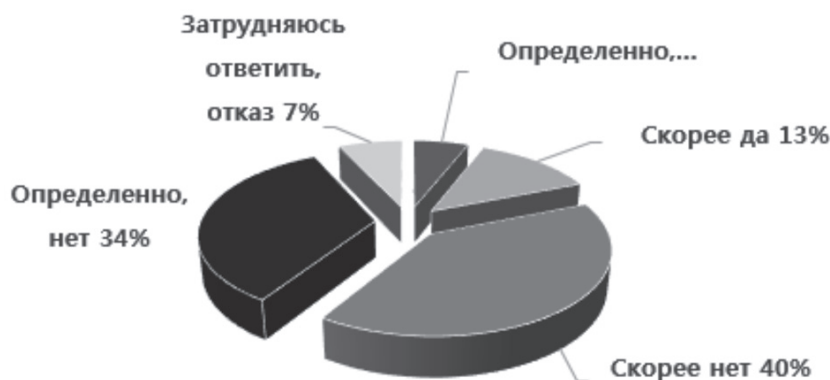


Рис. 2. Территориальные предпочтения населения г. Уфы по смене места жительства

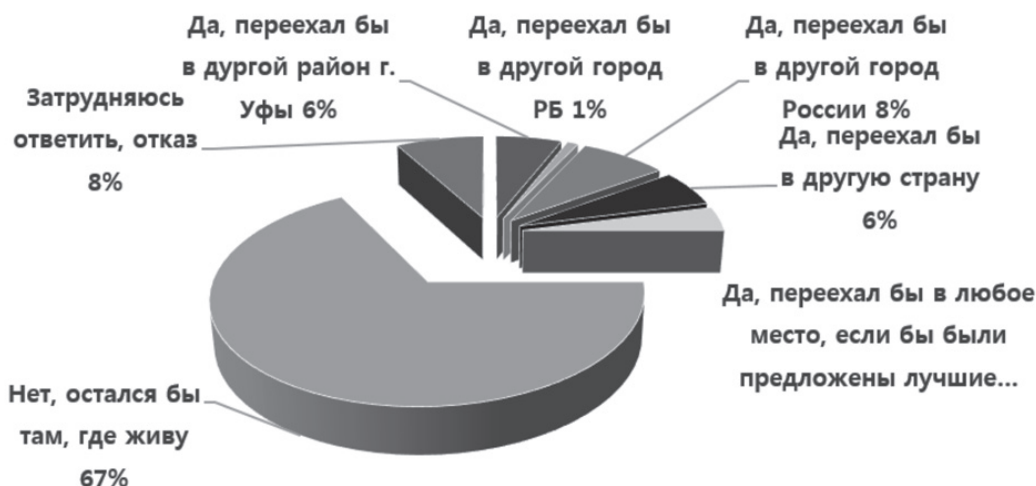


Рис. 3. Территориальные предпочтения населения г. Уфы к переезду с постоянного места жительства

Вполне предсказуемым является тот факт, что мобильность уменьшается с возрастом (31 % в возрастной группе 16–24 года против 12 % в возрастной группе 55+). Также менее предрасположены к переезду люди с низким уровнем образования.

Лидером по числу опрошенных людей, желающих сменить место проживания, является Орджоникидзевский район (35 %), демонстрирующий низкие показатели комфортности и удобства. Подобные настроения также характерны для жителей Калининского (24 %) и Демского (22 %) районов, где отдаленность района является негативным фактором. Наиболее патристичны жители Советского (95 % не желающих переезжать), Ленинского и Октябрьского (89 % и 84 % соответственно) районов.

Рейтинг привлекательности городских районов для жизни выглядит следующим образом. Большая часть респондентов, желающих переехать, хотели бы поселиться в Советском (40 %), Октябрьском (33 %) и Кировском (15 %) районах города.

Значительная часть населения Ленинского и Кировского районов хотели бы переехать в Октябрьский район – недалеко от нынешнего места жительства, но ближе к центру, в более развитую и благоустроенную часть г. Уфы. Также Октябрьский район стоит на первом месте в рейтинге жителей Калининского, Орджоникидзевского районов, желающих поселиться в более экологически чистом месте, вдали от заводов, но при этом не отдаляться от центра города.

По тем или иным причинам из г. Уфы готов был бы уехать каждый пятый опрошенный (25%). Предпочтительным местом для проживания желающие переехать называли другой город России (8%) или другую страну (6%), 67% участников массового опроса даже при наличии возможностей для переезда не воспользовались бы ими, еще 6% переехали бы только в другой административный район г. Уфы.

Наиболее мобильными оказались молодежь и люди среднего возраста, а также опрошенные с высшим образованием. Это является негативным фактором для дальнейшего устойчивого развития г. Уфы, поскольку данные категории респондентов представляют собой будущую основу экономически активного населения города.

Среди тех, кто предпочел бы остаться, преобладают опрошенные старше 45 лет, что является тревожным сигналом, поскольку отток из города молодежи, даже при условии большой численности патристично настроенных горожан, влечет за собой ряд социально-экономических и демографических проблем: старение населения, снижение удельного веса трудоспособного населения, падение рождаемости, рост заболеваемости и смертности населения, замедление роста среднедушевого дохода, все большая социализация бюджета города, рост численности трудовых мигрантов, нарастание этно-культурных и религиозных противоречий.

Таким образом, можно сделать следующие выводы. Большинство опрошенных жителей г. Уфы (74% участников опроса) удовлетворено районами, в которых проживают. К наиболее благополучным по уровню комфорта и удобства жизни по результатам опроса относятся Советский, Октябрьский и Кировский районы, в том числе историческая часть города, центр, районы комплексной застройки (Центр, Зеленая Роща, Проспект). Районы, обладающие средней престижностью, – Ленинский, Демский, в том числе Затон. Наименее престижные – Орджоникидзевский и Калининский районы, в том числе Инорс, Шакша.

Рассмотренные вопросы представляют научно-практическое значение в связи с необходимостью определения территориальной стратегии устойчивого развития г. Уфы. Определение стратегических приоритетов социо-этно-эколого-экономического развития г. Уфы принадлежит региональной элите республики с опорой на результаты исследований научного сообщества геоурбанистов. Окончательное решение следует принимать

с учетом мнений жителей по результатам публичных слушаний, в которых с использованием современных коммуникационных возможностей может участвовать каждый желающий житель города. Однако при разработке стратегии территориального развития г. Уфы не следует забывать за частными интересами жителей и представителей крупного, малого бизнеса о пространственном научном подходе к развитию городских поселений и агломераций [3–5, 14–15]. Город – это в первую очередь люди, которые его населяют, и в этой связи внутренний настрой жителей и их отношение к родным местам особенно важны для формирования позитивного имиджа г. Уфы на российском и мировом уровне. Определение внутреннего настроя респондентов позволяет вывить восприятие горожанами ситуации в своем районе, в целом в городе, оценить, насколько жители привязаны к родным местам и связывают ли они свое будущее с г. Уфой.

Список литературы

1. География населения и социальная география. Сборник «Вопросы географии». – М.: Издательский дом «Кодекс», 2013. – № 135. – 552 с.
2. Кирсанова Н.В. Эволюция территориальной структуры г. Ростова-на-Дону: факторы и тенденции постсоветского этапа [Текст]: автореф. дисс. Канд. географ. наук (25.00.24) экономическая, социальная, политическая и рекреационная география. – Санкт-Петербург, 2010. – 15 с.
3. Лаппо Г.М. Города России. Взгляд географа. – М.: Новый хронограф, 2012. – 504 с.
4. Новый взгляд на экономическую географию. Доклад о мировом развитии. – М.: Изд-во «Весь Мир», 2009. – 385 с.
5. Перчик Е.Н. Географическая мысль: история, проблемы, поиск решений. – М.: Мастер, 2013. – 428 с.
6. Сафиуллин Р.Г., Гатауллин Р.Ф., Комаров А.Г. Социально-экономическая эффективность миграционных процессов в регионе // Проблемы современной экономики. – 2014. – № 1 (49). – С. 193–196.
7. Сафиуллин Р.Г., Сафиуллина Р.М., Территориально-структурная оценка геодемографической ситуации Арктических территорий России. – Екатеринбург: УО РАН, 2015. – С. 349–35.
8. Сафиуллин Р.Г., Сафиуллина Р.М., Ибрагимова З.Ф. Территориально-структурная трансформация города-миллионера: теоретические подходы и методы // Региональные исследования. – 2015. – № 1 (47). – С. 18–23.
9. Сафиуллин Р.Г., Сафиуллина Р.М., Фаронова Ю.В. Геодемографическое развитие городов РБ: региональная диагностика // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 5–1. – С. 158–168.
10. Синенко С.Г. Неторопливые прогулки по Уфе. Городской путеводитель. – Уфа: Китап, 2010. – 376 с.
11. Теория социально-экономической географии: современное состояние и перспективы развития. – Ростов н/Д: Изд-во ЭФУ, 2010. – 476 с.
12. Теория социально-экономической географии: спектр современных взглядов. – Ростов н/Д: Изд-во ЭФУ, 2010. – 166 с.
13. Уфа: взгляд в будущее. Отчет о результатах рабочей сессии по разработке Стратегии развития города. – Уфа: Главархитектура, 2014. – 226 с.
14. Фаронова Ю.В. Городское планирование: экономико-географический подход (на примере Республики Башкортостан). География и регион: материалы междунар. науч.-практ. конф. (23–25 сентября 2015 г.): в 6 т. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2015. – Т. III: Социально-экономическая география. – С. 230–236.
15. Taylor P. Geography of Global Civil Society: Non-governmental Organizations in the World City Network // GaWC Research Bulletin. 2003. – № 119.

УДК 551.524.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СРЕДНЕГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА И КРЫМА

Хаупшева М.Х., Шугунов Т.Л., Шугунов Л.Ж.

ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова»,
Нальчик, e-mail: Haupshewa@yandex.ru

В работе приведены результаты исследования среднегодовой температуры воздуха по данным метеонаблюдений на Северном Кавказе и в Крыму. Сначала проводится предварительный статистический анализ рядов исходных данных. После этого проводится разложение временного ряда значений температуры на основные составляющие: детерминированную и случайную части. Для построения моделей температуры проводится поиск основных гармоник в областях максимумов спектра, удовлетворяющих критериям случайностей остатка ряда. Кроме того, проводится согласование регулярной части ряда с результатами метода классической декомпозиции и метода с использованием фильтра 4253H. В результате такого анализа построены модели динамики температуры в различных географических зонах Северного Кавказа и Крыма. После построения моделей проведен сравнительный анализ температурных режимов Северного Кавказа и Крыма.

Ключевые слова: временной ряд, классическая декомпозиция, прогнозирование, асимметрия, автокорреляционная функция

COMPARATIVE ANALYSIS OF AVERAGE ANNUAL TEMPERATURE OF THE NORTH CAUCASUS AND CRIMEA

Khaupsheva M.Kh., Shugunov T.L., Shugunov L.Zh.

Kabardino-Balkarsky State University of name Kh.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: Haupshewa@yandex.ru

In work results of a research of average annual air temperature according to meteorological observations are given in the North Caucasus and in the Crimea. At first the preliminary statistical analysis of ranks of basic data is carried out. After that it is carried out decomposition of a temporary number of values of temperature on the main components: determined and casual speak rapidly. For creation of models of temperature, search of the main harmonicas in areas of maxima of a range, meeting criteria of accidents of the rest of a row is carried out. Besides, coordination of a regular part of a row with results of a method of classical decomposition and a method, with use of the filter 4253H is carried out. As a result of such analysis, models of dynamics of temperature in various geographical zones of the North Caucasus and the Crimea are constructed. After creation of models, the comparative analysis of temperature conditions of the North Caucasus and the Crimea is carried out.

Keywords: time row, classical decomposition, forecasting, asymmetry, autocorrelated function

Исследованию изменений климата в настоящее время уделено много внимания. Наиболее часто говорят о его глобальном потеплении, хотя существует и противоположная точка зрения, утверждающая о возможном похолодании. Само существование двух противоположных мнений об изменении климата недвусмысленно говорит, что эта проблема далека от завершения и необходимы дальнейшие исследования этой сложной проблемы, используя различные методы. Необходимость исследования этой проблемы также отмечена МГЭИК, при этом использованы результаты региональных наблюдений за динамикой основных климатических характеристик — основных метеорологических параметров. В частности, проводятся исследования динамики температуры, количества осадков, влажности и других основных характеристик климата, используя данные многолетних наблюдений. Анализу временных рядов различной природы посвящено много работ [1–4]. В настоящей работе, используя данные метеорологических параметров за более чем

полувековой период наблюдений, проводятся исследования данных пунктов Северного Кавказа по данным наблюдений (Ставропольского края, КБР, КЧР, Дагестана) и Крыма, и их сравнительный анализ.

Сначала проведен предварительный статистический анализ данных. В табл. 1 приведены результаты такого анализа для среднегодовой температуры воздуха.

В таблице приведены данные среднегодовой температуры по Северному Кавказу по всем трем зонам: горной, предгорной и степной (равнинной) и данные по Крыму по станции Симферополь.

В четырех горных районах Северного Кавказа (Каменомост, Кисловодск, Теберда, Ахты с высотами над уровнем моря от 800 до более чем 1300 м средние годовые значения температуры за периоды наблюдений принимают от 6,71 до 9,39 градусов, минимальные и максимальные значения от 5,3 до 11,6, т.е. размах достигает 6,3 градуса. Максимальная асимметрия равна 0,68, а эксцесса, достигает – 1,47.

В двух предгорных районах Северного Кавказа (г. Нальчик (500 н.у.м., г. Ставрополь (540 н.у.м.) средние годовые значения температуры за периоды наблюдений принимают соответственно 9,52 до 9,51 градуса, минимальные и максимальные значения от 7,6 до 11,6, т.е. размах достигает 4 градуса, а Ставрополя соответственно от 7,4 до 11,7 – размах 4,3 градуса. Асимметрия отрицательна и равна – 0,022, а Ставрополя 0,007, а эксцесса (Нальчик) достигает – 0,733, а Ставрополя – 0,284.

Аналогично ведут себя и данные по степным зонам КБР и Ставрополя (по пунктам г. Прохладный (200 м н.у.м.) и Арзгир (200 м н.у.м.)) Средние значения (Прохладный) – 10,4, Арзгир – 10,6, минимальные – 8,52 и 8,4 – максимальные – 12 и 12,4 соответственно.

По данным Симферополя среднее значение выше остальных пунктов и равно 10,9, минимальное – 8,74, а максимальное равно 13,1, асимметрия отрицательна и равна – 0,32, эксцесс положителен и равен 0,26.

Во всех пунктах наблюдается некоторое повышение среднегодовой температуры за последние десятилетия, по сравнению с климатическими нормами.

Из последнего столбца таблицы следует, что в пунктах Каменомост, Кисловодск и Арзгир наблюдаемая тенденция роста температуры может быть объяснена случайностью изменений рядов, так как значения критерия Крамера – Уэлча меньше критического, т.е. $|\text{sig}| < 1,96$, в остальных пунктах тенденция роста температуры значима на уровне $p = 0,05$.

Сравнение среднегодовых значений температуры Северо-Кавказских регионов с данными Крыма показывает, что наиболее близкие значения наблюдаются с данными Ставропольского края (г. Арзгир) и КБР (г. Прохладный). Наименьшие и наибольшие

вариации среднегодовой температуры на Северном Кавказе приходится на пункты наблюдений: г. Нальчик (1,92) и г. Кисловодск (4,4).

Во всех горных пунктах наблюдается некоторое повышение среднегодовой температуры за последние десятилетия по сравнению с климатическими нормами. Так, например, в пункте г. Теберда наблюдается повышение температуры на 0,57 градуса, а в пункте г. Ахты – на 0,45 градуса.

Аналогичные исследования проведены в предгорной и степной зонах. Из результатов, приведенных в таблице, видно, что в предгорной зоне наблюдается некоторое повышение среднегодовой температуры за последние десятилетия по сравнению с климатическими нормами. Так, например, в пункте г. Нальчик наблюдается повышение температуры на 0,89 градуса, а в пункте г. Ставрополь – на 0,55 градуса.

В степной зоне также наблюдается повышение среднегодовой температуры за последние десятилетия по сравнению с климатическими нормами. В частности, в пункте г. Прохладный наблюдается повышение на 0,7 градуса, а в пункте г. Арзгир – на 0,01 градуса.

Такие же исследования проведены по данным Крыма. Повышение среднегодовой температуры за последние десятилетия по сравнению с климатическими нормами (г. Симферополь) наблюдается на 0,48 градуса.

Сравнивая приведенные в таблице значения в предгорной и степной зонах КБР (Нальчик, Прохладный) с данными Симферополя видим, что температура в указанных зонах меняется от 7,6 до 12 градусов, дисперсия изменяется от 0,577 до 0,946, асимметрия от – 0,022 до 0,68, эксцесс от – 0,733 до 1,47, в Симферополе от 8,74 до 13,1, дисперсия – 0,77, асимметрия – 0,32, эксцесс 0,26. Видно, что данные Симферополя по значениям температуры выше, чем в указанных зонах КБР.

Таблица 1

Описательная статистика среднегодовой температуры воздуха

Пункты	N	Ср.	Мин	Макс	Дисп	Вар	Асим	Эксц	Кр-У
Каменомост	55	7,55	6,100	9,300	0,577	3,2	0,256	– 0,374	– 1,5
Нальчик	68	9,52	7,600	11,60	0,946	1,92	– 0,022	– 0,733	– 4,2
Прохладный	55	10,4	8,516	12,00	0,797	3,48	– 0,167	– 0,860	– 3,5
Кисловодск	51	7,97	6,200	10,60	0,703	4,4	0,534	1,163	– 1,3
Ставрополь	51	9,51	7,40	11,70	0,93	4,3	0,007	– 0,284	– 2,1
Арзгир	45	10,6	8,400	12,40	0,918	4,0	– 0,177	– 0,93	– 0,2
Ахты	51	9,39	7,700	11,60	0,611	3,9	0,267	0,58	– 2,6
Теберда	51	6,71	5,30	9,30	0,59	4,0	0,68	1,47	– 3,3
Симферополь	67	10,9	8,74	13,1	0,77	4,36	– 0,32	0,26	– 2,9

Сравнение значений в предгорной и степной зонах Ставропольского края (Ставрополь, Арзгир) с данными Симферополя показывает, что температура в указанных зонах Ставропольского края меняется от 7,4 до 12,4 градуса, дисперсия изменяется от 0,918 до 0,93, асимметрия от $-0,177$ до $-0,007$, эксцесс от $-0,284$ до $-0,93$. Отсюда следует, что данные Симферополя по температуре выше, чем в указанных зонах Ставропольского края. Асимметрии отрицательны и практически одинаковы, эксцесс отрицательный и по абсолютной величине значительно больше в Арзгире.

Сравнение значений в горной зоне Дагестана (Ахты, Прикаспийская зона) с данными Симферополя (Причерноморская зона) показывает, что температура в указанной зоне Дагестана меняется от 7,7 до 11,6 градуса, дисперсия 0,611, асимметрия 0,267, эксцесс 0,58. Отсюда видно, что данные Симферополя выше по сравнению с данными Ахты, асимметрия положительна, эксцесс положительный и более чем в два раза превышает значение в Симферополе.

Сравнение значений в горной зоне КЧР (Теберда) с данными Симферополя показывает, что температура в Теберда меняется от 5,3 до 9,3 градуса, дисперсия 0,59, асимметрия положительна и равна 0,68, эксцесс 1,47. Таким образом, данные Симферополя по температуре выше, чем значения в г. Теберда, асимметрия и эксцесс положительные и значительно превышают соответствующие значения в Симферополе.

Таким образом, по данным наблюдений рассмотренных в работе по Северному Кавказу среднегодовая температура максимальна в Ставропольском крае

(г. Арзгир – 10,6) и минимальна в Теберда (КЧР – 6,71), а в Крыму – 10,9.

Для сравнения данных наблюдений также приведены графики рассмотренных временных рядов значений температуры. На рис. 1 приведены сравнительные графики данных среднегодовой температуры отдельно по всем зонам и по Крыму.

Из графиков видно, что кривые хорошо коррелируют с высоким коэффициентом корреляции, достигая значения, равного 0,87.

На рис. 1 приведены фактические значения температуры в этих пунктах, из которых видно, что они хорошо коррелируют.

Нетрудно заметить, что кривые, изменяются синхронно, повторяя минимальные и максимальные значения в определенные периоды.

Также можно заметить, что начиная с 1990-х гг. наблюдается заметное повышение в среднем температуры воздуха. Более детальный анализ этого явления проведен с использованием критерия Крамера – Уэлча.

Проведенный выше анализ носит предварительный статистический характер и дает осредненные грубые характеристики. Поэтому, наряду с описательным, проведено более подробное сравнение особенностей изменения температуры, в этих пунктах, предварительно исключив влияние неконтролируемых случайных факторов.

Представляя ряд в виде суммы состоящей из регулярной и случайной части, по предложенной в работе [5] методике, построены модели временных рядов температуры в исследованных пунктах. Проведено разложение рядов на регулярную и случайную части, выделены скрытые периоды и построены модели.

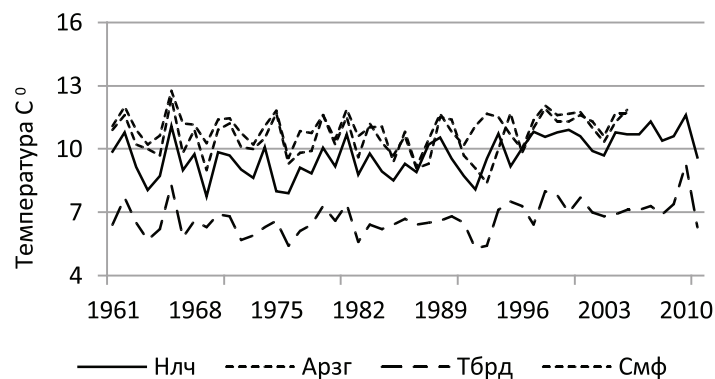


Рис. 1. Графики температур

Следуя этой методике, для построения модели динамики температуры, детерминированную часть можно разложить на периодическую часть и полином невысокой степени, т.е. ряд можно описать полигармоническим процессом вида

$$Y(t) = m + k * t + \sum_i^q a_i \cos(\omega_i t) + b_i \sin(\omega_i t) + \varepsilon(t),$$

где $\varepsilon(t)$ – случайная часть с нулевым математическим ожиданием.

Используя преобразование Фурье, проводится анализ и выделение периодической составляющей.

Важнейшим этапом такого анализа-исследования является выделение скрытых периодичностей с использованием спектрального анализа, результаты которых приведены на следующих рисунках. Сравнение периодограмм в различных пунктах показывает, что по ним сложно провести сравнительный анализ. Поэтому приведены спектры, построенные сглаживанием периодограмм с помощью спектрального окна Хемминга.

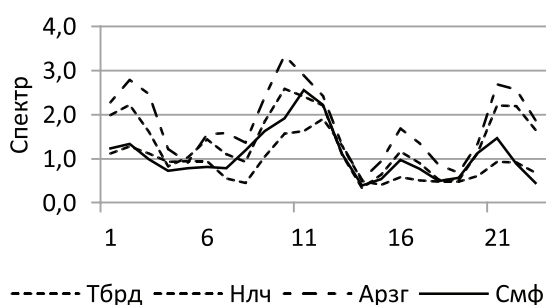


Рис. 2. Спектры температуры

Из рис. 2 видно, что спектры среднегодовой температуры в различных зонах Се-

верного Кавказа (горной (Теберда, сплошная), предгорной (Нальчик, пунктирная), степной (Арзгир, точечная) и Симферополя (штрих-пунктирная) практически идентичны. В них содержатся пять наиболее ярко выраженных областей максимума, которые практически совпадают. В этих областях проводится поиск наиболее значимых (основных) гармоник, с использованием различных критериев случайностей ряда.

При построении моделей поиск основных гармоник проводится в областях максимумов спектров, используя известные критерии случайностей остатка ряда, в частности критерий Дарбина – Уотсона, АКФ, числа поворотных точек (чпт) и другие.

На рис. 3 приведены некоторые результаты такого анализа. В частности одним из основных требований к остатку ряда является отсутствие регулярной части (тренда) в остатке, которое определяется по АКФ остатка ряда. В качестве примера на рис. 3 приведены АКФ остатков рядов для данных г. Теберда и г. Симферополя.

Из графиков АКФ видно, что они удовлетворяют условию случайности на уровне значимости $p = 0,05$. Аналогично проверяется случайность остатка ряда по вышеперечисленным критериям.

Кроме того регулярная часть сравнивается с известными хорошо зарекомендовавшими себя методами классической декомпозиции и сглаживания ряда с использованием фильтра 4253Н. Исследование многочисленных рядов предлагаемым методом показывает, что такой комплексный анализ случайной и регулярной частей ряда дает более надежные результаты, больше того, неучет анализа регулярной части может привести, и приводит, к ошибочным результатам.

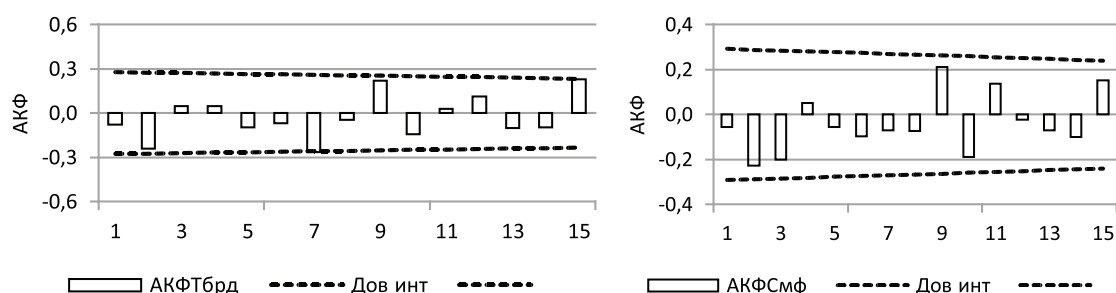


Рис. 3. АКФ остатков рядов температуры

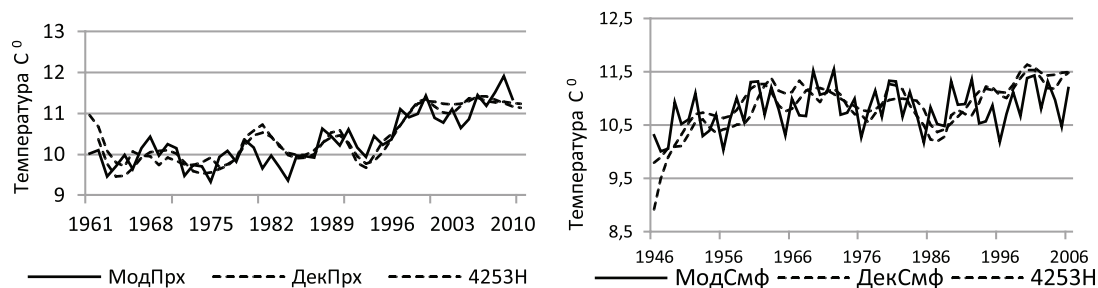


Рис. 4. Модельные, классической декомпозиции и фильтра 4253H, значения температуры

Таблица 2

Основные параметры моделей

Пункты	Периоды	Св.чл.	Угол нак	Крам-У	Стьюд
Каменомост	8,5, 4,6	7,18	0,012	15,67	0,000000
Нальчик	50, 10, 3	8,86	0,027	26,64	0,000000
Прохладный	50, 10, 3	9,6	0,026	34,30	0,000000
Кисловодск	9, 4,1	7,87	0,0038	13,84	0,000047
Ставрополь	50, 10, 3,8	8,84	0,016	19,23	0,000000
Арзгир	44, 4, 3	10,08	0,012	10,51	0,000003
Ахты	10, 5, 3	9,031	0,014	18,67	0,000000
Теберда	10, 5, 3	6,2	0,019	17,12	0,000000
Симферополь	44, 4,4, 2,9	10,35	0,015	6,501	0,007000

На рис. 4 приведены результаты такого анализа.

Из данных рисунка видно, что результаты, полученные по моделям, хорошо согласуются с фактическими. Это дает основание утверждать, что построенные модели адекватно отражают реальные данные и могут быть использованы для сравнительного анализа данных исследуемых территорий. Видно, что методы декомпозиции и фильтра слишком сглаживают, а модельные более точно описывают реальные значения ряда.

В табл. 2 приведены в сравнении параметры моделей среднегодовой температуры и их основные характеристики по данным Северного Кавказа и Крыма.

Из данных таблицы следует, что основными гармониками являются: низкие (1–2), средние (5–6) и высокие (15–17). Более стабильно встречаются периоды 9–10, 5 лет и 3 года, видимо они ближе к какому-то общему механизму, например к циклам солнечной активности. Незначительные колебания из-за небольших различий длин рядов, которые с их увеличением будут уточняться. Следует также отметить, что низкие

гармоники более чувствительны к длине ряда.

Из угловых коэффициентов линейного тренда следует, что наблюдается тенденция роста соответствующая росту температуры около 1–2 градуса на сто лет. Немного выше угловой коэффициент в пунктах (г. Нальчик и г. Прохладный), и наименьшее значение наблюдается в г. Арзгире. Далее проведено исследование статистической значимости наблюдаемых тенденций роста температуры в современный период по сравнению с климатической нормой (1961–1990 гг.).

Из табл. 2 видно, что с большой вероятностью, и по критерию Крамера – Уэлча ($\text{sig} = I \gg 1,96$), и по Т-тесту Стьюдента ($\text{sig} = I \ll 0,05$), тенденция роста температуры в современный и прогнозируемый период, значима на уровне $p = 0,05$ для всех приведенных пунктов наблюдения Северного Кавказа и Крыма.

На рис. 5 в качестве примера, приведены в сравнении прогнозные значения до 2040 г. по данным Симферополя (справа) и пункта Северного Кавказа (г. Теберда) (слева).

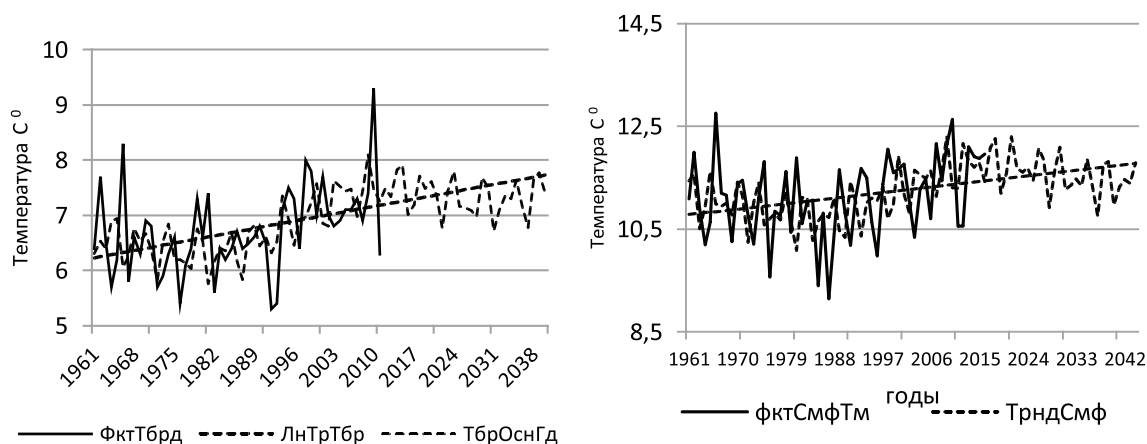


Рис. 5. Фактические и прогнозные значения температур воздуха

Из графиков рисунка видно, что модельные и фактические значения достаточно хорошо согласуются в годы наблюдений, что свидетельствует об адекватности построенных моделей.

Прогнозные значения изменяются в соответствии с построенными моделями, которые свидетельствуют о тенденции роста температуры, совершая циклические колебания. Ожидаемые значения температуры выше тренда в первые 20 лет прогноза, затем наступает некоторое похолодание, и температура идет ниже тренда.

Закключение

Таким образом, проведенный анализ среднегодовой температуры по данным пунктов наблюдения Северного Кавказа и Крыма показал, что динамика температуры носит достаточно сложный колебательный характер. В связи с этим были использованы современные методы анализа временных рядов, которые позволили провести достаточно полный их анализ. Построенные модели подтверждают фактически наблю-

даемую тенденцию роста среднегодовой температуры в годы прогноза, на уровне значимости $p = 0,05$, по критериям Крамера – Уэлча и Стьюдента.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием основных критериев случайностей ряда, а также согласованием полученных результатов с широко используемыми методами сглаживания рядов.

Список литературы

1. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование. – М., Финансы и статистика, Инфра-М, 2010. – 320 с.
2. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде WINDOWS. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 382 с.
3. Курышева С.В., Парик И.Ю., Боченина М.В. Анализ временных рядов и прогнозирование. Учебное пособие. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2014. – 98 с.
4. Чураков Е.П. Прогнозирование эконометрических временных рядов. Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2008. – 208 с.
5. Шугунов Т.Л., Шугунов Л.Ж., Калов Х.М. Результаты прогнозирования временных рядов значений метеорологических параметров // Доклады Адыгской (Черкесской) Международной академии наук. – 2010. – Т. 12, № 2. – С. 123–127.

УДК 914/919: 504.05

**РАЗВИТИЕ ГОРОДОВ ПРОВИНЦИИ КУАНГ БИНЬ
(ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ВЬЕТНАМ)****Хоанг Тхи Зиеу Хыонг, Денмухаметов Р.Р.***Казанский федеральный университет, Казань, e-mail: hoanghuong.udn@gmail.com,
denmukh@mail.ru*

В статье авторами рассмотрен процесс развития городов в провинции Куанг Бинь (Центральный Вьетнам). Изучены городские поселения провинции. Охарактеризована специализация городов. В статье приведены результаты анализа возникновения городских центров в экономических субрегионах провинции. Наибольшая площадь сформировавшихся городских ландшафтов и самая высокая численность городских жителей характерна для Центрального субрегиона со столицей провинции Куанг Бинь городом Донг Хой. Выявлена положительная динамика численности городов. Несмотря на рост городов, в целом численность их сравнительно невелика. Составлена карта городов провинции Куанг Бинь (Центральный Вьетнам). Рассматриваются аспекты воздействия городов на окружающую среду. Основные геоэкологические проблемы – преобразование естественных ландшафтов, загрязнение атмосферного воздуха, складирование отходов производства и потребления.

Ключевые слова: провинция Куанг Бинь, город, городские системы, городской ландшафт, урбанизация**DEVELOPMENT OF CITIES OF PROVINCE QUANG BINH (CENTRAL VIETNAM)****Hoang Thi Dieu Huong, Denmykhametov R.R.***Kazan Federal University, Kazan, e-mail: hoanghuong.udn@gmail.com, denmukh@mail.ru*

The purpose of this study is investigating the growth process of cities of province Quang Binh (Central Vietnam). Investigate types of urban territories, which are specific for cities. Performing analysis of forming urban center of the economical sub region of the province. The largest cities with highest population of urban residents is found in central sub region, near the Quang Binh province capital Dong Hoi. A positive dynamics of town numbers has been observed. Though the towns number is growing, it is not that large. Creating the map of province Quang Binh (Central Vietnam). We investigating aspects of which effect towns can have on the surrounding environment. The main geoecological problem is shrinking of natural landscape, air pollution, accumulation of industrial consumption and waste.

Keywords: Quang Binh province, city, urban systems, urban landscapes, urbanization

Процесс роста городов во Вьетнаме в целом, и в особенности в провинции Куанг Бинь является динамичным. Города интенсивно развиваются, сохраняя при этом историко-культурные обычаи, традиции местного населения. При этом они все больше воздействуют на окружающую среду, меняя окружающие ландшафты и воздействуя на самого человека. Изучение развития городов в современный период времени является важным и актуальным для провинции Куанг Бинь.

Материалы и методы исследования

Изучение динамики городов основывалось на историко-географическом анализе опубликованных сведений по городским поселениям, обработке официальных статистических данных. Также использовался картографический метод анализа и представления результатов с использованием программы ArcGis. Проведено визуальное дешифрирование размещенных в свободном доступе в сети Интернет аэрокосмических снимков на территории городов с помощью программы Google Planet.

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Развитие городов в провинции Куанг Бинь неразрывно связано с изменениями,

происходящими в целом во Вьетнаме. Можно выделить несколько временных периодов становления городских поселений:

I период до 1945 года. Провинция Куанг Бинь находится в центре Вьетнама, где сосредоточены такие культуры, как Донг Шон и Ша Хуин, Дай Виет и Чампа. Городские поселения начали формироваться в направлении центров политического и административного развития территории. По своей структуре они являлись производными процесса урбанизации французского колониального периода, занимали небольшую площадь и представляли собой небольшие укрепленные города-крепости (рис. 1).

II период. Охватывает период времени с 1945 по 1975 г. Наблюдается процесс роста городов, увеличение численности городского населения. При этом города оставались по-прежнему сравнительно небольшими по своим масштабам, отличались бессистемной застройкой. Административное регулирование и военно-политическая обстановка являлись препятствием для развития и расширения урбанизационных процессов. После Женевского соглашения

в 1954 г. Вьетнам был временно разделен на две области по 17-й параллели – Южный и Северный Вьетнам. Расположенная между севером и югом провинция Куанг Бинь пострадала от бомбардировок, зарождающиеся города в значительной степени были разрушены [5].

III период. Урбанизация в провинции Куанг Бинь в 1975–1989 гг. В послевоенное время городские поселения включали жилую одноэтажную застройку, с большими площадями зеленых насаждений. Сравнительно небольшую площадь занимали мелкие обрабатывающие и ремесленные предприятия.

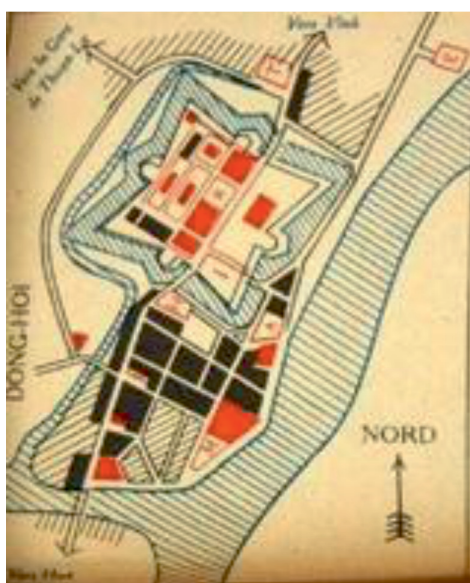


Рис. 1. Карта города Донг Хой. 1931 г. (фото из архива) [7]

Окончание войны способствовало образованию двух уездных городских центра – Хоан Лао (1986) в районе Бо Трар и Киен Жанг (1986) в районе Ле Тхуи [5]. В состав провинции Куанг Бинь в этот период входило шесть городов, включая центр провинции – город Донг Хой и пять уездных центров: города Ба Дон, Ле Нинь, Вьет-Тчунг, Хоан Лао и Киен Жанг. Городские центры оказывали огромное влияние на социально-экономическое развитие, являлись драйверами экономического роста провинции.

IV период. Современный период. Переход на инновационный путь развития экономики Вьетнама открыл новый период в развитии городских поселений. Диверсификация экономики способствовала привлечению жителей сельскохозяйственных

районов в города. Увеличивается площадь городских территорий. Появляется многоэтажная застройка и крупные промышленные предприятия. Выделяются основные функциональные зоны – жилая застройка, промышленные объекты, коммунальное и бытовое хозяйство.

В период с 1989 г. по настоящее время город Донг Хой взял на себя роль главного административного центра. Его население увеличилось с 1989 г. на 35 %.

С начала XXI-го века в г. Донг Хой активно реализуется городское обустройство – расширяется и модернизируется техническая инфраструктура, постепенно решаются существующие проблемы обеспечения качественным жильем, транспортными коммуникациями, улучшения коммунального-складского хозяйства.

В этот период за городом Донг Хой окончательно закрепляется статус городского муниципального центра провинции Куанг Бинь, в составе 10 отделений и 6 коммун. Общая площадь города достигла 156 км², население – 116 903 человек (таблица) [3; 9].

В процесс роста городских центров вовлекались окружающие их поселения, так, например, возник город-спутник Куан Хау (1999) в районе Куанг Нинь. Новые уездные центры – города Ба Дон, Ле Нинь, Вьет-Тчунг, Кьензянг, Хоан Лао становятся центрами экономического развития провинции.

Население городов растет быстрыми темпами. Так, во втором по величине городе провинции Ба Дон население выросло по сравнению с 1989 г. более чем в 2 раза, а за последние 15 лет почти на 20 % (табл. 1). Урбанизация проходит не только в местах с благоприятными экономическими условиями, но и в географически отдаленных от побережья горных районах на западе провинции – Туиен Хоа (г. Донг Ле) и Минь Хоа (г. Куи Дат) (рис. 2) [10; 11].

Города создают условия для развития интегрированного, многоотраслевого, мультифункционального хозяйства, включающего промышленность, сервис и туризм, переработку продукции сельского и лесного хозяйства, рыболовства.

Города в восточной части провинции являются крупными транспортно-логистическими центрами. Внешние торгово-экономические и культурные связи с Лаосом и Таиландом осуществляются через международный пограничный терминал Сха Ло и морской порт Хон Ла (рис. 2).

Динамика численности жителей городов 2000–2015 гг. [8; 9; 12]

№ п/п	Город	Площадь (км ²)	Количество жителей			
			2000 г.	2005 г.	2010 г.	2015 г.
1	Донг Хой	156	94828	105773	111862	116903
2	Ба Дон	162	87291	98762	102736	105700
3	Хоан Лао	5,42	8714	8674	10073	10950
4	Киен Жанг	3,14	5960	6039	6435	7215
5	Вьет Чунг	86,04	8514	8736	9207	11000
6	Ленинь	11,36	3625	3741	4027	4892
7	Донг Ле	10,72	7016	7398	8279	9852
8	Куан Хау	3,257	3914	4100	4257	6308
9	Куи Дат	7,60	9354	10724	15716	19738

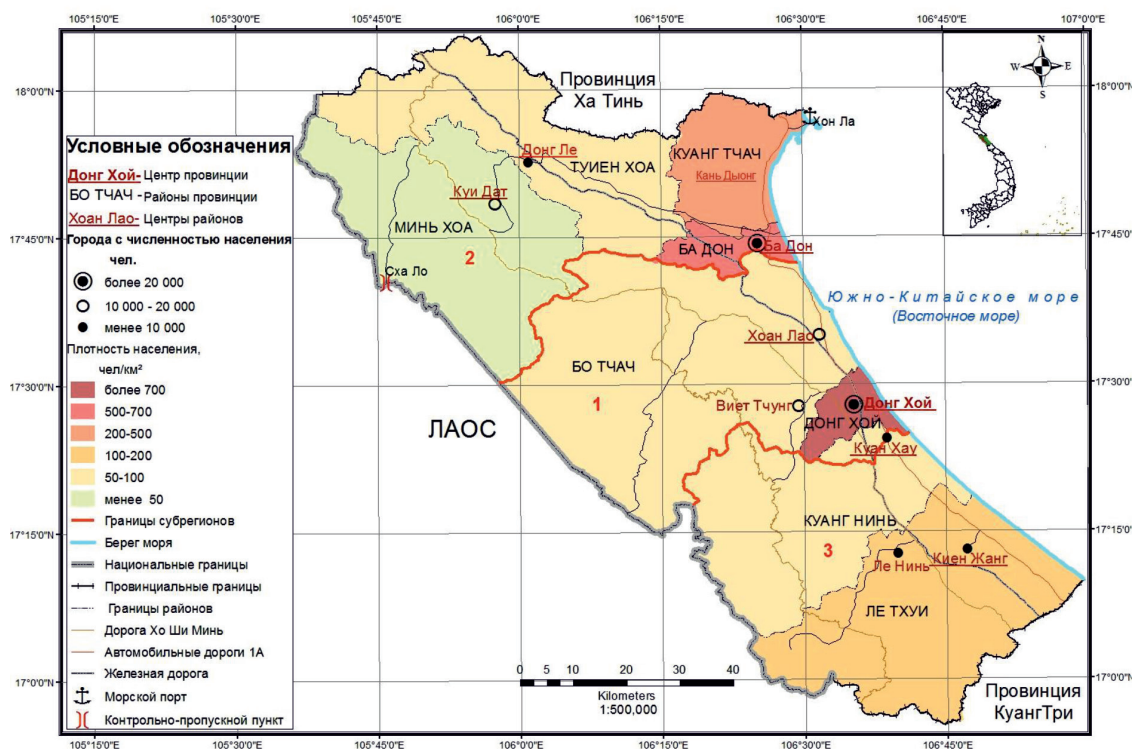


Рис. 2. Карта городов провинции Куанг Бинь (2016 г.)

В провинции Куанг Бинь выделяются три крупных субрегиона, отличающихся уровнем экономического развития:

1. Центральный субрегион. Это наиболее экономически развитый регион с городами Донг Хой, Куан Хау, Вьет Чунг, районами Бо Тчач и Северная Куанг Нинь. Площадь составляет 234 000 га. Здесь проживает 304 459 человек, из них 145 161 чел. – жители городов, что составляет 47,8 % насе-

ления субрегиона [3; 12]. Плотность населения высокая – 130,1 чел/км².

Центральный субрегион отличается наиболее благоприятными условиями для развития городов. Здесь находится административный центр провинции, благоприятные природные условия широкой прибрежной равнины, проходят основные транспортные коммуникации, в том числе главная автомагистраль Вьетнама – дорога «Хо Ши Мин».

Экономика представлена мультипромышленным производством, также получили развитие бизнес-услуги, туризм. В городах много исторических памятников и достопримечательностей, многие из которых являются объектами культурного наследия и привлекательны для внутреннего туризма и зарубежных посетителей [4; 6].

Ежегодно в г. Донг Хой проводятся национальные культурные и культурно-спортивные мероприятия регионального уровня, такие как фестиваль «Тон – Город роз», женский турнир по пляжному волейболу, национальный кулинарный фестиваль, «Карнавал хлопка»; традиционный фестиваль «Трудолюбивого пирата», спортивный фестиваль гребли на традиционной лодке, «Ночь искусства».

2. Северный субрегион состоит из районов Куанг Трач, Туиен Хоа, Минь Хоа. Площадь – 317800 га. Население – 334 435 человек, из них 135 290 чел. – жители городов, что составляет 40,5 % населения субрегиона [3; 12]. Плотность населения 105,2 чел/км². Городские центры представляют собой два кластера – свободная экономическая зона морского порта Хон Ла и самого крупного уездного города Ба Дон. Первый кластер является транспортно-логистическим, второй включает промышленность строительных материалов, перерабатывающую промышленность, торговлю.

3. Южный субрегион – территория южной части провинции с сельскохозяйственной специализацией. Представлен районами Ле Тхуи и Куанг Нинь. Площадь – 254 700 га, население – 219 030 человек, из них 12 170 чел. – жители городов (5,6 % населения субрегиона) [3; 12].

Плотность населения сравнительно невысокая – 86 чел/км². Уездный городской центр Кьензянг является центром субрегиона. Неблагоприятными условиями являются удаленность от основных транспортных магистралей, сложный гористый рельеф с карстовыми ландшафтами. Точками роста для городов являются энергетический потенциал территории, переработка сельскохозяйственной продукции, производство лесоматериалов, различные виды туризма: культурный, исторический, религиозный, а также курортный и экологический туризм.

Проведено визуальное дешифрирование космических снимков среднего масштаба. Городские поселения на снимках 2013–2016 гг. съемки достаточно легко распознаются по прямым дешифровочным признакам – правильным геометрическим очертаниям жилых массивов, наличию

промышленных зон, сети автодорог, разделяющих квартальную, полуквартальную застройки и бессистемную застройку на периферии.

Анализ разновременных снимков с 1984 г. показал, что городские поселения в последние десятилетия развивались преимущественно вширь, захватывая периферию, пригородные территории.

Во всех городских центрах в той или иной мере реализуются программы территориального планирования, которые учитывают ландшафтный каркас территории, тесное взаимодействие всех отраслей хозяйства, принимающих участие в землепользовании и организации территории [4]. Так, в крупных городах выделяются новые центральные районы с элементами территориальной планировки (Донг Хой). Здесь же сформировалась многоэтажная застройка. Однако большая часть городских поселений все же представлена малоэтажными зданиями и сооружениями.

Непосредственно к городам примыкают сельскохозяйственные ландшафты и транспортная инфраструктура. Пахотные угодья, рисовые поля выделяются геометрически правильными очертаниями, в виде прямоугольников с тональностью, соответствующей разным культурам, определенным фазам вегетационного развития, разной степени увлажнения полей.

Следует отметить, что города возникли на месте ранее существовавших естественных ландшафтов муссонных переменновлажных тропических лесов. Интенсивное развитие городов вызвало значительное изменение окружающей среды. Вырубка тропических лесов, антропогенное переформирование геоморфологических условий, изменение русел рек, строительство зданий и сооружений, садово-парковых зон привели к формированию новых ландшафтов, ландшафтов городского типа с комплексом геоэкологических проблем.

Так, современная дорожно-транспортная сеть городов не справляется с большим количеством автомобилей, плотная жилищная застройка и другие факторы приводят к концентрации в воздушной среде CO₂, SO₂, NO и соединений, содержащих пыль, дым, свинец.

Промышленные предприятия в городах также загрязняют атмосферный воздух. Общие выбросы загрязняющих компонентов от промышленных зон в провинции Куанг Бинь увеличились с 2010 по 2015 г. в 3–4 раза и составили более 5800 т/год [7].

К 2015 г. общее количество твердых бытовых отходов в городах увеличилось с 24,2 т/сут (2010 г.) до 31 т/сут (2015 г.). В то же время темпы сбора мусора остаются на низком уровне. Так, в городе Донг Хой только 70% твердых бытовых отходов оперативно подвергаются сбору и утилизации [3].

Многие прибрежные деревни в Куанг Бинь сталкиваются с загрязнением окружающей среды, вызванным поступлением городских сточных вод от установок по переработке морепродуктов. Аварийные сбросы являются причиной снижения видового разнообразия и вымирания морских обитателей. Массовая гибель рыбы в Центральном субрегионе приводит к большим финансовым потерям для рыбаков и к возникновению экологических и социальных проблем.

Заключение

Таким образом, города провинции Куанг Бинь начали формироваться в начале XX века. В настоящее время наблюдается значительный рост городов провинции Куанг Бинь. Отмечается улучшение социальных условий и повышение уровня жизни городского населения провинции.

Однако урбанизация в Куанг Бинь сопровождается слаборазвитой транспортной и социальной инфраструктурой и не достаточно эффективным городским управлением. Стиль и образ жизни городской цивилизации в жилищном секторе еще не достигли высокого уровня.

В период резкого усиления антропогенных воздействий устойчивость городских систем приобрела особый смысл. С одной стороны, наблюдается рост площади благоустроенных территорий, мест расселения, но, с другой стороны, увеличивается поступление в природную среду загрязняющих веществ.

Загрязняется атмосферный воздух, не решена проблема складирования и переработки твердых бытовых отходов, загрязнения сточными водами рек и прибрежных морских акваторий.

Возникла проблема устойчивого сбалансированного развития городов в усло-

виях усиливающихся антропогенных воздействий.

В городах сохраняются национальные традиции, культурные обычаи, проводятся массовые культурные и культурно-спортивные мероприятия. Сочетание традиционных форм жизненного уклада с современным развитием общества и производства, при сохранении уникальной культуры местных жителей, позволяет надеяться на поступательное созидательное развитие городских территорий провинции Куанг Бинь.

Список литературы

1. Рассохина Т.В. Городской ландшафт как часть ландшафтной сферы земли [Текст] / Т.В. Рассохина // Изд. Вестник ТГУ, т. 4. – 1999. – № 3. – С. 368–370.
2. Files on the proposal to establish the city of Dong Hoi, province Quang Binh [Текст]: File People's Committee province Quang Binh grade 7/2004. // People's Committee province Quang Binh. – 2004. – С. 7.
3. Report current state of development socio-economic province Quang Binh phase 2011 – 2015 [Текст]: File Department of Natural Resources and Environment of province Quang Binh grade 1/2016. // Department of Natural Resources and Environment of province Quang Binh, 2016. – С. 5–18.
4. Luong Duy Tam. Geography – history the province Quang Binh [Текст] / Luong Duy Tam. – Dong Hoi city: изд. Quang Binh General Museum, 1998. – С. 45–51.
5. Nguyen Quang An. Vietnam – changes of geography and geographical names of administrative units from the year 1945 to 1997 [Текст] / Nguyen Quang An. – Ha Noi: Изд. Publisher information culture Ha Noi, 1997. – С. 95.
6. Nguyen Tu. Geography of Quang Binh province [Текст] / Nguyen Tu. – Dong Hoi city: изд. Publisher Culture and Information of Quang Binh, 1998. – С. 61–65.
7. Nguyen Tu. Geography Dong Hoi cities [Текст] / Nguyen Tu // изд. Newspaper Quang Binh. – 2000. – № 27. – С. 22–27.
8. Tran Quoc Loi. The size and structure of the population of Quang Binh Province since 1989 to now [Текст] / Tran Quoc Loi // изд. Institute of Statistics of Quang Binh Province. № 69. – 2006. – С. 72–79.
9. Dong Hoi town was upgraded to Dong Hoi city, directly under Quang Binh province [Текст]: Decree issued by the Government of Vietnam 16.08.2004 г. № 156/2004-ND-CP // Vietnamese Government. – 2004. – Ст. 3.
10. Established town of Tuyen Hoa district, Quang Ninh district, Quang Binh province [Текст]: Decree issued by the Government of Vietnam 28/04/1999. № 30/1999-ND-CP // Vietnamese Government. – 2004. – Ст. 3.
11. Established district town of Minh Hoa district, Quang Binh province [Текст]: Decree issued by the Government of Vietnam 08/11/2000г. № 31/2000-ND-CP // Vietnamese Government. – 2004. – Ст. 3.
12. Data Statistical Yearbook Quang Binh Province / [Электронный ресурс]. URL: <https://www.quangbinh.gov.vn/3cms/so-lieu-nien-giam-thong-ke-nam-2015.htm> (дата обращения: 05.02.2017).

УДК 504.05/.06: 631.416.9

**ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ПРОМЫШЛЕННЫХ
УРБОЛАНДШАФТОВ ЮГА РОССИИ****Шишкина Д.Ю.***Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail: diana@sfedu.ru*

Изучено распределение тяжелых металлов, бенз(а)пирена и нефтепродуктов в почвах промышленных зон городов Ростова-на-Дону, Волгограда и Таганрога. Путем сравнения с региональным фоном выявлены геохимические ассоциации, характерные для различных видов промышленных ландшафтов и определяемые спецификой производства. Установлено, что приоритетными загрязнителями почв Ростова-на-Дону и Таганрога являются цинк, свинец, медь и нефтепродукты; концентрации ртути, мышьяка и марганца не достигают ПДК. В зоне влияния нефтеперерабатывающего завода в Волгограде почвенный покров загрязнен бенз(а)пиреном. Среди тяжелых металлов максимальный коэффициент опасности характерен для цинка – 4,5. Содержание нефтепродуктов и бенз(а)пирена превышает ПДК в 11,8 и 30,7 раза. Загрязнение почвенного покрова промышленных ландшафтов в основном оценивается как допустимое, в редких случаях – как умеренно опасное и опасное.

Ключевые слова: тяжелые металлы, промышленные урболандшафты, источники загрязнения, геохимические ассоциации, суммарный показатель загрязнения

**CHEMICAL CONTAMINATION OF SOILS OF INDUSTRIAL URBAN
LANDSCAPES SOUTH OF RUSSIA****Shishkina D.Yu.***Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: diana@sfedu.ru*

We studied the distribution of heavy metals, benzo(a)pyrene and oil products in soils of industrial areas of the cities of Rostov-on-Don, Volgograd and Taganrog. The geochemical associations typical of various types of industrial landscapes were identified. It was established that main pollutants of soils of Rostov-on-Don and Taganrog are zinc, lead, copper and oil products. The soil cover in the influence area of an oil refinery in Volgograd is contaminated with benzo(a)pyrene. Among the heavy metals, the maximum danger coefficient is characteristic of zinc and is 4,5. The content of oil products and benzo(a) pyrene exceeded MPC by 11,8 and 30,7 times. The soil pollution of industrial landscapes, mostly, is assessed as acceptable, in rare cases as moderately hazardous and dangerous.

Keywords: heavy metals, industrial urban landscapes, sources of pollution, geochemical associations, total pollution index

Промышленные урболандшафты традиционно рассматриваются как источник загрязнения городской среды, прежде всего из-за больших объемов выбросов загрязнителей в атмосферный воздух. Спад промышленного производства в 1990–2000 гг. привёл к уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников и сокращению вклада аэротехногенных потоков в формирование геохимических аномалий. Уровень загрязнения атмосферного воздуха в городах заметно снизился. Так, в Ростове-на-Дону выбросы предприятиями в атмосферу сократились с 43,9 тыс. т в 1988 г. до 11,786 тыс. т в 2015 г., а комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА_г) уменьшился с 22,2 до 6,0. Почва как депонирующая среда является более долговременным по сравнению с воздухом индикатором загрязнения, поэтому эколого-геохимическая оценка современного состояния почвенного покрова урболандшафтов представляется весьма актуальной, особенно в связи с застройкой зданиями жилищного и общественно-делового назначения тер-

риторий, освободившихся из-за закрытия или выноса за городскую черту промышленных предприятий.

Материалы и методы исследований

В качестве объектов исследования выбраны два областных центра Южного федерального округа с более чем миллионным населением – Волгоград и Ростов-на-Дону – и Таганрог, город, не столь многолюдный, но обладающий значительным промышленным потенциалом. Некоторые социально-экономические и экологические характеристики городов приведены в табл. 1.

Исследования основаны на материалах, полученных в ходе инженерно-экологических изысканий на пяти площадках (три в Ростове-на-Дону и по одной в Таганроге и Волгограде), где проектируется либо реконструкция и расширение действующих промышленных объектов, либо строительство торговых центров на месте ранее существовавших предприятий. Первый из изученных в Ростове-на-Дону объектов – реконструируемая электрическая подстанция – находится в самом центре города, неподалеку от автобусного и железнодорожного вокзалов, в начале улицы Красноармейской с интенсивным транспортным потоком. В центральной части города (проспект Театральный) находится техногенный пустырь, где в прошлом располагались промышленные объекты, а в настоящее время планируется построить торго-

вый комплекс «О'КЕЙ». Третий из ростовских урбандшафтов – лакокрасочный завод ЗАО «Эмпилс». Запроектировано его расширение и строительство комплекса по производству лаков и смол. Участок в западной части г. Таганрога ранее использовался под автотранспортное предприятие. В настоящее время на территории предполагается возвести торговый комплекс. В Волгограде изучалась территория ООО «Лукойл-Волгограднефтепереработка» – предприятия топливно-масляного профиля, расположенного в юго-восточной части города. Это наиболее старое из рассмотренных предприятий: строительство Сталинградского нефтеперерабатывающего завода было начато в 1951 г.

На каждой площадке в зависимости от её размера отбиралось разное количество проб из верхнего почвенного горизонта – от 5 до 31, общее количество проб – 68. На некоторых участках изучалось также распределение химических веществ и элементов по почвенному профилю, для чего было взято 8 проб с глубины от 0,5 до 2,0 м. Пробы отбирались в соответствии с принятыми в инженерно-экологических изысканиях методиками [9]. В почвенных образцах определялось содержание свинца, кадмия, ртути, цинка, меди, мышьяка, никеля, марганца, ванадия, бенз(а)пирена и нефтепродуктов. Аналитические исследования выполнялись в региональном лабораторном центре ОАО «Южгеология» и испытательных лабораторных центрах ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ростовской области» и «Центр гигиены и эпидемиологии в Волгоградской области» приближенно-количественным спектральным и атомно-абсорбционным методами. Оценка уровня загрязнения отдельными веществами проводилась на основе существующих нормативов [1, 2, 6]. С этой целью применялся коэффициент концентрации (K_c) отдельных элементов относительно их фоновых значений и коэффициент опасности (K_o) – кратность превышения ПДК (ОДК) отдельных элементов. Для характеристики комплексного загрязнения применялся суммарный показатель загрязнения (СПЗ, Z_c), представляющий собой аддитивную сумму превышений концентраций отдельных элементов над единичным (фоновым) уровнем:

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1),$$

где K_c – коэффициент концентрации, n – число химических элементов, входящих в изучаемую ассоциацию.

При Z_c меньше 16, категория загрязнения оценивается как допустимая; если Z_c лежит в диапазоне 16–32 – умеренно опасная; в диапазоне 32–128 – опасная; при Z_c больше 12, категория загрязнения – чрезвычайно опасная [8].

В ходе изучения урбандшафтов Ростова-на-Дону и Таганрога использовались величины регионального фона химических элементов, полученные в ходе многолетних исследований, проводимых сотрудниками кафедры геоэкологии и прикладной геохимии ЮФУ, и обобщенные в обзоре [5]. За региональный педогеохимический фон волгоградских урбандшафтов были приняты концентрации тяжелых металлов и мышьяка в верхнем горизонте светло-каштановых почв на территории природного парка «Эльтонский» [7].

Результаты исследования и их обсуждение

Содержания химических веществ и элементов в почве под реконструируемой подстанцией варьируют в широких пределах (табл. 2). При этом средние концентрации свинца, цинка, меди, кадмия значительно превосходят региональный фон. Невзирая на мощную техногенную нагрузку, содержания тяжелых металлов и мышьяка далеки от санитарно-гигиенических нормативов (табл. 3). Максимальный суммарный показатель загрязнения почвы – 5,6. Единственным загрязняющим веществом здесь выступают нефтепродукты, концентрация которых в четырех из пяти проб превышает рекомендуемую в качестве норматива величину (1000 мг/кг), а максимальное значение достигает 7025 мг/кг, что соответствует очень высокому уровню загрязнения.

В 70% почвенных проб, отобранных на техногенном пустыре, выявлены высокие концентрации цинка, превосходящие ОДК и достигающие 500 мг/кг. Кроме того, в одной пробе содержание меди (150 мг/кг) немного превышает норматив. Содержания остальных изученных элементов сопоставимы с региональным фоном и значительно меньше ПДК (ОДК). Суммарный показатель загрязнения варьирует в пределах 3,1–11,4. Концентрации нефтепродуктов в основном, не достигают 200 мг/кг, но в одной пробе зафиксировано содержание 5499 мг/кг (очень высокий уровень загрязнения).

Таблица 1

Общие сведения об изучаемых городах по состоянию на 2015 г. (составлено по [3, 10])

Город	Площадь, км ²	Численность населения, тыс. чел.	Плотность населения, чел./км ²	Выбросы в атмосферу стационарными источниками загрязняющих веществ, тыс. т	ИЗА ₃
Ростов-на-Дону	348,5	1114,8	3198,9	11,786	6,0
Таганрог	83,1	253,1	3045,7	6,271	5,8
Волгоград	860	1017,5	1184,0	33,7	3,4

Таблица 2

Пределы колебаний химических элементов и соединений в почвах
промышленных ландшафтов, мг/кг

Химические вещества и элементы	Объекты				
	Подстанция	Техногенный пустырь	ЗАО «Эмпилс»	Бывшая автобаза	Нефтеперерабатывающий завод
Свинец	15,2–71,2	20,0–60,0	8,0–400,0	30,0–200,0	2,4–30,0
Цинк	112,9–187,1	200,0–500,0	50,0–1000,0	150,0–800,0	10,8–152,0
Кадмий	0,35–0,61	0,1–0,53	0,5–2,2	0,33–2,12	0,04–0,43
Ртуть	0,014–0,031	0,012–0,04	0,006–0,01	0,02–0,047	0,006–0,4
Мышьяк	0,8–2,1	4,1–6,1	1,0–3,3	5,6–8,8	0,22–5,2
Никель	9,7–22,3	50,0–60,0	30,0–50,0	15,0–50,0	11,0–41,0
Медь	41,0–78,1	50,0–150,0	20,0–50,0	40,0–300,0	3,3–125,0
Марганец	155,0–355,2	500,0–800,0	500,0–800,0	800,0–5000	8,9–192,0
Ванадий	6,5–9,5	80,0–150,0	60,0–200,0	50,0–100,0	5,3–79,0
Нефтепродукты	901–7025	100–5499	151–11755	1178–1417	98–693
Бенз(а)пирен	н. опр.	< 0,004	< 0,004	< 0,004	0,004–0,614

Таблица 3

Среднее содержание химических элементов в почвах промышленных ландшафтов, мг/кг

Объекты	Химические элементы и вещества										
	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Ni	Cu	Mn	V	НП*	БП**
ЗАО «Эмпилс»	77,5	388,7	1,0	0,007	2,0	44,7	36,0	646,7	114,7	3987	н.опр.
Подстанция	35,2	149,2	0,44	0,023	1,4	15,2	54,7	232,5	7,9	1476	< 0,004
Техногенный пустырь	41,1	322,2	0,25	0,020	5,1	53,3	73,3	711,1	96,7	4070	< 0,004
Бывшая автобаза	97,5	394	0,86	0,029	6,7	37	99	2012,5	76,3	1298	< 0,004
Нефтеперерабатывающий завод	11,9	68,6	0,18	0,055	2,1	25,2	30,0	160,4	20,5	305,3	0,053
Региональный фон черноземов []	24,0	84,3	0,22	0,018	2,4	41,0	34,8	725,0	96,0	–	–
Региональный фон светло-каштановых почв []	11,0	49,0	0,2	0,02	6,5	34,2	16,4	–	–	–	–
ПДК (ОДК)	130	220	2,0	2,1	10	80	132	1500	150	1000	0,02

Примечание. *НП – нефтепродукты; **БП – бенз(а)пирен.

Площадка изысканий на лакокрасочном заводе ЗАО «Эмпилс» состоит из двух участков, связанных трассой эстакады. На первом (западном) участке, расположенном в центре территории предприятия, в настоящее время находятся производственные и складские корпуса, часть из которых будет демонтирована. По проекту здесь будут располагаться цех лаков, склады готовой продукции и продуктовая насосная. Второй участок находится на северо-восточной окраине предприятия и в настоящее время не застроен. На нем сформировалась залежь и восстановилась растительность, присущая разнотравно-дерновинно-злаковой степи.

Почвенный покров большей части западного участка загрязнен цинком. Содержание

элемента достигает 1000 мг/кг или 4,5 ОДК, что соответствует среднему уровню загрязнения (табл. 2). В двух точках отмечаются превышающие ОДК концентрации свинца – до 3,1 ОДК (высокий уровень загрязнения). В той же почвенной пробе, где выявлен максимум концентраций Zn и Pb, обнаружено содержание нефтепродуктов, превосходящее норматив в почти в 12 раз. Максимальная концентрация кадмия в верхнем почвенном горизонте выше ОДК в 1,1 раза. Высокие концентрации элементов характерны лишь для западного участка, где хранится готовая продукция. Суммарный показатель загрязнения почв в трех пробах превышает 16, достигая значения 31,8, что соответствует умеренно опасному загрязнению.

Характерной особенностью является аномальное содержание кадмия по почвенному разрезу. Так, в пробе, отобранной с глубины 0,5 м, содержание элемента достигает 4,7 мг/кг (2,35 ОДК). Очевидно, проникновение металла на столь значительную глубину произошло при перемешивании грунтов во время строительных и земляных работ, при планировке поверхности. Содержания остальных элементов в грунтах не достигают санитарно-гигиенических нормативов.

Высокие концентрации цинка, свинца и кадмия связаны со спецификой лакокрасочного производства, предусматривающего использование широкого круга сырьевых материалов, в том числе пигментов, сиккативов и других компонентов, содержащих тяжелые металлы. Наиболее часто используемыми являются свинцовый сурик, свинцовый и цинковый кроны, цинковые белила, кадмиевая желтая, фосфат цинка, хромат цинка и др. [4].

В восточной части не зафиксировано превышений ПДК и ОДК тяжелых металлов и мышьяка в почве, за единичным исключением: содержание цинка в 1,4 раза выше норматива в непосредственной близости от склада тары. Максимальная величина $Z_c = 5$.

Содержания в почве участка на территории Таганрога большинства элементов (за исключением ртути) превышают региональный фон. Концентрации цинка в шести из восьми точек опробования превосходят санитарно-гигиенический норматив; концентрации свинца выше ПДК зафиксированы в двух точках; кадмия и меди – в одной. Таким образом, выявлено загрязнение большей части почвенного покрова участка цинком, а также локальное загрязнение свинцом, кадмием и медью. Комплексное загрязнение почвы всеми четырьмя элементами отмечено в точке, расположенной вблизи северной границы площадки, рядом со стихийной свалкой бытовых и промышленных отходов. Содержание кадмия достигает 1,06 ОДК, свинца – 1,5 ОДК, меди – 2,3 ОДК, цинка – 3,6 ОДК. Суммарный показатель загрязнения изменяется от 7,1 до 36,7, т.е. наряду с допустимой категорией загрязнения почв выявлены умеренно опасная и опасная.

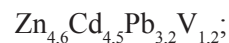
В отличие от урболандшафтов Ростова-на-Дону и Таганрога, расположенных на обыкновенных карбонатных черноземах, зональным типом почв Волгограда являются светло-каштановые почвы, часто в комплексе с солонцами. Содержания всех тяжелых металлов, мышьяка и нефтепродуктов на территории нефтеперерабатывающего ком-

плекса не достигают ПДК и ОДК, чего нельзя сказать о бенз(а)пирене. Если в почвах ранее рассмотренных промышленных ландшафтов он лежит ниже предела обнаружения (менее 0,004 мг/кг), то на территории ООО «Лукойл-Волгограднефтепереработка» максимально содержание БП достигает 0,614 мг/кг, что почти в 31 раз выше ПДК (табл. 2). Даже средняя концентрация превосходит санитарно-гигиенический норматив в 2,5 раза. Накопление бенз(а)пирена в почве обусловлено спецификой химического состава сырья и продукции. Отличается высокими концентрациями и ртуть – среднее содержание в 2,7 раза выше регионального фона, а максимальное – в 20 раз (табл. 3). Z_c принимает значения от 1,1 до 12,1. Таким образом, индикатором загрязнения почв этого предприятия является бенз(а)пирен, на территориях остальных наиболее характерными загрязняющими веществами являются нефтепродукты, цинк, свинец, медь и кадмий.

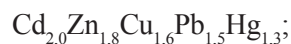
Выводы

1. Геохимические спектры почв промышленных урболандшафтов юга России весьма разнообразны. При сравнении средних значений тяжелых металлов и металлоидов с природным фоном выделяются следующие ассоциации:

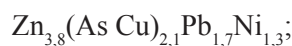
– лакокрасочное производство:



– электроподстанция:



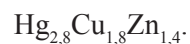
– техногенный пустырь:



– автопредприятие:



– нефтепереработка:



2. Индикаторами загрязнения почв в общем случае выступают цинк, свинец, медь и нефтепродукты. Специфика конкретного производства накладывает отпечаток на перечень приоритетных поллютантов. Так, для лакокрасочного производства характерен кадмий, а для нефтеперерабатывающего – бенз(а)пирен.

3. Уровень загрязнения почв металлами невысок. Максимальный K_o кадмия – 1,1, ванадия – 1,2, свинца – 1,5, меди – 2,3, марганца – 3,3 и цинка – 4,5. Концентрации ртути, мышьяка, никеля не достигают сани-

тарно-гигиенических нормативов. Гораздо выше уровень загрязнения углеводородами: превышения норматива по нефтепродуктам – 11,8, по бенз(а)пирену – 30,7.

4. По величине Z_c загрязнение почв промышленных зон оценивается в основном как допустимое. Локальные ореолы умеренно опасной категории выявлены на двух участках, опасной – на одном.

Список литературы

1. ГН 2.1.7.2041–06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 15 с.
2. ГН 2.1.7.2511–09. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 11 с.
3. Доклад об экологической ситуации в Волгоградской области в 2015 году. – Волгоград: «СМОТРИ», 2016. – 300 с.
4. Козыренко М.И., Кухарчик Т.И. Загрязнение почв при производстве лакокрасочных материалов // Геоэкология. – 2015. – № 3. – С. 230–218.
5. Коханистая Н.В., Шишкина Д.Ю. Определение регионального педогеохимического фона (на примере Ростовской области) / Сотрудничество стран БРИКС для устойчивого развития: материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых стран БРИКС (Ростов-на-Дону, 24–26 сентября 2015 г.): в 2 т. / под общ. ред. М.А. Боровской, В.В. Высокова, И.К. Шевченко, А.Ю. Архипова. – Т.2. – Ростов н/Д.: Издательство Южного федерального университета, 2015. – С. 295–298.
6. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими элементами. – М.: Управление охраны почв и земельных ресурсов Минприроды России, 1993. – 31 с.
7. Редкие и исчезающие почвы природных парков Волгоградской области / Кретинин В.М., Брагин В.В., Кулик К.Н., Шишкунов В.М. – Волгоград, 2006. – 142 с.
8. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. Изд. 2-е, стереотип. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2005. – 19 с.
9. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-10-96. – М.: Госстрой России, 2013. – 110 с.
10. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2015 году». – Воронеж: ООО «МС», 2016. – 370 с.