
УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 4

2016

ISSN 1681-7494

Импакт-фактор

РИНЦ – 0,829

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 = 0,829.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

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 – 04.05.2016

Формат 60x90 1/8
Типография
ООО «Научно-издательский центр
Академия Естествознания»,
г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка
Кулакова Г.А.
Корректор
Галенкина Е.С.

Способ печати – оперативный.
Усл.п.л. 25,75
Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/4-2016
Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Химические науки (02.00.00)

| | |
|---|----|
| О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО НИТРИДА Ni_2Mo_3N ПРИ КАЛЬЦИЕТЕРМИЧЕСКОМ ВОССТАНОВЛЕНИИ ОКСИДОВ В АТМОСФЕРЕ АЗОТА <i>Браверман Б.Ш., Аврамчик А.Н., Чухломина Л.Н., Максимов Ю.М.</i> | 9 |
| РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИЙ СПОСОБ АНАЛИЗА ТЕРМОГРАММ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧИСТЫХ ВЕЩЕСТВ <i>Будко Е.В., Ямпольский Л.М., Ельцова Н.О.</i> | 13 |
| СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОТЕОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ, ИММОБИЛИЗОВАННЫХ В СТРУКТУРУ БИОПОЛИМЕРОВ <i>Волосова Е.В., Безгина Ю.А., Пащикова Е.В., Шипуля А.Н., Белик Е.В.</i> | 18 |
| СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЯТИ УРОЖАЕВ МИСКАНТУСА СОРТА СОРАНОВСКИЙ: РАСТЕНИЕ В ЦЕЛОМ, ЛИСТ, СТЕБЕЛЬ <i>Гисматулина Ю.А.</i> | 23 |
| ТЕРМОСТОЙКОСТЬ И КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ДЕСТРУКЦИИ ПОЛИАЗОМЕТИНЭФИРОВ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ОСНОВЕ АРОМАТИЧЕСКИХ ДИАЛЬДЕГИДОВ И 4,4'-ДИАМИНОТРИФЕНИЛМЕТАНА <i>Китиева Л.И., Борухаев Т.А.</i> | 27 |
| СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ, ТАУТОМЕРИИ И ДИМЕРИЗАЦИИ НОВЫХ ПЕРЗАМЕЩЕННЫХ НИТРОЗОФЕНОЛОВ С ПИРИДИНОВЫМИ ЗАМЕСТИТЕЛЯМИ <i>Кужуикин А.А., Роот Е.В., Кондрасенко А.А., Скрипальщикова А.В., Субоч Г.А., Товбис М.С.</i> | 32 |
| ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛИМЕРАЗНОЙ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ <i>Лопатина А.Б.</i> | 38 |
| ГЕТЕРОГЕННЫЕ РАВНОВЕСИЯ В ТРОЙНОЙ СИСТЕМЕ ХЛОРИД ГОЛЬМИЯ – НИКОТИНАМИД – ВОДА ПРИ 30 °С И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ФАЗ <i>Осмонова С.С., Сулайманкулов К.С., Байдинов Т.Б.</i> | 43 |
| ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ГЕНОМА В КЛЕТКАХ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ МЫШЕЙ ПОСЛЕ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МАЛОЙ ДОЗЕ И ИХ ПОТОМКОВ <i>Раскоша О.В.</i> | 48 |
| ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В СИСТЕМЕ $VI_2Se_3-ND_3Se_4$ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАЗУЮЩИХСЯ ФАЗ <i>Садыгов Ф.М., Ильяслы Т.М., Ганбарова Г.Т., Исмаилов З.И., Мамедова С.Г., Джафарова Е.К., Мамедов Е.А.</i> | 53 |
| ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕЛКОВОГО ГИДРОЛИЗАТА С ЭКСТРАКТАМИ СОСНЫ <i>Сячинова Н.В., Гончарова Н.В.</i> | 57 |
| РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ И ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАКРИЛАТА ИТТРИЯ (III): ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ <i>Харченко В.И., Курбатов И.А., Чередниченко А.И., Алексейко Л.Н.</i> | 62 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ МЕДИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ СОРБИЦИОННО-ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ <i>Шачнева Е.Ю.</i> | 67 |

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

| | |
|---|----|
| СТРОЕНИЕ КРОН РЕКРЕАЦИОННЫХ СОСНЯКОВ КАЗАХСКОГО МЕЛКОСОПОЧНИКА (НА ПРИМЕРЕ ГНПП «БУРАБАЙ») <i>Данчева А.В., Залесов С.В.</i> | 72 |
|---|----|

| | |
|--|-----|
| ВЕКОВАЯ ДИНАМИКА ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛИСТВЕННИЧНЫХ РЕДКОЛЕСИЙ У СЕВЕРНОЙ ГРАНИЦЫ АРЕАЛА НА ОСТРОВЕ ТИТ-АРЫ (НИЗОВЬЯ РЕКИ ЛЕНЫ) <i>Исаев А.П., Габышева Л.П., Михалева Л.Г.</i> | 77 |
| ПЛЮСОВЫЕ ДЕРЕВЬЯ QUERCUS ROBUR L. В ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВАХ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЛЕСОСЕМЕННОЙ БАЗЫ НА ГЕНЕТИКО-СЕЛЕКЦИОННОЙ ОСНОВЕ <i>Любимов В.Б., Мельников И.В., Москаленко И.В., Подлас С.В., Солдатова В.В.</i> | 83 |
| ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ И ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОДНОГО И ТЕПЛОВОГО РЕЖИМОВ <i>Поддубский А.А., Шуравилин А.В.</i> | 88 |
| СТАРАЯ И НОВАЯ ПАРАДИГМЫ В ЛЕСОВОДСТВЕ И ЛЕСНОЙ СЕЛЕКЦИИ <i>Рогозин М.В.</i> | 94 |
| ЗАЩИТНЫЕ ЛЕСНЫЕ НАСАЖДЕНИЯ: АНАЛИЗ ВИДОВОГО СОСТАВА И НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ ДЕНДРОФЛОРЫ <i>Сементютина А.В., Терешкин А.В.</i> | 99 |
| ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ В ОСУШАЕМЫХ СОСНЯКАХ, ПРОЙДЕННЫХ КОМПЛЕКСНЫМИ РУБКАМИ <i>Смирнов А.П., Чыонг Ву Ван, Смирнов А.А.</i> | 105 |
| АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И ПЛАНИРОВОЧНОГО СОСТОЯНИЯ ИСТОРИЧЕСКОГО БУЛЬВАРА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ <i>Третьякова Т.А., Сокольская О.Б.</i> | 111 |
| РОЛЬ РАСТИТЕЛЬНОГО ОПАДА В ФОРМИРОВАНИИ ФИТОГЕННЫХ ПОЛЕЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ТЕХНОГЕННЫХ ЭЛЮВИЯХ КУЗБАССА <i>Уфимцев В.И., Егорова И.Н.</i> | 116 |

Науки о Земле (25.00.00)

| | |
|---|-----|
| КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РИСКОВ ОТ НАВОДНЕНИЙ НА РЕКАХ БАССЕЙНА ОЗЕРА БАЙКАЛ <i>Борисова Т.А.</i> | 121 |
| ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОЕМОВ ОСТРОВА МАТУА (СРЕДНИЕ КУРИЛЫ) ПО ДАННЫМ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА <i>Гребенникова Т.А.</i> | 126 |
| ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ОБЪЕКТЕ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ НА ЗОЛОТО-СУРЬМЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ «СЕНТАЧАН» <i>Гриб Н.Н., Сясько А.А., Качаев А.В., Кузнецов П.Ю.</i> | 133 |
| ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОЙ АВТОНОМНОСТИ В РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИИ, ЕГО СТАНОВЛЕНИЕ И ДЕЙСТВИЕ <i>Ликутов Е.Ю.</i> | 141 |
| СМЕШАННЫЕ СИЛЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА АКТИВНОСТЬ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ ВДОЛЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СКЛОНОВ <i>Лютюев В.А., Лютюева Н.В.</i> | 145 |
| ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ РЕЗЕРВУАРОВ НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ. ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ВЫБОРА РАЗМЕРОВ РАСЧЕТНОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ КРАЕВЫХ ЭФФЕКТОВ <i>Марков Е.В., Пульников С.А.</i> | 151 |
| ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ И ФЛОРИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ МЕЗОЗОЙСКОГО ПАЛЕОКЛИМАТА (НА ПРИМЕРЕ БУРЕЙНСКОГО ОСАДОЧНОГО БАССЕЙНА, ДАЛЬНИЙ ВОСТОК, РОССИЯ) <i>Медведева С.А.</i> | 156 |

| | |
|---|-----|
| ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА ЧЕБОКСАРСКОГО ГОРОДСКОГО ОКРУГА <i>Мулендеева А.В., Никонорова И.В.</i> | 162 |
| СТРАТИГРАФИЯ СРЕДНЕ-ВЕРХНЕТРИАСОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ВИЛЮЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНОВ ПРЕДВЕРХОЯНСКОГО ПРОГИБА <i>Рукович А.В.</i> | 168 |
| БИОГАЗОВЫЕ СТАНЦИИ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БИОПРОДУКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И КУЛЬТУРНЫХ ЛАНДШАФТОВ <i>Садчиков А.В., Кокарев Н.Ф.</i> | 173 |
| ТРАНСЛЯЦИЯ МЕТОДОВ СУПЕРВАЙЗИНГА НЕФТЕГАЗОВОГО БУРЕНИЯ В ОРГАНИЗАЦИЮ БУРЕНИЯ, ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ, ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ И ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН <i>Сизов А.В., Боярко Г.Ю.</i> | 178 |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ РАЗНОРОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ <i>Стручкова Г.П., Капитонова Т.А., Попов К.А., Ефремов П.В.</i> | 183 |
| АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАЛЫХ РЕК В БАССЕЙНАХ С РАЗЛИЧНЫМИ СИСТЕМАМИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ) <i>Суханова М.П.</i> | 188 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ УВЛАЖНЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ НА ХИМИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ УГЛЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРОЦЕССОВ САМОВОЗГОРАНИЯ <i>Тимофеева С.С., Луговцова Н.Ю.</i> | 197 |
| СОСТОЯНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ КАК ОДИН ИЗ АСПЕКТОВ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ СОЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ МО «ГОРОД САРАТОВ» <i>Титов В.Н., Фуфыгин А.С.</i> | 202 |

CONTENTS
Chemical sciences (02.00.00)

| | |
|---|----|
| OBTAINING OF THE $\text{Ni}_2\text{Mo}_3\text{N}$ BIMETALLIC NITRIDE DURING THE CALCIOMETRIC REDUCTION OF OXIDES IN NITROGEN <i>Braverman B.Sh., Avramchik A.N., Chukhlomina L.N., Maksimov Yu.M.</i> | 9 |
| SETTLEMENT AND GRAPHIC THERMOGRAPHY ANALYSIS AND ITS APPLICATION FOR THE CHARACTERIZATION OF PURE SUBSTANCES <i>Budko E.V., Yampolskiy L.M., Eltsova N.O.</i> | 13 |
| SPECTROPHOTOMETRIC DETERMINATION OF PROTEOLYTIC ACTIVITY OF THE ENZYME, IMMOBILIZED IN THE STRUCTURE OF BIOPOLYMERS <i>Volosova E.V., Bezgina Yu.A., Pashkova E.V., Shipulya A.N., Belik E.V.</i> | 18 |
| COMPARATIVE CHEMICAL COMPOSITION OF FIVE MISCANTHUS VAR. 'SORANOVSKIY' HARVESTS: WHOLE PLANT, LEAF, AND STEM <i>Gismatulina Yu.A.</i> | 23 |
| THERMAL STABILITY AND KINETIC PARAMETERS OF DESTRUCTION POLIAZOMETINEFIROV DERIVED FROM AROMATIC DIALDEHYDE AND 4,4'-DIAMINOTRIFENILMETANA <i>Kitieva L.I., Borukaev T.A.</i> | 27 |
| SPECTROSCOPIC VERIFICATION OF STRUCTURE, TAUTOMERISM AND DIMERIZATION IN NEW EXHAUSTIVELY SUBSTITUTED PARA-NITROSOPHENOLS WITH PYRIDINE SUBSTITUENT'S <i>Kukushkin A.A., Root E.V., Kondrasenko A.A., Skripalschikova A.V., Suboch G.A., Tovbis M.S.</i> | 32 |
| CHEMICAL FOUNDATIONS OF POLYMERASE CHAIN REACTION <i>Lopatina A.B.</i> | 38 |
| THE GETEROGENOUS EQUILIBRIUMS IN TRIPLE SYSTEM WITH HOLMIUM CHLORIDE – NICOTINAMIDE – WATER AT 30 °C AND PROPERTIES OF SOLID PHASES <i>Osmonova S.S., Sulaymankulov K.S., Baydinov T.B.</i> | 43 |
| ESTIMATION OF GENOME STABILITY IN THYROID CELLS OF MICE AFTER CHRONIC EXPOSURE TO IONIZING RADIATION IN LOW DOSES, AND THEIR OFFSPRING WITHOUT IRRADIATION <i>Raskosha O.V.</i> | 48 |
| PHASE EQUILIBRIUM IN THE $\text{Bi}_2\text{Se}_3\text{-Nd}_3\text{Se}_4$ AND ELECTRICAL PROPERTIES OF THE NEW PHASES <i>Sadygov F.M., Ilyasly T.M., Ganbarova G.T., Ismailov Z.I., Mamedova S.G., Dzhaifarova E.K., Mamedov E.A.</i> | 53 |
| THE INTERACTION OF PROTEIN HYDROLYSATE WITH PINE EXTRACTS <i>Syachinova N.V., Goncharova N.V.</i> | 57 |
| REACTIVITY AND ELECTRONIC STRUCTURE OF YTTRIUM (III) METHACRYLATE: A DFT STUDY <i>Kharchenko V.I., Kurbatov I.A., Cherednichenko A.I., Aleksseyko L.N.</i> | 62 |
| DEFINITION OF IONS OF COPPER IN INDUSTRIAL FACILITIES BY THE SORPTION-PHOTOMETRIC METHOD <i>Shachneva E.Yu.</i> | 67 |

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

| | |
|---|----|
| CROWN STRUCTURE OF RECREATIONAL PINE FORESTS OF THE KAZAKH UPLAND (FOR EXAMPLE, SNPP «BURABAY») <i>Dancheva A.V., Zalesov S.V.</i> | 72 |
|---|----|

| | |
|---|-----|
| CENTURY'S DYNAMICS OF INVENTORY INDICES OF SPARSE LARCH FORESTS NEAR NORTH TREE LINE ON THE TIT-ARY ISLAND (THE DELTA OF THE LENA RIVER) <i>Isaev A.P., Gabysheva L.P., Mikhailova L.G.</i> | 77 |
| PLUS TREES QUERCUS ROBUR L. IN FOREST COMMUNITIES BRYANSK REGION AND THEIR USE FOR THE DEVELOPMENT SEED BASE ON THE GENETIC BASIS OF SELECTION <i>Lyubimov V.B., Melnikov I.V., Moskalenko I.V., Podlas S.V., Soldatova V.V.</i> | 83 |
| THE PRODUCTIVITY OF CEREALS AND VEGETABLES IN THE MOSCOW REGION DEPENDING ON WATER AND HEAT REGIMES <i>Poddubsky A.A., Shuravilin A.V.</i> | 88 |
| OLD AND THE NEW PARADIGM THE FORESTRY AND FOREST BREEDING <i>Rogozin M.V.</i> | 94 |
| PROTECTIVE AFFORESTATION: ANALYSIS OF THE COMPOSITION AND THE SCIENTIFIC BASIS OF INCREASING BIODIVERSITY DENDROFLORA <i>Semenyutina A.V., Tereshkin A.V.</i> | 99 |
| NATURAL REGENERATION IN PINE FORESTS OF DRAINED, PASSED COMPLETE LOGGING <i>Smirnov A.P., Truong Vu Van, Smirnov A.A.</i> | 105 |
| THE ANALYSIS OF THE CURRENT LANDSCAPE AND ECOLOGICAL AND PLANNING STATE OF ISTORICHESKY BOULEVARD IN THE URBAN ENVIRONMENT <i>Tretyakova T.A., Sokolskaya O.B.</i> | 111 |
| ROLE OF THE VEGETABLE DEBRIS IN FORMATION OF PHYTOGENOUS FIELDS OF THE SCOTS PINE ON TECHNOGENIC ELUVIUMS OF KUZBASS <i>Ufimtsev V.I., Egorova I.N.</i> | 116 |

Earth sciences (25.00.00)

| | |
|---|-----|
| MAPPING OF NATURAL RISKS OF FLOODING ON THE RIVERS OF THE BAIKAL LAKE BASIN <i>Borisova T.A.</i> | 121 |
| ECOLOGICAL FEATURES OF THE LAKES OF MATUA ISLAND (MIDDLE KURILS) BY DIATOM DATA <i>Grebennikova T.A.</i> | 126 |
| THE USE OF GEOPHYSICAL METHODS FOR DETERMINING NEGATIVE ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS AT THE MINING PLANT OF «SENCHAN» GOLD-STIBIUM DEPOSIT <i>Grib N.N., Syasko A.A., Kachaev A.V., Kuznetsov P.Yu.</i> | 133 |
| THE PRINCIPLE OF RELATIVE AUTONOMY IN RELIEF FORMATION, ITS DEVELOPMENT AND ACTION <i>Likutov E.Y.</i> | 141 |
| MIXED FORCES AFFECTING THE ACTIVITY OF LANDSLIDE PROCESSES ALONG THE RAILWAY SLOPES <i>Lutoev V.A., Lutoeva N.V.</i> | 145 |
| TERMAL CALCULATION OF TANKS ON THE PERMAFROST. OPTIMISATION OF THE COMPUTATIONAL DOMAIN SELECTION PROCESS FOR FRINGE EFFECT REDUCTION <i>Markov E.V., Pulnikov S.A.</i> | 151 |
| LITHOCHEMICAL AND FLORAL EVIDENCE FOR RECONSTRUCTION OF THE MESOZOIC PALEOCLIMATE, AS EXEMPLIFIED FROM THE BUREYA BASIN, FAR EAST OF RUSSIA <i>Medvedeva S.A.</i> | 156 |
| DESIGN THE ECOLOGICAL FRAME-WORK OF CHEBOKSARY CITY DISTRICT <i>Mulendeeva A.V., Nikonorova I.V.</i> | 162 |

| | |
|---|-----|
| STRATIGRAPHY OF AVERAGE AND UPPER PART TRIAS DEPOSITS OF EAST PART OF THE VILYUYSKY SYNECLISE AND ADJACENT REGIONS OF THE PREVERKHOYANSK DEFLECTION <i>Rukovich A.V.</i> | 168 |
| BIOGAS PLANT AS AN ENVIRONMENTALLY SAFE MEANS TO INCREASE THE BIOLOGICAL PRODUCTIVITY OF NATURAL AND CULTURAL LANDSCAPES <i>Sadchikov A.V., Kokarev N.F.</i> | 173 |
| TRANSLATION OF OIL AND GAS DRILLING SUPERVISING METHODS TO THE EXPLORATORY, ENGINEERING SURVEY AND WATER WELLS DRILLING ORGANIZATION <i>Sizov A.V., Boyarko G.Yu.</i> | 178 |
| USE OF GEOINFORMATIONAL DATABASE OF HETEROGENEOUS INFORMATION FOR ESTIMATE OF STATE OF LINEAR TECHNICAL SYSTEMS UNDER CONDITIONS OF CRYOLITHOZONE <i>Struchkova G.P., Kapitonova T.A., Popov K.A., Efremov P.V.</i> | 183 |
| THE ANALYSIS OF THE SPATIAL REGULARITIES OF THE SMALL RIVERS HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS VARIABILITY IN BASINS WITH VARIOUS SYSTEMS OF THE NATURAL MANAGEMENT (ON EXAMPLE BELGOROD REGION) <i>Suhanova M.P.</i> | 188 |
| THE STUDY OF COMPLEX INFLUENCE HUMIDIFICATION AND COOLING ON THE CHEMICAL ACTIVITY OF THE COAL TO PREVENT SPONTANEOUS COMBUSTION PROCESSES <i>Timofeeva S.S., Lugovtcova N.Y.</i> | 197 |
| THE SITUATION IN THE INFORMATION ENVIRONMENT AS AN ASPECT OF ASSESS THE LEVEL OF ECOLOGICAL CULTURE OF THE SOCIAL SYSTEM FOR EXAMPLE, THE MUNICIPALITY «CITY OF SARATOV» <i>Titov V.N., Fufygin A.S.</i> | 202 |

УДК 54.057, 536.46 544.45

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО НИТРИДА $\text{Ni}_2\text{Mo}_3\text{N}$ ПРИ КАЛЬЦИЕТЕРМИЧЕСКОМ ВОССТАНОВЛЕНИИ ОКСИДОВ В АТМОСФЕРЕ АЗОТА

Браверман Б.Ш., Аврамчик А.Н., Чухломина Л.Н., Максимов Ю.М.

ФГБУН «Томский научный центр» Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, e-mail: bbraverman@yandex.ru

Биметаллический нитрид $\text{Ni}_2\text{Mo}_3\text{N}$ является перспективным катализатором для ряда химических процессов. В представленной работе изучали возможность получения этого соединения при горении смеси порошков оксидов никеля и молибдена с порошком кальция или нитрида кальция в атмосфере азота. При использовании порошка кальция из-за высоких температур горения содержание $\text{Ni}_2\text{Mo}_3\text{N}$ в продуктах горения мало. Применение в качестве восстановителя вместо кальция нитрида кальция позволяет снизить температуру горения и повысить содержание азота и биметаллического нитрида в продукте. Зона реакции при горении составов с нитридом кальция начинается при температуре плавления нитрида кальция. Содержание биметаллического нитрида $\text{Ni}_2\text{Mo}_3\text{N}$ в конечном продукте увеличивается с ростом избытка нитрида кальция в смеси. После кислотного удаления соединений кальция в продуктах горения содержится до 30% биметаллического нитрида.

Ключевые слова: кальций, нитрид, горение, температура

ОBTAINING OF THE $\text{Ni}_2\text{Mo}_3\text{N}$ BIMETALLIC NITRIDE DURING THE CALCIOMETRIC REDUCTION OF OXIDES IN NITROGEN

Braverman B.Sh., Avramchik A.N., Chukhlomina L.N., Maksimov Yu.M.

Institution Tomsk Scientific Center, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Tomsk, e-mail: bbraverman@yandex.ru

The $\text{Ni}_2\text{Mo}_3\text{N}$ bimetallic nitride is a promising catalyst for a number of chemical processes. In the work the possible obtaining of this compound was studied during the combustion of the nickel and molybdenum oxide powders with the calcium or calcium nitride powder in a nitrogen atmosphere. The use of the calcium powder leads to the low content of $\text{Ni}_2\text{Mo}_3\text{N}$ in the combustion products due to high combustion temperatures. The application of calcium nitride as the reducing agent instead of calcium allows the combustion temperature to be decreased and the nitrogen and bimetal nitride content to be increased in the product. The reaction is initiated after reaching the melting temperature of calcium nitride during the combustion of the compositions with calcium nitride. The content of the $\text{Ni}_2\text{Mo}_3\text{N}$ bimetallic nitride increases in the final product with increasing the excess of calcium nitride in the mixture. After the acid removal of the calcium compounds, the combustion products contain up to 30% of bimetallic nitride.

Keywords: calcium, nitride, combustion, temperature

Биметаллический нитрид $\text{Ni}_2\text{Mo}_3\text{N}$ является перспективным катализатором для ряда химических процессов. Он способен заменить благородные металлы в каталитических реакциях разрыва ароматических колец в дизельном топливе [7]. При этом октановое число топлива повышается на 1–4 единицы.

$\text{Ni}_2\text{Mo}_3\text{N}$ может быть использован для замены катализаторов на основе рения и осмия в реакции синтеза аммиака [6].

Нитрид $\text{Ni}_2\text{Mo}_3\text{N}$ рассматривался в качестве кандидата для замены платиновых катализаторов в электрокаталитической реакции получения водорода путем расщепления воды [5]. По своей каталитической активности и продолжительности действия он приближается к платиновым катализаторам.

Показана достаточная эффективность [1] двойного никель-молибденового нитрида в качестве катализатора в реакции

получения метана из углекислого газа и водорода.

Методы получения двойного нитрида $\text{Ni}_2\text{Mo}_3\text{N}$, указанные в работах [5–7], характеризуются использованием небезопасного газа аммиака, большой продолжительностью и существенными энергозатратами на нагрев. Так, в работе [7] соли-прекурсоры $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ растворяли в $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, затем раствор высушивали и прокачивали при температуре 773 К в течение 5 часов на воздухе. Далее нагревали в токе аммиака со скоростью 6 К/мин до 623 К и со скоростью 1 К/мин до 923 К. При этой температуре выдерживали 2 часа. После отжига охлаждали до 373 К и выдерживали при этой температуре в потоке смеси газов O_2 и N_2 (1% об. O_2) в течение 12 часов. Авторы [5] биметаллический нитрид получали следующим образом. $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ смешивали с $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, смесь высушивали и прокачивали при 400 °С в течение

2 часов. Полученный материал нагревали со скоростью 0,1 °С/мин до 600 °С в потоке смеси газов 4,5% NH₃ + смесь H₂ и N₂ при соотношении водорода к азоту 3/1. Затем охлаждали до комнатной температуры.

В [1] описан способ получения нитридов Ti и Zr при горении смесей оксидов этих металлов с кальцием в атмосфере азота. Этот способ (самораспространяющийся высокотемпературный синтез – СВС) характеризуется низкими удельными затратами электроэнергии, поскольку температура, необходимая для проведения синтеза, обеспечивается внутренними химическими источниками высокоэкзотермических исходных составов. Кроме того, способ достаточно прост в аппаратном оформлении. Поэтому представляло интерес изучение возможности получения двойного никель-молибденового нитрида методом СВС. Работы по получению нитрида Ni₂Mo₃N в режиме горения отсутствуют.

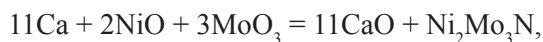
Цель исследования – изучение возможности получения двойного никель-молибденового нитрида методом СВС.

Материалы и методы исследования

В качестве исходных материалов использовали порошки оксида никеля NiO марки «ч» ТУ 6-09-4125-80, оксида молибдена MoO₃ марки «ч» ТУ 6-09-4471-77, порошок молибдена ТУ 48-19-10,5-73, порошок кальция гранулированного с диаметром гранул 0,5–2 мм производства ОАО «Чепецкий механический завод», газообразный азот повышенной чистоты ГОСТ 9293-74. Порошки оксидов смешивали в фарфоровой ступке с гранулами кальция. Смеси засыпали в бумажные цилиндрические стаканчики диаметром 20–30 мм. Термопару вводили через боковую поверхность на высоте 15–20 мм от нижнего края образца. Спай термопары находился на вертикальной оси образца. Горение осуществляли в установке постоянного объема при давлении азота 5 МПа. Горение инициировали спиралью из молибденовой проволоки диаметром 0,5 мм, которая разогревалась кратковременной подачей электрического тока. Температуру измеряли вольфрам-рениевыми термопарами ВР5/ВР20, диаметром 200 мкм. Сигнал термо-ЭДС преобразовывался в цифровой вид прибором АЦП ЛА20-USB и записывался на компьютер. Продукты горения обрабатывали в 9%-ном растворе соляной кислоты для растворения и удаления соединений кальция. Нерастворимый остаток анализировали на содержание азота методом Кьельдаля и на анализаторе LECO ONH 836 (ТОМ ЦКП СО РАН), рентгенофазовый анализ проводили с помощью дифрактометров ДРОН 2,0 и D8 DISCOVER фирмы BRUKER. Содержание фаз в продуктах определяли количественным рентгенофазовым анализом с использованием программы DIFFRAC.EVA (BRUKER) по корундовым числам.

Результаты исследования и их обсуждение

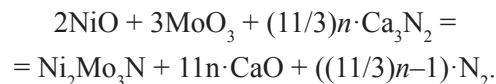
Состав 11Ca + 2NiO + 3MoO₃, соответствующий предполагаемой брутто-реакции



реагирует в азоте с выделением большого количества тепла. При этом продукты СВС формируются в виде двух слоев: оксидно-нитридный (фазы CaO и Ca₃N₂) с меньшей плотностью образует верхний слой, а «металлический» сплав (фазы NiMo и Mo) с большей плотностью образует нижний слой. После обработки продуктов СВС в растворе соляной кислоты шлаковая часть переходит в раствор, а металлическая остается в виде слитка. По результатам химического анализа содержание азота в нем мало и составляет менее 0,2%. Низкое содержание азота в продуктах горения связано, вероятно, с термической неустойчивостью нитридов молибдена (MoN, Mo₂N), никеля (Ni₃N) [4] и невозможностью их образования в условиях высоких температур синтеза.

С целью уменьшения температуры горения и текучести восстанавливаемого металла вместо кальция использовали для восстановления оксидов продукт азотирования кальция, состоящий в основном из нитрида кальция Ca₃N₂. Нитрид кальция синтезировали сжиганием порошка кальция в атмосфере азота по методике, описанной в [2].

Состав шихты выбирали из предполагаемой брутто-реакции



Значение «*n*» варьировали в интервале 1,2–2,75. Наибольшее значение «*n*» определялось пределом горения. (При *n* > 2,75 смеси не горели). Продукт получался в виде непрочного спеченного пористого материала без крупных расплавленных участков.

На термограммах горения (рис. 1) наблюдается перегиб в начале зоны реакции вблизи температуры 1200 °С, что близко к температуре плавления Ca₃N₂ (1195 °С [3]). Это служит указанием на то, что химическому взаимодействию предшествует плавление нитрида кальция.

Максимальная температура горения уменьшается с увеличением избытка кальцийсодержащего компонента (рис. 2). При этом увеличивается содержание азота в продукте (рис. 3). Уменьшение температуры

обусловлено тем, что избыточный нитрид кальция при горении смесей в атмосфере азота является инертном. Биметаллический нитрид Ni_2Mo_3N , видимо, является неустойчивым при температурах горения и образуется на стадии остывания образца, в ре-

зультате азотирования восстановленного металла. Разбавление инертным материалом и снижение температуры должны способствовать уменьшению размеров образующихся частиц металла, что способствует увеличению усвоения азота.

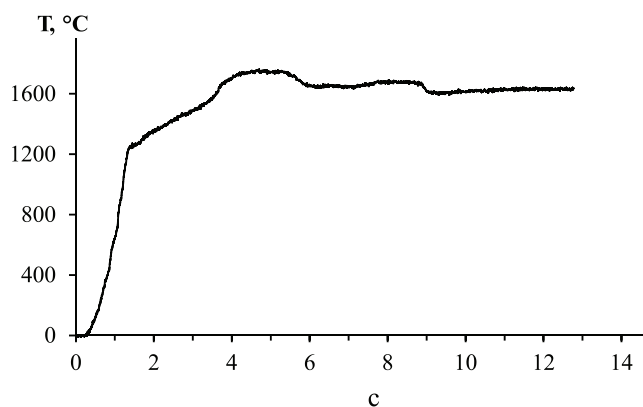


Рис. 1. Типичная термограмма горения состава с «n» = 2,75

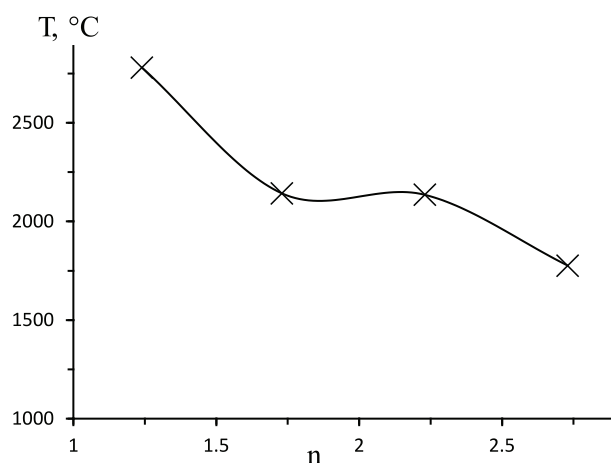


Рис. 2. Зависимость максимальной температуры горения от избытка кальцийсодержащего компонента «n»

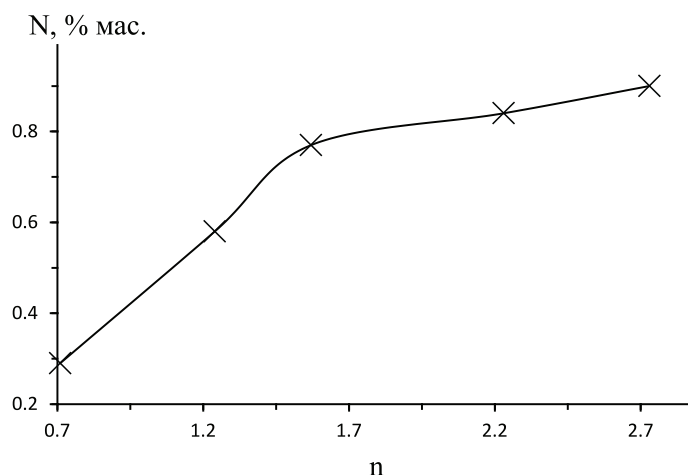


Рис. 3. Зависимость содержания азота в продукте горения после кислотного обогащения от избытка кальцийсодержащего компонента (n)

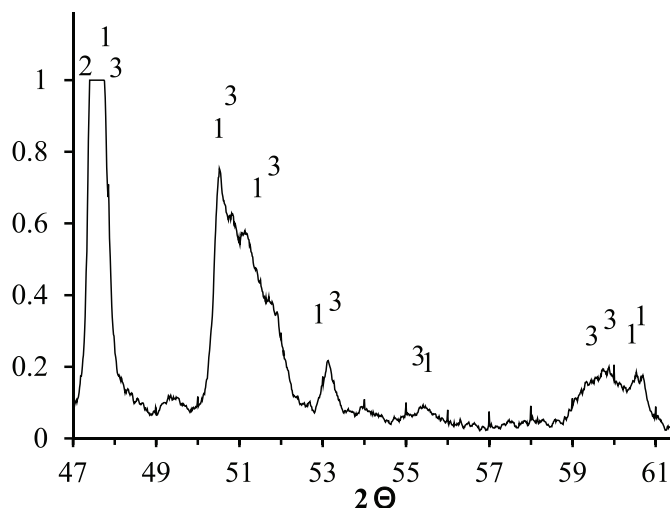


Рис. 4. Фрагмент рентгенограммы продукта горения смеси с $n = 2,75$:
1 – Ni_2Mo_3N ; 2 – Mo ; 3 – $NiMo$

После растворения соединений кальция в растворе соляной кислоты получается порошок дисперсностью до 315 мкм. Для ряда образцов проводили разделение этого порошка на фракции 0–40, 40–125 и 125–315.

Содержание азота в фракциях получилось следующим: 0–40 – 0,78 мас.%; 40–125 – 0,47 мас.%; 125–315 – 0,097 мас.%. Содержание азота в материале, полученном после кислотного обогащения, увеличивается с уменьшением размеров частиц, что объясняется увеличением реакционной поверхности.

Остаток после кислотного обогащения состоит в основном из фаз: твердого раствора Ni в Mo , $NiMo$ и Ni_2Mo_3N (рис. 4). Максимальное количество фазы Ni_2Mo_3N близко к 30% мас., что соответствует содержанию азота, близкому к 1% мас. Дальнейшее повышение содержания биметаллического нитрида в продукте, вероятно, может быть достигнуто путем уменьшения температуры горения и введения активных добавок.

Заключение

Материал, содержащий биметаллический нитрид Ni_2Mo_3N , может быть получен при горении смеси оксидов Ni и Mo с нитридом кальция в азоте.

Горение смеси $2NiO + 3MoO_3 + (11/3)n \cdot Ca_3N_2$ в атмосфере азота начинается после достижения температуры плавления кальция.

С увеличением избытка нитрида кальция уменьшается температура горения и увеличивается содержание азота в продукте.

После кислотного обогащения продуктов горения остается порошок, состоящий из фаз: твердый раствор Ni в Mo , $NiMo$ и Ni_2Mo_3N .

В частицах обогащенного порошка содержание азота увеличивается с уменьшением размеров частиц.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 15-03-06862.

Список литературы

1. Аврамчик А.Н. О возможности получения тугоплавких нитридов металлов в кальциетермическом процессе / Аврамчик А.Н., Браверман Б.Ш., Максимов Ю.М., Чухломина Л.Н. // Физика горения и взрыва. – 2014. – Т. 50. – № 5. – С. 37–38. (Avramchik A.N., Braverman B.Sh., Maksimov Yu.M., Chukhlomina L.N. // Combustion, Explosion, and Shock Waves 2014. – Vol. 50, № 5. – P. 532–533).
2. Аврамчик А.Н. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез нитрида кальция из элементов / Аврамчик А.Н., Чухломина Л.Н., Максимов Ю.М., Болгару К.А. // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 3. – С. 26–28.
3. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. – М.: Химия, 1978. – 392 с.
4. Самсонов Г.В., Кулик О.П., Полищук В.С. Получение и методы анализа нитридов. – Киев: Наукова думка, 2000. – 317 с.
5. Dr. Wei-Fu Chen, Hydrogen-Evolution Catalysts Based on Non-Noble Metal Nickel–Molybdenum Nitride Nanosheets / Dr. Wei-Fu Chen, Dr. Kotaro Sasaki, Dr. Chao Ma, Dr. Anatoly I. Frenkel, Dr. Nebojsa Marinkovic, Dr. James T. Muckerman, Dr. Yimei Zhu and Dr. Radoslav R. Adzic // Angewandte Chemie. – 2012. – Т. 124, № 25. – P. 6235–6239.
6. Jacobsen C.J.H. Novel class of ammonia synthesis catalysts // Chemical. Communications. – 2000. – № 12. – P. 1057–1058.
7. Wei Li Novel Ni_2Mo_3N /zeolite catalysts used for aromatics hydrogenation as well as polycyclic hydrocarbon ring opening / Wei Li, Zhiqiang Wang, Minghui Zhang, Keyi Tao // Catalysis Communications. – 2005. – Т. 6. – P. 656–660.

УДК 543.422.3-74

**РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИЙ СПОСОБ АНАЛИЗА ТЕРМОГРАММ
И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧИСТЫХ ВЕЩЕСТВ****Будко Е.В., Ямпольский Л.М., Ельцова Н.О.***ГБОУ ВПО «Курский государственный медицинский университет»**Министерства здравоохранения РФ, Курск, e-mail: budko.e@list.ru*

Применение термоаналитического подхода к выявлению структурно-функциональных особенностей чистых веществ и их смесей позволяет существенно повысить информативность и развить наши представления об особенностях процесса кристаллизации и связанных с ним возможных межкомпонентных взаимодействиях. Исследованы закономерности изменения температуры охлаждения расплава фармацевтических и пищевых субстанций от времени течения процесса. Авторами предложен метод расчетно-графического дифференцирования термограмм, позволяющий выявлять участки процессной стабильности для определения качественных и количественных характеристик основного компонента, наличия существующих кристаллизационных примесей; показано применение метода в анализе термограмм лекарственных РСО напроксен и лимонная кислота; проведено сравнительное изучение степени чистоты и разнородности существующих примесей некоторых образцов лимонной кислоты квалификации ХЧ и «для пищевой промышленности».

Ключевые слова: термограммы, кривые охлаждения, кристаллизация, расплавы, напроксен, лимонная кислота, анализ термограмм, расчетно-графический метод

**SETTLEMENT AND GRAPHIC THERMOGRAPHY ANALYSIS
AND ITS APPLICATION FOR THE CHARACTERIZATION OF PURE SUBSTANCES****Budko E.V., Yampolskiy L.M., Eltsova N.O.***Kursk State Medical University, Kursk, e-mail: budko.e@list.ru*

The using of thermoanalytical approach to identify the structural – functional characteristics of pure substances and mixtures can significantly increase the information and develop our understanding of the peculiarities of the crystallization process and related interconnect possible interactions. The regularities of changes in the temperature of the cooling melt pharmaceutical and nutritional substances from the process of the passage of time. The authors propose a method of settlement-graphic differentiation of thermal images, allowing to identify the areas of process stability to determine the qualitative and quantitative characteristics of the main components, the presence of the existing crystallization of impurities. It shows using the method in the analysis of thermal images standard sample drug naproxen and citric acid. A comparative study of the purity and heterogeneity existing impurities some samples of citric acid and chemically pure skill «for the food industry».

Keywords: thermal image, cooling curves, crystallization, melts, naproxen, citric acid, thermal images analysis, calculation and graphical method

Термоаналитические методы дают ценную информацию о физико-химических свойствах чистых веществ и смесей, связанных с особенностями кристаллизации их расплавов и возможным при этом межкомпонентном взаимодействии [2, 3].

Для интерпретации термограмм полученных в интегральной форме в координатах $T^{\circ}\text{C}(t)$, часто используются дифференциальные методы, позволяющие установить момент времени или температуру, при которой происходят наиболее значительные изменения в системе [1, 5], что превращает дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК) в метод выявления критических точек и условий их формирования. Например, калориметр теплового потока ДСК-500 позволяет получать результаты измерения аналитического сигнала в виде их производных (рис. 1). Однако это сужает диапазон восприятия и интерпретацию результатов, при этом оборудование является дорогостоящим и не общедоступным.

Инструментальные исследования, проводимые без использования дополнительных дифференцирующих препаративных действий и аппаратурной обработки информации, позволяют минимизировать воздействие погрешностей метода на результаты эксперимента. На наш взгляд, разработка простого расчетно-графического способа интерпретации первичных данных безэталонного эксперимента относительно холостой пробы позволит одновременно выявлять точки бифуркации и процессные плато на исходных кривых. Это повысит объективность интерпретации прямых (недифференциальных) экспериментальных данных.

Целью нашего исследования является разработка способа расчетно-графической интерпретации интегральных термограмм для выявления участков стабильности (процессных плато) и точек бифуркации основного процесса.

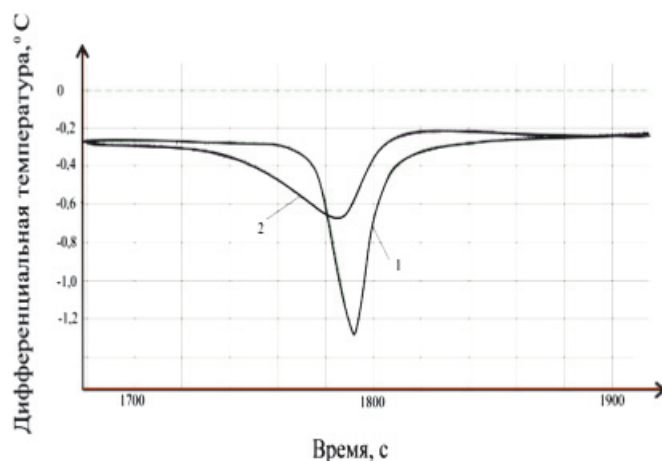


Рис. 1. Термограммы плавления образцов на калориметре ДСК-500

Материалы и методы исследования

В эксперименте использованы активные фармацевтические субстанции, соответствующие нормативной документации и отвечающие требованиям квалификации РСО: напроксен, лимонная кислота, субстанции квалификаций ХЧ и «пищевая» разных производителей для лимонной кислоты.

Температурный диапазон определялся исходя из значений температур плавления избранных чистых веществ. Эксперименты проводились с временным интервалом фиксации температуры в 10 с на приборе Баумана – Фрома. Теоретическое исследование экспериментальных функций $T(t)$ проводили предложенным нами дифференциальным расчетно-графическим методом анализа термограмм [4]. Обработку результатов проводили с использованием стандартного пакета прикладных программ.

Результаты исследования и их обсуждение

При анализе классической интегральной термограммы кристаллизующегося

лекарственного препарата напроксен на графической зависимости $T^{\circ}\text{C}(t, \text{с})$ наблюдается четкое плато (рис. 2, а), отражающее взаимную компенсацию равномерного охлаждения системы и ее разогрева в результате образования кристаллов с прочными и короткими связями.

Иначе говоря, кристаллизация напроксена представляет собой классический процесс. График зависимости его скорости от времени (дифференциальная кривая) (рис. 2, б) – показывает резкое снижение скорости при температуре кристаллизационного плато на интегральной термограмме. При совмещении этих кривых на трехкоординатном графике наблюдается полное соответствие во времени этих участков процессной стабилизации (рис. 2, в). Таким образом, совмещение данных кривых позволяет объективно выявить и количественно

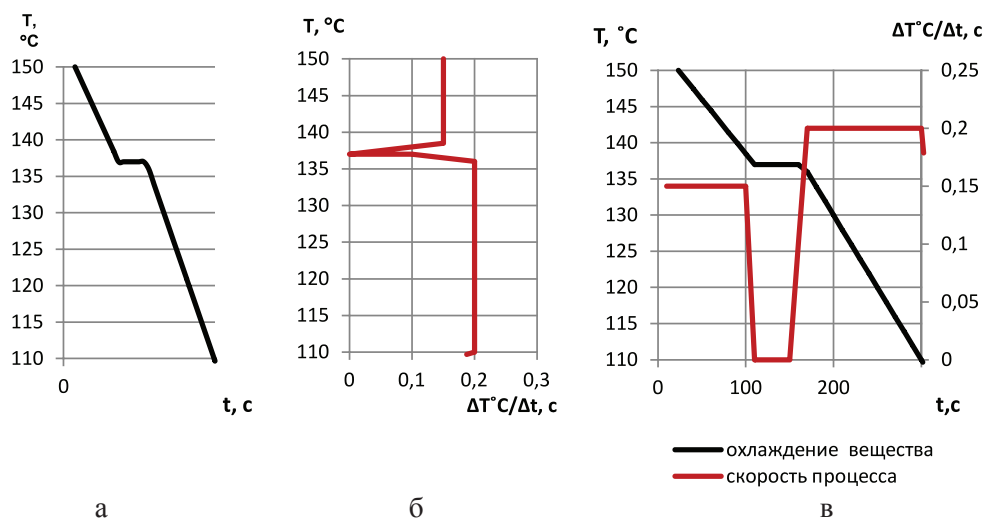


Рис. 2. Термограмма напроксена в интегральной (а) и дифференциальной (б) формах, совмещение графиков (в)

охарактеризовать участки активных превращений и процессной стабилизации. Минимальная скорость процесса, совмещаемая с максимальным температурным различием между общей температурой исследуемой системы и температуры пустого исследовательского сосуда ($\Delta T^{\circ}\text{C}$), наряду с узостью пика на кривой $T^{\circ}\text{C} (\Delta T/\Delta t)$, является признаком процессной стабильности системы.

Данный способ был нами применен для исследования образцов лимонной кислоты различного качества. Несмотря на то, что лимонная кислота является кристаллическим веществом и независимо от квалификации по чистоте, кристаллизационные процессы на ее интегральной термограмме значительно смазаны и сама кривая мало информативна (на примере РСО рис. 3, а). Это подтверждает структурную сложность и поликристалличность вещества.

(рис. 3, г) разностная кривая температур (ΔT) содержит два плато, соответствующие двум участкам процессной стабильности, которые при совмещении с кривой зависимости температуры от скорости процесса ($T^{\circ}\text{C} (\Delta T/\Delta t)$) отражают этапы кристаллизации. Наличие двух участков процессной стабильности подтверждает определенную поликристалличность исследуемой лимонной кислоты РСО.

Очевидно, источники и способы получения лимонной кислоты, уровень производства у изготовителей влияют на степень ее поликристалличности и чистоты. Несмотря на то, что лимонную кислоту раньше получали из сока лимона и биомассы махорки, в настоящее время основной путь промышленного производства – биосинтез из сахара или сахаристых веществ (меласса) промышленными штаммами гриба

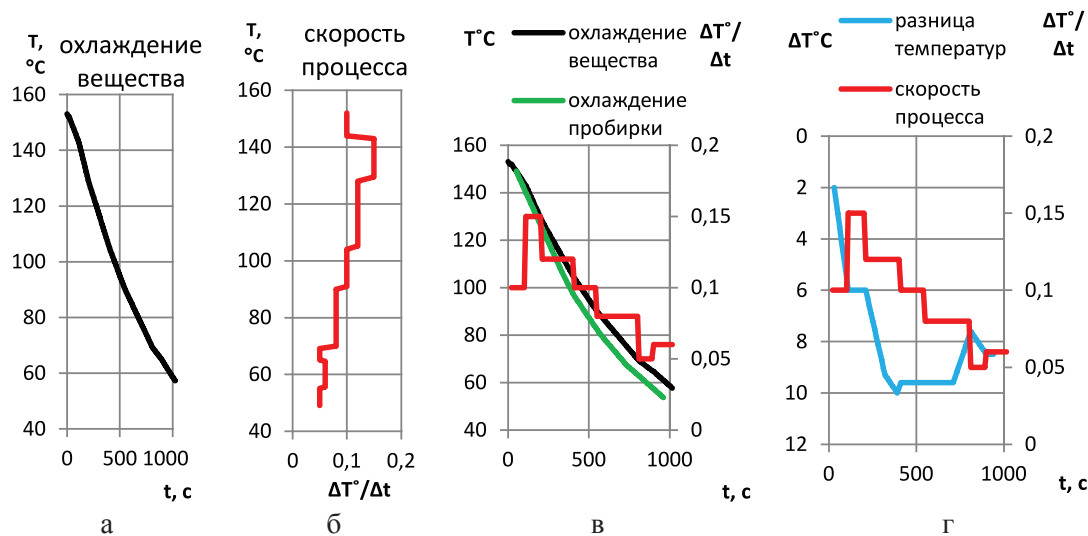


Рис. 3. Термограмма лимонной кислоты квалификации РСО в интегральной (А) и дифференциальной (Б) формах; совмещение кривых на трехкоординатных графиках (В, Г)

Скоростная зависимость процессов охлаждения $T^{\circ}\text{C} (\Delta T/\Delta t)$ (рис. 3, б) в отличие от напроксена показывает постепенное снижение скорости фазового перехода, что означает сложность и многоэтапность процесса кристаллизации. При построении трехкоординатного графика (рис. 3, в) для повышения эффективности оценки системы дополнительно вводим данные кривой охлаждения измерительного сосуда. Подобие температурных кривых охлаждения сосуда с пробой и пустой измерительной ячейки прибора (рис. 3, в) позволяет найти возникающий между ними прирост температур. Приведенная в трехкоординатном графике

Aspergillus niger. Возможен синтез лимонной кислоты по реакции кетена с ангидридом щавелевоуксусной кислоты.

В настоящее время производство лимонной кислоты активно интенсифицируется, что может вести к снижению качества. По данным исследования компании Abercade «Мировой рынок органических кислот: лимонная и молочная кислота», в 2010 году объем мирового рынка лимонной кислоты достиг приблизительно 1,6 млн т. По оценкам специалистов, емкость российского рынка составляет около 4% мирового рынка в денежном выражении, или около 10 тыс. т лимонной кислоты в год. Развитие рынка

в период с 2006 по 2010 года происходило главным образом за счет наращивания объема выпуска лимонной кислоты китайскими производителями.

Лимонная кислота выпускается в безводной или моногидратной форме с содержанием активного вещества 99,5–100,5%. Моногидратная лимонная кислота плавится при температуре 70–75 °С, но кристаллизационная вода теряется уже при хранении и интенсивно выделяется при температурах, превышающих 40–50 °С. При температуре выше 74 °С моногидрат лимонной кислоты полностью теряет кристаллизационную молекулу воды. Безводная лимонная кислота имеет температуру плавления 153 °С.

Для оценки качества лимонной кислоты на образцах разной степени чистоты различных производителей нами апробирован изложенный выше метод оценки стабильности процессных состояний основных компонентов. Были взяты образцы квалификации:

1) ХЧ («Химреактивы»);

2) пищевая (г. Новосибирск, «Приправыч»);

3) пищевая (Польша, «Galeo»);

4) пищевая (г. Москва, «Старая мельница»).

Заявленные количества лимонной кислоты не ниже 99,5%. Температуры плавления для образца 1 составили 153 °С, 2 – 133 °С, 3 – 141 °С, 4 – 148 °С.

Интегральные термограммы данных образцов $T^{\circ}\text{C}(t_c)$ по кривизне однотипны и не позволяют выявить разницу в характеристиках исходных субстанций, поэтому сразу перейдем к анализу кривых зависимости температур веществ $T^{\circ}\text{C}$ от скорости их охлаждения $(\Delta T/\Delta t)$. Отметим ступенчатость указанных графиков $T^{\circ}\text{C}(\Delta T/\Delta t)$ (рис. 4) и возможность выявления у образцов 1 и 4 близких температурных зон, в которых наблюдается достаточно резкий скоростной скачок при температурах $138 \pm 10^{\circ}\text{C}$.

Однако основную информацию получим после построения трехкоординатных графиков для исследуемых образцов лимонной кислоты $((\Delta T; \Delta T/(t)) (t_c))$ (рис. 5).

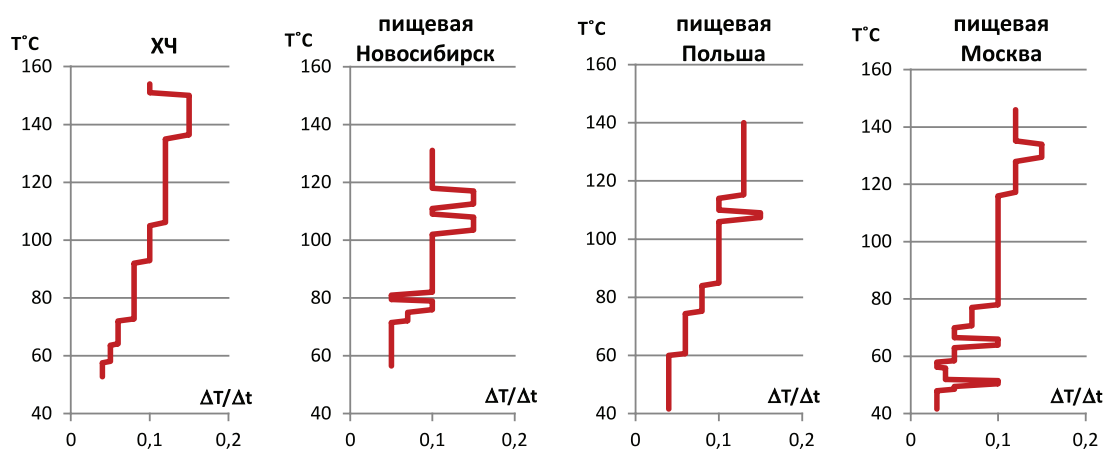


Рис. 4. Термограммы образцов лимонной кислоты в дифференциальной форме ($T^{\circ}\text{C}(\Delta T/\Delta t)$)

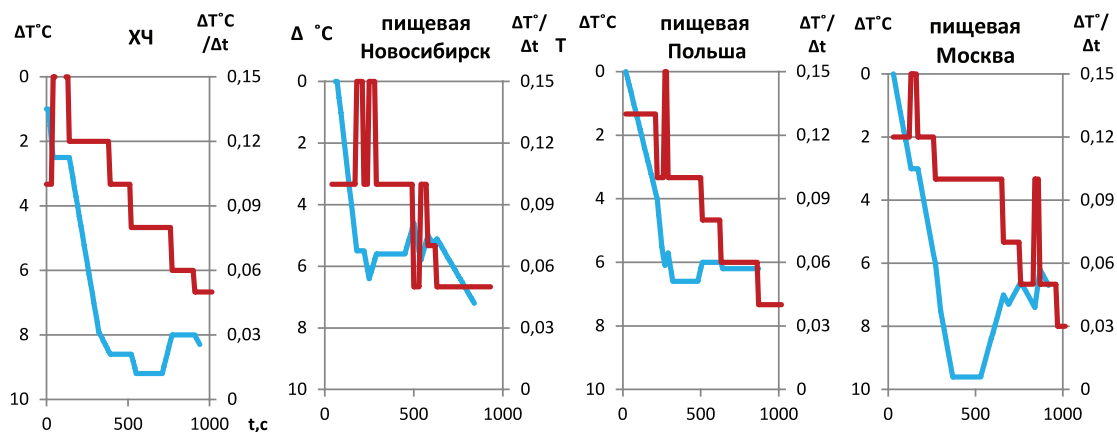


Рис. 5. Результат расчетно-графической обработки термограмм образцов лимонной кислоты в трехкоординатных графиках

Сопоставление кривых $\Delta T(t_c)$ и $\Delta T/\Delta t(t_c)$ позволяет отметить наличие трех относительно стабильных форм кристаллизации у лимонной кислоты ХЧ (рис. 5). Основной является наиболее устойчивая модификация, соответствующая $\Delta T=9$ по температуре, выделяющаяся на 500 секунде. Причем примеси проявляются после основной кристаллизации лишь на 750 секунде и примесный участок относительно небольшой.

Сравнение кривых $\Delta T(t_c)$ и $\Delta T/\Delta t(t_c)$ для пищевой лимонной кислоты № 2 показывает более низкую стабильность основной формы, ее относительно невысокую чистоту, достаточно большое количество активных разнородных примесей, о чем говорит небольшая величина ΔT , наличие нескольких интенсивных пиков на кривой $(\Delta T/\Delta t)(t)$. Лимонная кислота № 3 значительно более монокристаллична, но степень ее очистки от основного примесного компонента невелика. В целом кристаллизационный процесс более единообразен.

Пищевая лимонная кислота № 4 (рис. 5) достаточно высококачественна. В процессе производства достигается высокая степень монокристалличности, причем формируется основная достаточно устойчивая кристаллизационная форма. На 660 секунде начинают проявляться весьма разнородные примеси.

Таким образом, наиболее чистой при достаточно высокой монокристалличности является лимонная кислота ХЧ, хотя пищевая кислота № 4 в степени монокристалличности может с ней успешно конкурировать. Общее содержание основного вещества в лимонной кислоте ХЧ и пищевой № 4 приблизительно одинаково, однако в составе ХЧ четко прослеживается поликристалличность, что говорит о присутствии безводной формы и моногидрата. В пищевом продукте № 4 в основном присутствует достаточно стабильная форма лимонной кислоты, но степень ее очистки ниже.

Выводы

Таким образом, разработанный нами дифференциальный расчетно-графиче-

ский метод состоит в сопоставительном анализе совмещенных кривых зависимостей $\Delta T(t_c)$ и $\Delta T/\Delta t(t_c)$ и применим для выявления процессной стабильности основного компонента, определения степени его чистоты и разнородности существующих примесей.

В основе метода лежит интерпретация интегральных термограмм затвердевания расплавов, позволяющая за счет сопоставления разностных интегральных термограмм с зависимостями скоростей затвердевания от времени определять точки бифуркации и процессные плато на исходных кривых. Таким образом, возможность совмещать в одном графике экспериментальные и расчетные данные позволяет более полно интерпретировать основные этапы процесса.

Применение метода к анализу ряда субстанций лимонной кислоты дало возможность обоснованно различить образцы разной квалификации по чистоте при близком значении количества активного вещества. Кроме ХЧ, все образцы имеют примеси, затвердевающие при разных температурах и влияющие на процесс кристаллизации расплава основного вещества.

Список литературы

1. Агафонова Е.В., Моценский Ю.В., Ткаченко М.Л. Определение термодинамических параметров плавления сульфаметоксазола, триметоприма, карбамида, никодина и их двойных эвтектик методом дифференциальной сканирующей калориметрии // Журнал физической химии. – 2013. – № 8. – Т. 87. – С. 1301–1304.
2. Государственная фармакопея Российской Федерации. XII издания. – М.: Изд-во «Научный центр экспертизы средств медицинского применения», 2008. – 704 с.
3. Ельцова Н.О., Голубицкий Г.Б., Будко Е.В. Аналитические методы исследования стабильности фармацевтических композиций и совместимости их компонентов // Журнал аналитической химии. – 2014. – Т. 69, № 10. – С. 1–13.
4. Ельцова Н.О., Будко Е.В., Ямпольский Л.М. Исследование межкомпонентного взаимодействия лимонной кислоты и фенирамина малеата в модельных смесях методом калориметрии // Инновации в науке / Сб. ст. по материалам LI междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: Изд. АНС «СибАК», 2015. – № 11 (48). – Часть I. – С. 61–71.
5. Vecchio S., Rodante F., Tomassetti M. Thermal stability of disodium and calcium phosphomycin and the effects of the excipients evaluated by thermal analysis // Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. – 2001. – Vol. 24. – № 5–6. – P. 1111–1123.

УДК 543.422.3

**СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПРОТЕОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ,
ИММОБИЛИЗОВАННЫХ В СТРУКТУРУ БИОПОЛИМЕРОВ****¹Волосова Е.В., ¹Безгина Ю.А., ¹Пашкова Е.В., ¹Шипуля А.Н., ²Белик Е.В.**¹*Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь,
e-mail: Volosova_elena@mail.ru;*²*Ставропольский государственный медицинский университет
Минздрава России, Ставрополь*

Анализ литературных данных по иммобилизованным препаратам показывает, что повышение эффективности иммобилизации энзимов зависит от природы и степени очистки биокатализатора, оптимального состава и структуры используемого носителя, выбора метода иммобилизации, который не оказывает ингибирующего действия на активный центр энзима, что способствует сохранению активности фермента, кроме того, необходимой является оптимизация условий иммобилизации. Кинетические данные иммобилизованных ферментов имеют свои особенности, что также нужно учитывать при практическом использовании препаратов в биотехнологических процессах. В работе был предложен метод спектрофотометрического определения активности протеолитических ферментов, включенных в структуру биополимерных материалов. Представлены данные, свидетельствующие об индивидуальных для ферментов закономерностях зависимости физико-химических свойств, удельной активности и стабильности от типа полимерной матрицы и условий иммобилизации.

Ключевые слова: протеолитические ферменты, биоразлагаемые полимерные материалы, спектрофотометрический метод, активность

**SPECTROPHOTOMETRIC DETERMINATION OF PROTEOLYTIC ACTIVITY
OF THE ENZYME, IMMOBILIZED IN THE STRUCTURE OF BIOPOLYMERS****¹Volosova E.V., ¹Bezgina Yu.A., ¹Pashkova E.V., ¹Shipulya A.N., ²Belik E.V.**¹*Stavropol State Agrarian University, Stavropol, e-mail: Volosova_elena@mail.ru;*²*Stavropol State Medical University, Ministry of Health of Russia, Stavropol*

Analysis of the published data on the immobilized preparations shows that the efficiency of immobilization of enzymes depends upon the nature and degree of purification biocatalyst optimal composition and structure of the support used, the choice of the method of immobilization that does not exert an inhibitory effect on the active site of the enzyme, that contributes to the preservation of the enzyme activity, in addition necessary is to optimize the immobilization conditions. Kinetic data immobilized enzymes have the features that must also be considered in the practical use of preparations in biotechnological processes. The paper proposed a method for spectrophotometric determination of the activity of proteolytic enzyme, included in the structure of the biopolymer materials. Presented data showing individual patterns for the enzymes according the physicochemical properties of the specific activity and stability of the polymer matrix type, and immobilization conditions.

Keywords: proteolytic enzymes, biodegradable polymeric materials, spectrophotometric method, activity

Идеи создания композиций различных синтетических полимеров появились в 70-х годах XX века. На данный момент крупные в области производства полимерной продукции фирмы выдвинули свои версии биоразлагаемых материалов. Немецкая компания Bayer представила новый биоразлагаемый полиэфирамид. Полимер имеет полукристаллическую структуру и производится литьем под давлением или экструдирован на традиционном оборудовании. Сырьем для его производства является гексамителен диамин, бутандиол и адипиновая кислота. Получаемая пленка обладает степенью прозрачности, ранжируемой от полупрозрачной до прозрачной. Процесс биоразложения упаковки происходит в те-

чение 60-ти дней при контакте с бактериями и грибами [12]. Итальянская фирма Novamont SpA разработала четыре композиции материала марки Mater Bi, нетоксичного полиацетата на основе крахмала. Английская компания Environmental Polymers Group (EPG) работает над специальными сортами поливинилового спирта, который способен к биоразложению в горячей и холодной воде [4].

Разработка новых технологических процессов на основе биокатализаторов, иммобилизованных в структуры различной природы, открывает пути не только получения новых материалов, но и способствует совершенствованию уже имеющихся. Сохранение активности и стабильности биологических

веществ (в частности, ферментов) во времени связано с необходимостью создания биоспецифической основы и разработкой методов включения биологических субстанций в структуру материала-носителя.

Известен метод включения фермента в гель или микрокапсулы, ограниченные от раствора полупроницаемой (непроницаемой для макромолекул субстрата) мембраной, суть которого состоит в том, что молекулы фермента включаются в трехмерную сетку из тесно переплетенных полимерных цепей, образующих гель. Дополнительный вклад в удерживание фермента в сетке геля могут вносить также ионные и водородные связи между молекулой фермента и окружающими ее полимерными цепями. Для иммобилизации ферментов в геле существуют два основных способа. При одном из них фермент помещают в водный раствор мономера, а затем проводят полимеризацию, в результате чего образуется полимерный гель с включенными в него молекулами фермента. В реакционную смесь часто добавляют также бифункциональные (содержащие в молекуле две двойные связи) сшивающие агенты, которые придают образующемуся полимеру структуру трехмерной сетки. В другом случае фермент вносят в раствор готового полимера, который затем каким-либо образом переводят в гелеобразное состояние [9].

Химические методы иммобилизации ферментов в настоящее время являются доминирующим способом получения гетерогенных биокатализаторов. При подборе условий иммобилизации препарата Т.А. Ковалевой с соавторами выявлено, что наиболее предпочтительным носителем является анионообменная смола АВ-17-2П. Оптимальным методом иммобилизации является модифицированный глутаральдегидный способ ковалентного связывания фермента с носителем, заключающийся в процессе наращивания связывающего звена между ферментом и анионом при обработке рядом органических реагентов [7]. Согласно мнению И.В. Березина, А.А. Клёсова, по сравнению с иммобилизацией ферментов, иммобилизация клеток микроорганизмов имеет ряд преимуществ. При использовании иммобилизованных клеток отпадает необходимость выделения, очистки и иммобилизации ферментов – стадий часто наиболее дорогостоящих при осуществлении промышленного процесса. Ферменты в микроорганизмах находятся в своем естественном окружении, что повышает их

термостабильность и так называемую операционную стабильность (продолжительность работы в условиях технологического процесса) [3]. Известно много примеров, когда ферменты после выделения из организма быстро теряют активность, а иногда их вообще не удается выделить в активной форме. В то же время в составе клеток микроорганизмов они сохраняют каталитические свойства достаточно долго [6].

Наиболее широко применяемыми в клинической практике являются протеолитические ферменты. Поэтому большое количество исследований посвящено получению их иммобилизованных производных. Представляют интерес иммобилизованные системы, в которых биокаталитическое действующее начало (препарат фермента трипсина) включено в матрицу макропористого криогеля поливинилового спирта (ПВС) в составе частиц дисперсного наполнителя, распределенных по всему объему носителя, что позволяет значительно повысить содержание фермента в иммобилизованном биокатализаторе [10]. Первый тип подобных наполнителей – препараты ферментов, сшитых с полимером в растворе бифункциональным сшивающим агентом, содержащим необходимые химические группировки. Второй тип наполнителя разработан зарубежными учеными и представляет собой поперечно-сшитые ферментные кристаллы (ПСФК), или поперечно-сшитые ферменты (ПСФ), или поперечно-сшитые ферментные агрегаты (ПСФА). Такие препараты получают обработкой бифункциональными сшивающими агентами кристаллов фермента, раствора фермента или его агрегатов соответственно [13]. Третий тип наполнителя представляет собой какой-либо мелкодисперсный носитель с присоединенным ферментом; далее частицы подобного иммобилизованного препарата могут быть включены в матрицу криогеля ПВС.

Т.Н. Шеховцовой с соавторами обобщены результаты цикла исследований, посвященных разработке ферментативных методов определения биологически активных соединений – ингибиторов, активаторов и субстратов растворимых и иммобилизованных ферментов классов оксидоредуктаз (пероксидаз, алкогольдегидрогеназ) и гидролаз (щелочных и кислых фосфатаз), выделенных из различных источников. Обсуждены предложенные авторами новые оригинальные подходы к направленному повышению чувствительности, селективности и экспрессности методов. Приведены

многочисленные примеры использования разработанных ферментативных методик в анализе широкого круга объектов [11].

Поэтому перед авторами данной работы стояла задача разработки новых универсальных и совершенствования уже существующих биоактивных материалов с прогнозируемым сроком сохранения активности с использованием фотометрического метода анализа, пролонгируемым эффектом и способностью к биодеструкции.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования служили композиции, содержащие в качестве основы возобновляемый природный биоразлагаемый материал полисахарид – метилцеллюлозу. Для получения пластичной пленки в композиции вводили пластификатор (глицерин). В качестве дополнительных компонентов, для придания твердости пленочному покрытию, использовали природный белковый комплекс желатина.

Способ получения композиций, подвергающихся биодеструкции, представлен в работе авторов С.С. Аванесян, Е.В. Волосовой и др. [1]. Получали 3–5%-ный раствор метилцеллюлозы внесением ее в горячую воду, выдерживали 1,5–2 часа. Затем в полученный коллоидный раствор вносили желатин (3–5%-ный раствор) и пластификатор глицерин (0,5–1% от общей массы) для придания гибкости и интенсивно перемешивали. Полученную композицию наносили на гладкую стеклянную поверхность желаемой формы толщиной и оставляли на воздухе при температуре 20–22 °С на 2–3 суток до полного высыхания [5].

Для иммобилизаций был использован фермент трипсин, представляющий собой протеиназы, гидролизующие пептидные связи, отличающиеся друг от друга по месту действия на полипептидную цепь белка. Данные протеиназы относятся к мало-специфическим протеиназам или к ферментам тотального протеолиза. Благодаря своим свойствам трипсин важен не только в процессе пищеварения, но и в уничтожении чужеродного, в том числе и атипического, белкового материала.

Для иммобилизации трипсина в структуру пленочного материала была разработана следующая методика. В приготовленный коллоидный раствор метилцеллюлозы вводили раствор фермента в воде объемом 1 мл – 10 мг кристаллического трипсина в 100 мл 0,005 М раствора HCl. Затем формовали био пленки.

Количественное определение белка проводили методом О. Warburg и W. Christian (1941) сравнением поглощения белков при 280 и 260 нм на спектрофотометре СФ-46 (ГОСТ 15150-69), ООО «Уралмеханобр» (Россия) [8].

Определение протеолитической активности трипсина основано на количественном определении тирозина в продуктах расщепления казеина. Для этого готовили 1%-ный раствор казеина в 0,05 М ацетате натрия. К 1 мл полученного раствора казеина добавляли 1,5 мл фосфатного буфера (pH = 8,0), 0,5 мл раствора трипсина (10 мг трипсина в 100 мл 0,005 М HCl). Пробу термостатировали при 37 °С в течение 20 минут. Затем вносили 3 мл 10% трихлоруксусной кислоты (ТХУ). В качестве контроля использовали

пробу, аналогичную опытной, но ТХУ добавляли предварительно (до термостатирования). Осадок отделяли фильтрованием через бумажный фильтр. Оптическую плотность замеряли в пробе против контроля в кювете с толщиной слоя 1 см при длине волны 260 и 280 нм. Затем, исходя из оптической плотности, определяли количество тирозина в растворе и рассчитывали удельную активность фермента [2].

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ физико-химических свойств полученных пленок предполагал исследование спектров поглощения в УФ-области. Для определения удельной активности иммобилизованного фермента трипсина была разработана методика, где в качестве субстрата использовали казеин. 0,07 г пленки, содержащей 1,63 мг фермента, растворяли в 20 мл фосфатного буферного раствора pH = 8,15. Для определения активности брали аликвоту раствора пленки объемом от 0,01 до 1 мл. Удельную активность фермента трипсина определяли спектрофотометрически. Однопроцентный раствор казеина готовили растворением навески белка в 0,05 М растворе ацетата натрия. К 1 мл полученного раствора казеина добавляли 1,5 мл фосфатного буферного раствора (pH = 8,15); 0,5 мл раствора трипсина (10 мг трипсина в 100 мл 0,005 М HCl). Пробу термостатировали при температуре 37 °С в течение 20 минут. Затем вносили 3 мл 10% раствора трихлоруксусной кислоты (ТХУ). В качестве контроля использовали пробу, аналогичную опытной, но ТХУ добавляли до термостатирования. Осадок отделяли фильтрованием через бумажный фильтр. Оптическую плотность в пробе измеряли против контроля в кювете с толщиной слоя 1 см при длине волны 260 и 280 нм. По количеству тирозина в растворе рассчитывали удельную активность фермента.

Калибровочный график в координатах оптическая плотность – количество тирозина представлен на рис. 1.

Для анализа влияния количества фермента на удельную активность растворимого и иммобилизованного трипсина проводили постановку ферментативной реакции с различным содержанием фермента в исследуемых пробах (1,0·10⁻²; 2,5·10⁻² мг; 5,0·10⁻² мг; 7,5·10⁻² мг; 10·10⁻² мг) и одинаковым количеством казеина в них (1 мл 1% казеина – 0,01 г казеина). Для анализа использовали пять экспериментальных серий препарата иммобилизованного фермента трипсина (рис. 2).

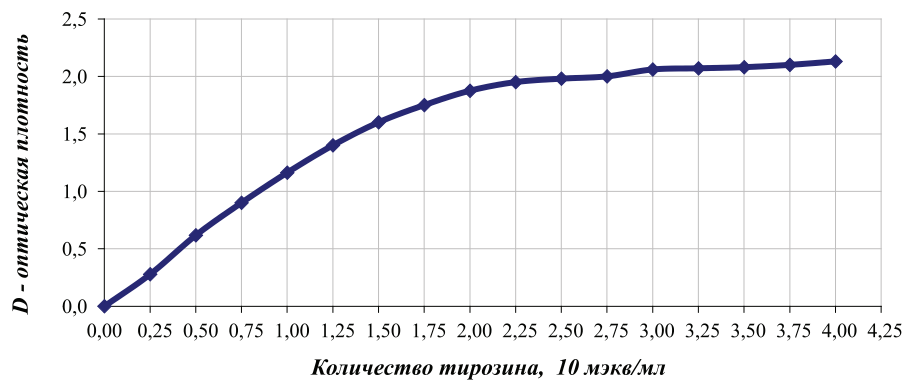


Рис. 1. Спектрофотометрическое определение тирозина в растворе

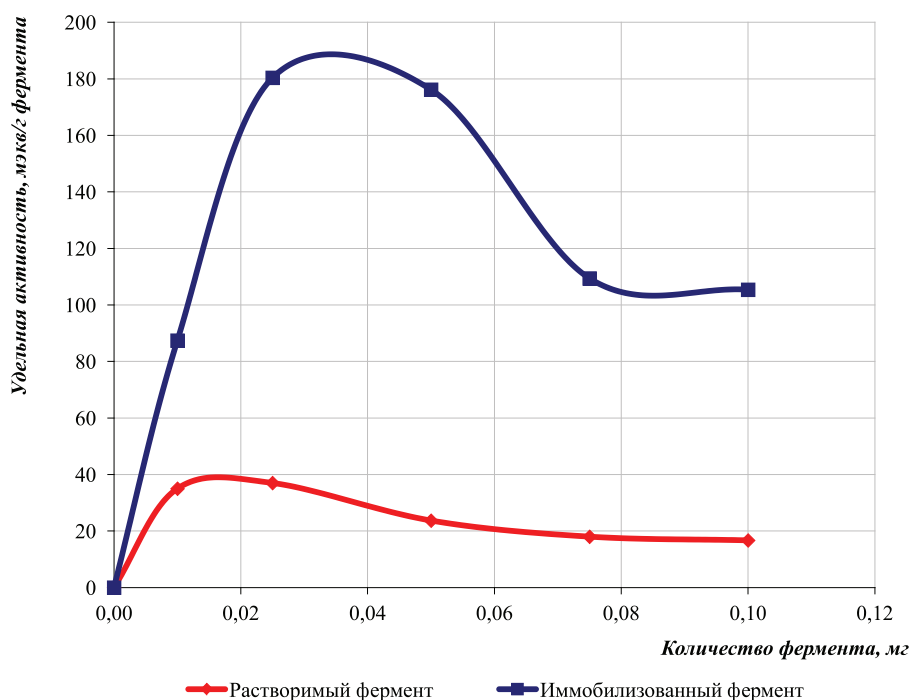


Рис. 2. Влияние количества растворимого и иммобилизованного трипсина, приходящегося на 1 мг субстрата казеина на удельную активность ферментативной реакции

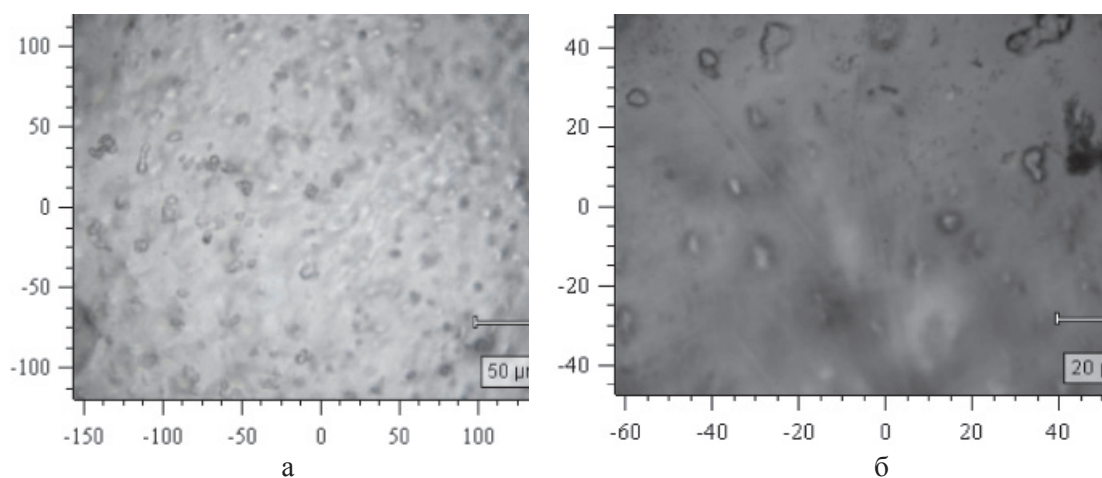


Рис. 3. Микрофотографии пленки с иммобилизованным ферментом трипсином: а – увеличение 20X; б – увеличение 50X

Анализ полученных данных позволил сделать вывод, что максимальная активность наблюдалась в том случае, когда на 1 мг субстрата казеина приходилось 0,025 мг трипсина. При этом значение удельной активности растворимого фермента составило 37 мэкв/г, иммобилизованного – 180,4 мэкв/г.

С помощью микроскопа марки RenishawInvia были сделаны микро-фотографии пленки с иммобилизованным ферментом (рис. 3, а, б).

Биоразлагаемые полимерные материалы с иммобилизованным ферментом отличаются гидрофильностью, эластичностью, прозрачностью и способностью к деградации путем гидролиза основных связей макромолекул основы при взаимодействии с физиологической средой.

Выводы

В результате проведенных исследований получены биodeградируемые полимерные материалы на основе высокомолекулярного природного полисахарида метилцеллюлозы, белкового комплекса желатина и пластификатора – глицерина. Проведена иммобилизация трипсина в пленочные материалы, спектрофотометрически определено, что трипсин, иммобилизованный в пленки, проявлял наибольшую удельную активность – 171,5 мэкв/г при pH среды – 8,15 и температуре – 37°C, время постановки ферментативной реакции – 20 минут. Определено, что оптимальное массовое соотношение компонентов в системе субстрат-фермент при постановке ферментативной реакции следующее: 1 мг казеина на 0,025 мг фермента (40:1), активностью, проявляющейся к концу эксперимента. Включение в состав биоразлагаемых полимерных материалов биологически

активных веществ, в частности различных ферментов, обладающих определенным набором свойств, делает возможным расширить спектр представленных на рынке ранозаживляющих материалов.

Список литературы

1. Аванесян С.С., Андрусенко С.Ф., Волосова Е.В., Воробьева О.В., Каданова А.А. Способ получения композиций, подвергающихся биодеструкции на основе простого эфира целлюлозы // Патент России № 2395540 С 2. 2010, Бюл. № 21.
2. Алейникова Т.Л., Рубцова Г.В. Руководство к практическим занятиям по биологической химии. – М.: Изд-во Высшая школа, 1988. – С. 44–69.
3. Березин И.В., Клесов А.А., Швядас В.К. и др. Инженерная энзимология. – М.: Высшая школа, 1987. – 144 с.
4. Буряк В.П. Биополимеры – настоящее и будущее // Полимерные материалы. – 2005. – № 12 (79). – С. 22–27.
5. Воробьева О.В., Иванова А.М., Аванесян С.С., Волосова Е.В., Андрусенко С.Ф. Модификация природных полимеров для синтеза материалов подвергающихся биодegradации // Химия в интересах устойчивого развития. – 2011. – № 19. – С. 137–140.
6. Масько А.А., Морозова А.А., Лыга Л.К., Галушко Н.А. Иммобилизация трипсина на углеволокнистых носителях, различающихся текстурой, пористостью и химией поверхности // Прикладная биохимия и микробиология. – 1994. – Т. 28. № 2. – С. 211–216.
7. Ковалева Т.А., Кожокина О.М., Багно О.П., Трофимова О.Д., Беленова А.С. Иммобилизация гидролитических ферментов на анионитах // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2008. – Т. 8. № 6. – С. 1035–1041.8. Дарбре А. Практическая химия белка: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – С. 22–23.
8. Устинов М.Ю., Артеменко С.Е., Овчинникова Г.П., Вихорева Г.А., Гузенко А.Н. Состав и свойства биodeградируемых полимеров // Химические волокна. – 2004. – № 3. – С. 25–28.
9. Шаскольский Б.Л. Биотехнология // Теоретический и научно-практический журнал. – 2009. – № 1. – С. 71–80.
10. Шеховцова Т.Н., Мугинова С.В., Веселова И.А. Enzymatic methods of analysis: novel approaches and applications // Известия Российской академии наук. Серия химическая. – 2007. – № 4. – С. 583.
11. Vaaden B., Carnevale K. Production and consumption of polypropylene fibers and filaments move on // The Chemical Journal. – 2005. – № 6–7. – P. 43.
12. Cao, L. Immobilised enzymes. / L. Cao, L. van Langen, R.A. Sheldon // Curr. Opinion in Biotechnol. – 2003. – Vol. 11. – № 14. – P. 387–394.

УДК 581.192

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЯТИ УРОЖАЕВ МИСКАНТУСА СОРТА СОРАНОВСКИЙ: РАСТЕНИЕ В ЦЕЛОМ, ЛИСТ, СТЕБЕЛЬ

Гисматулина Ю.А.

ФГБУН «Институт проблем химико-энергетических технологий» Сибирского отделения
Российской академии наук, Бийск, e-mail: julja.gismatulina@rambler.ru

В настоящей работе представлены результаты по определению химического состава разных морфологических частей пяти урожаев мискантуса сорта Сорановский, выращенного на плантации ИПХЭТ СО РАН (г. Бийск). Установлено, что целое растение у всех пяти урожаев мискантуса характеризуется химическим составом в следующих диапазонах: массовая доля ЖВФ 2,81–5,71%, зольность 3,57–6,30%, массовая доля кислотонерастворимого лигнина 20,13–23,81%, массовая доля пентозанов 18,57–25,33%, массовая доля целлюлозы 41,70–53,60%. Установлено, что независимо от возраста плантации большая доля нецеллюлозных компонентов (ЖВФ – 3,40–7,70% против 1,28–4,30%; зола – 7,53–11,50% против 1,43–2,96%; кислотонерастворимый лигнин – 21,99–25,30% против 14,95–20,51%), за исключением пентозанов содержится в листе. Целлюлоза (48,10–56,58% против 35,95–43,68%) и пентозаны (22,98–27,91% против 19,78–20,83%) сосредоточены в стебле. Установлено, что с увеличением возраста мискантуса повышается массовая доля целлюлозы и снижается содержание нецеллюлозных компонентов. Происходит увеличение массовой доли целлюлозы с 41,70% (для годовалого целого растения) до 53,60% (для пятилетнего целого растения) и уменьшение нецеллюлозных компонентов, а именно: ЖВФ – с 5,71 до 3,57%, зольность – с 6,30 до 3,57%, массовой доли кислотонерастворимого лигнина – с 22,23 до 20,13%, массовой доли пентозанов – с 25,33 до 18,57% соответственно. Полученные результаты говорят о целесообразности переработки мискантуса с целью получения целлюлозы. Установлено, что для выделения целлюлозы целесообразней использовать стебель мискантуса с целью получения целлюлозы высокого качества и с большим выходом.

Ключевые слова: мискантус сорта Сорановский, жировосковая фракция, целлюлоза по Кюршнеру, зольность, пентозаны, кислотонерастворимый лигнин

COMPARATIVE CHEMICAL COMPOSITION OF FIVE MISCANTHUS VAR. 'SORANOVSKIY' HARVESTS: WHOLE PLANT, LEAF, AND STEM

Gismatulina Yu.A.

Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences, Biysk, e-mail: julja.gismatulina@rambler.ru

The paper reports the result from determining chemical compositions of different morphological parts of five Miscanthus var. «Soranoskiy» harvests grown on a plantation of IPCET SB RAS (Biysk). The whole plant for all of the feedstock samples was found to have the following ingredients: 2,81–5,71% fat-wax fraction, 3,57–6,30% ash content, 20,13–23,81% acid-insoluble lignin, 18,57–25,33% pentosans, and 41,70–53,60% cellulose. The highest amount of non-cellulosic components (3,40–7,70% fat-wax fraction versus 1,28–4,30%; 7,53–11,50% versus 1,43–2,96%; 21,99–25,30% acid-insoluble lignin versus 14,95–20,51%), exclusive of pentosans, was detected in the leaf, regardless the plantation age. Cellulose (48,10–56,58% versus 35,95–43,68%) and pentosans (22,98–27,91% versus 19,78–20,83%) are abundant in the stem. With age increment of the plantation, the cellulose content was found to increase and the non-cellulosics content to decrease in the plant. The cellulose content rises from 41,70% (for a 1-year-old whole plant) to 53,60% (for a 5-year-old whole plant) and the non-cellulosics percentage diminishes, specifically, from 5,71 to 3,57% for fat-wax fraction, from 6,30 to 3,57% for ash fraction, from 22,23 to 20,13% for acid-insoluble lignin, and from 25,33 to 18,57% for pentosans. The findings speak of the expedience of the *Miscanthus* conversion in order to produce pulp. It has been established that it is more preferred to utilize the *Miscanthus* stem to obtain a high-quality pulp in a high yield.

Keywords: Miscanthus var. «Soranoskiy», fat-wax fraction, Kirschner cellulose, ash content, pentosans, acid-insoluble lignin

Целлюлоза является наиболее распространенным природным биополимером. Благодаря ряду ценных свойств, таких как высокая прочность, биосовместимость, нетоксичность, биоразлагаемость и доступность, целлюлоза является востребованным продуктом многоцелевого назначения и стартовой основой для получения широкого спектра новых материалов [6]. Исторически в России крупномасштабное производство целлюлозы традиционно было ориентировано на древесину. Тем не менее недревес-

ные источники целлюлозы: лен, конопля, тростник, солома злаков – представлены и обоснованы в современном справочнике химика-технолога промышленно значимыми видами сырья [4]. Поиск нового сырья, дающего высокие урожаи биомассы с высоким содержанием целлюлозы, выращиваемого традиционными методами сельского хозяйства, может оказаться весьма перспективным способом вовлечения новых источников высококачественной целлюлозы для многоцелевого использования [7].

Особый интерес представляет энергетическая культура мискантус – род многолетних травянистых растений семейства мятликовых. За рубежом активно ведутся исследования по возможности использования различных видов мискантуса: в основном мискантуса гигантского (*Miscanthus giganteus*), мискантуса китайского (*Miscanthus sinensis*) и мискантуса сахароцветкового (*Miscanthus sacchariflorus*) [9]. В настоящее время зарубежными исследователями установлено, что это мискантус зарекомендовал себя в качестве перспективного целлюлозосодержащего сырья как для производства целлюлозы и продуктов ее химической модификации, так и для биотехнологического получения растворимых углеводов и биотоплива [9, 10]. Химический состав биомассы мискантуса различных генотипов по зарубежным источникам представлен в основном целлюлозой 40–60% и лигнином 10–30% [8, 9].

По мнению Г.А. Булаткина и Г.В. Митенко [1], в ближайшие годы среди энергетических культур основное внимание будет отведено мискантусу китайскому (*Miscanthus sinensis* Andersson). В России в 2006 году в ИЦиГ СО РАН выведена авторская форма мискантуса китайского сорта Сорановский (веерник китайский *Miscanthus sinensis* Andersson), с измененной структурой корневой системы, образующей длинные побеги с ростовыми почками и быстро колонизирующей почвенное пространство, создавая сплошную и ровную (без кочек) плантацию мискантуса. Мискантус не требователен к почвам и имеет высокий прирост биомассы на уровне 10–15 т/га/год. Максимальная продуктивность посадок достигается на 3–4-й год, после чего ежегодный урожай биомассы сохраняется до 15–20 лет [7].

Известно, что химический состав злаков и других недревесных растений зависит от следующего ряда факторов: генотип, тип почвы, используемые питательные вещества, возраст посадки, биоклиматическое местоположение и погода в течение сельскохозяйственного сезона. Кроме того, функция определенной морфологической части растения принципиально влияет на соотношение трех полимеров: целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Известно, что морфологические части соломы злаковых культур имеют разный химический состав. Так, в междоузлиях содержится больше целлюлозы, а больший процент золы, в которой основным компонентом служит кремнезем – нерастворимая зола, наблюда-

ется в листьях и пазухах листьев. Больший процент лигнина содержится в сердцевинах узлов и в листьях [3, 11].

Поскольку отсутствуют данные по химическому составу листа и стебля мискантуса, а также зависимости состава от возраста плантации, целью данной работы было определение химического состава разных морфологических частей пяти урожаев мискантуса сорта Сорановский.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являлись пять урожаев мискантуса сорта Сорановский – *Miscanthus sinensis* Andersson, веерник китайский различного возраста, выращенные на экспериментальной делянке ИПХЭТ СО РАН (г. Бийск) при полном отсутствии агротехнических приемов (подкормки, полива, рыхления и борьбы с сорняками), а именно: урожай 2011 года (возраст плантации 1 год), урожай 2012 года (возраст плантации 2 года), урожай 2013 года (возраст плантации 3 года), урожай 2014 года (возраст плантации 4 года), урожай 2015 года (возраст плантации 5 лет).

Для исследования химического состава мискантуса брали зрелые растения с наибольшей высотой и соцветиями-метелками, характеризующими спелость мискантуса. Растение разделяли на морфологические части: лист и стебель отдельно. Измельчение всех образцов мискантуса проводили ножницами. Определение химического состава проводили в целом растении и листе и стебле отдельно.

Определение зольности (в пересчете на абсолютно сухое сырьё – а.с.с.), массовой доли (м.д.) экстрактивных веществ – жировосковой фракции (ЖВФ) (экстрагент – дихлорметан, а.с.с.), м.д. кислотонерастворимого лигнина (а.с.с.), м.д. целлюлозы методом Кюршнера (а.с.с.) проводили по стандартным методикам анализа растительного сырья [5]. Влажность определяли на анализаторе влажности МВ 23/МВ 25 («ОНАУС», США).

Результаты исследования и их обсуждение

Химический состав разных морфологических частей пяти урожаев мискантуса сорта Сорановский представлен в таблице.

Как следует из представленных данных, целое растение у всех пяти урожаев мискантуса характеризуется химическим составом в следующих диапазонах: м.д. ЖВФ 2,81–5,71%, зольность 3,57–6,30%, м.д. кислотонерастворимого лигнина 20,13–23,81%, м.д. пентозанов 18,57–25,33%, м.д. целлюлозы 41,70–53,60%. Полученные результаты согласуются с зарубежными данными для различных генотипов мискантуса в части основных компонентов: целлюлозы и лигнина [8, 9]. Целлюлоза является главным компонентом, составляющим 40–60% и формирующим каркас, гемицеллюлозы (в частности, пентозаны) составляют 20–40% и являются матричным веществом, состоящим из различных полисахаридов, на лигнин приходится 10–30%, он обеспечивает жесткость структуры [8, 10].

Химический состав разных морфологических частей пяти урожаев мискантуса сорта Сорановский

| Год урожая мискантуса, возраст плантации | Морфологическая часть мискантуса | Массовая доля компонентов*, % | | | | |
|--|----------------------------------|-------------------------------|-------|--------|-----------|-----------------------|
| | | ЖВФ | зола | лигнин | пентозаны | целлюлоза по Кюршнеру |
| 2011 год; 1 год | Целое растение | 5,71 | 6,30 | 22,23 | 25,33 | 41,70 |
| | Л | 7,70 | 11,50 | 23,94 | 20,66 | 38,74 |
| | С | 4,30 | 2,96 | 20,51 | 27,91 | 48,10 |
| 2012 год; 2 года | Целое растение | 4,78 | 6,20 | 23,81 | 23,59 | 44,45 |
| | Л | 6,12 | 8,71 | 25,30 | 20,67 | 40,51 |
| | С | 3,96 | 2,09 | 18,43 | 26,58 | 50,22 |
| 2013 год; 3 года | Целое растение | 2,81 | 4,62 | 21,11 | 25,10 | 47,84 |
| | Л | 4,61 | 7,53 | 23,92 | 20,83 | 43,68 |
| | С | 1,85 | 2,03 | 17,16 | 27,41 | 50,70 |
| 2014 год; 4 года | Целое растение | 4,98 | 5,87 | 21,99 | 21,00 | 53,10 |
| | Л | 6,32 | 9,23 | 23,64 | 20,32 | 43,29 |
| | С | 2,68 | 2,13 | 14,95 | 22,98 | 55,72 |
| 2015 год; 5 лет | Целое растение | 3,57 | 3,57 | 20,13 | 18,57 | 53,60 |
| | Л | 6,14 | 6,66 | 22,81 | 19,98 | 43,57 |
| | С | 2,09 | 2,19 | 16,05 | 20,92 | 56,58 |

Примечания: * – в пересчете на а.с.с.; Л – лист; С – стебель.

Установлено, что независимо от возраста плантации большая доля нецеллюлозных компонентов (ЖВФ – 3,40–7,70% против 1,28–4,30%; зола – 7,53–11,50% против 1,43–2,96%; кислотонерастворимый лигнин – 21,99–25,30% против 14,95–20,51%), за исключением пентозанов содержится в листе. Целлюлоза (48,10–56,58% против 35,95–43,68%) и пентозаны (22,98–27,91% против 19,78–20,83%) сосредоточены в стебле. Сравнивая пять урожаев мискантуса между собой, можно сделать вывод о том, что целлюлоза превалирует в стебле, а нецеллюлозные компоненты (за исключением пентозанов) – в листе. Учитывая, что данное растение было выращено на неподготовленной почве и без подкормки удобрениями, повышенную зольность в листьях мискантуса можно объяснить только ботанической особенностью растения (злак) [3]. Механическую прочность листьев мискантуса можно связать именно с повышенным содержанием лигнина, придающего пластичность длинным и гибким листьям растения. Следует отметить, что разрыв между значениями м.д. целлюлозы в стебле и листе значителен и составляет от 7% до 13%. Такие результаты сравнения позволяют сделать вывод о том, что независимо от возраста растения стебель характеризуется большим содержанием целлюлозы и меньшим содержанием нецеллюлозных компонентов, в сравнении с листом. Исключением явля-

ются пентозаны (нецеллюлозный компонент), которые преобладают в стебле.

Следует отметить, что в 1983 году в Киеве П.Г. Кроткевич с коллегами [2] аналогичным образом исследовал химический состав листа и стебля мискантуса китайского – *Miscantus sinensis* Anderss, выращенного в ботаническом саду. В результате было показано, что целлюлоза сосредоточена в большей степени в стебле, чем в листе (54,3% против 45,1%), а зола, лигнин и пентозаны – в листе, что в большинстве согласуется с нашими результатами, приводимыми в данной статье про мискантус сорта Сорановский.

Такие результаты сравнения позволяют сделать вывод, о том, что независимо от места произрастания и возраста растения стебель мискантуса характеризуется большим содержанием целлюлозы и меньшим содержанием нецеллюлозных компонентов, в сравнении с листом. Такая закономерность была установлена и для соломы злаковых культур [3].

Кроме зависимости содержания целлюлозы и нецеллюлозных компонентов от морфологической части мискантуса отмечается еще одна закономерность: увеличение м.д. целлюлозы и снижение нецеллюлозных компонентов по мере взросления плантации. Так на примере пяти урожаев мискантуса, выращенных в г. Бийске, прослеживается увеличение м.д. целлюлозы год

от года – с 41,70% (для годовалого целого растения) до 53,60% (для пятилетнего целого растения) и уменьшение нецеллюлозных компонентов, а именно: ЖВФ – с 5,71 до 3,57%, зольности – с 6,30 до 3,57%, м.д. кислотонерастворимого лигнина – с 22,23 до 20,13% м.д. пентозанов – с 25,33 до 18,57% соответственно.

Полученные результаты говорят о целесообразности переработки мискантуса с целью получения целлюлозы. Установлено, что независимо от возраста растения стебель мискантуса является более перспективным для выделения целлюлозы, чем лист, так как в нем большое содержание целлюлозы при меньшем содержании нецеллюлозных компонентов, за исключением м.д. пентозанов. Показано, что по мере увеличения возраста плантации повышается содержание целлюлозы и уменьшается содержание нецеллюлозных компонентов.

Выводы

Определен химический состав разных морфологических частей пяти урожаев мискантуса сорта Сорановский, выращенных на плантации ИПХЭТ СО РАН. Установлено, что целое растение у всех пяти урожаев мискантуса характеризуется химическим составом в следующих диапазонах: массовая доля ЖВФ 2,81–5,71%, зольность 3,57–6,30%, массовая доля кислотонерастворимого лигнина 20,13–23,81%, массовая доля пентозанов 18,57–25,33%, массовая доля целлюлозы 41,70–53,60%.

Установлено, что независимо от возраста плантации большая доля нецеллюлозных компонентов (ЖВФ – 3,40–7,70% против 1,28–4,30%; зола – 7,53–11,50% против 1,43–2,96%; кислотонерастворимый лигнин – 21,99–25,30% против 14,95–20,51%), за исключением пентозанов содержится в листе. Целлюлоза (48,10–56,58% против 35,95–43,68%) и пентозаны (22,98–27,91% против 19,78–20,83%) сосредоточены в стебле.

Установлено, что с увеличением возраста мискантуса повышается массовая доля целлюлозы и снижается содержание нецеллюлозных компонентов. Происходит увеличение массовой доли целлюлозы с 41,70% (для годовалого целого растения)

до 53,60% (для пятилетнего целого растения) и уменьшение нецеллюлозных компонентов, а именно: ЖВФ – с 5,71 до 3,57%, зольности – с 6,30 до 3,57%, массовой доли кислотонерастворимого лигнина – с 22,23 до 20,13% массовой доли пентозанов – с 25,33 до 18,57% соответственно.

Полученные результаты говорят о целесообразности переработки мискантуса с целью получения целлюлозы. Установлено, что для выделения целлюлозы целесообразней использовать стебель мискантуса с целью получения целлюлозы высокого качества и с большим выходом.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-33-00232 «мол_а».

Список литературы

1. Булаткин Г.А., Митенко Г.В. Перспективная энергетическая культура // Экологический вестник России. – 2013. – № 7. – С. 31–36.
2. Кроткевич П.Г., Шумейко К.И., Волошина Л.А., Нестерчук Е.Н., Петрунь И.И. Морфологические особенности и химический состав *Miscanthus sinensis* Anderss. как сырья для целлюлозно-бумажной промышленности // Растительные ресурсы. – 1983. – Т. XIX, Вып. 3. – С. 321–323.
3. Лендвел П., Моравли Ш. Химия и технология целлюлозного производства: пер. с нем. Ф.Б. Дубровинской; под ред. А.Ф. Тищенко. – М.: Лесн. промышленность, 1978. – С. 131–133, 447–450.
4. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. – Ч. II. – СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2005. – 1142 с.
5. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. – М.: Экология, 1991. – 320 с.
6. Ткачева Н.И., Морозов С.В., Григорьев И.А., Могнов Д.М., Колчанов Н.А. Модификация целлюлозы – перспективное направление в создании новых материалов // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. – 2013. – Т. 55, № 8. – С. 1086–1107.
7. Шумный В.К., Вепрев С.Г., Нечипоренко Н.Н., Горячковская Т.Н., Слынько Н.М., Колчанов Н.А., Пельтек С.Е. Новая форма Мискантуса Китайского (Веерника Китайского *Miscanthus Sinensis* Anders.) как перспективный источник целлюлозосодержащего сырья // Вестник ВОГиС. – 2010. – Т. 14, № 1. – С. 122–126.
8. Brosse N., Dufour A., Meng X., Sun Q., Ragauskas A. *Miscanthus*: a fast-growing crop for biofuels and chemicals production // Biofuels, Bioprod., Bioref. – 2012. – Vol. 6, I. 5. – P. 580–598.
9. Michael B. Jones, Mary Walsh. *Miscanthus*: For Energy and Fibre. Published by Earthscan, 2001. – 192 p.
10. Somerville C., Youngs H., Taylor C., Davis S.C., Long S.P. Feedstocks for lignocellulosic biofuels // Science. – 2010. – Vol. 329. – P. 790–792.
11. Sun R.C. Cereal Straw as a Resource for Sustainable Biomaterials and Biofuels – Chemistry, Extractives, Lignins, Hemicelluloses and Cellulose. – Oxford: Elsevier, 2010. – P. 30–34.

УДК 541.64:547.553.1

**ТЕРМОСТОЙКОСТЬ И КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ
ПРОЦЕССА ДЕСТРУКЦИИ ПОЛИАЗОМЕТИНЭФИРОВ,
ПОЛУЧЕННЫЕ НА ОСНОВЕ АРОМАТИЧЕСКИХ ДИАЛЬДЕГИДОВ
И 4,4'-ДИАМИНОТРИФЕНИЛМЕТАНА**

¹Китиева Л.И., ²Борукаев Т.А.

¹ФГБОУ ВПО «Ингушский государственный университет», Назрань, e-mail: malika2015@mail.ru;

²ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»,
Нальчик, e-mail: boruk-chemical@mail.ru

Исследованы термические свойства полиазометинэфиров, полученных на основе ароматических диальдегидов и 4,4'-диаминотрифенилметана. Обнаружено, что поведение всех полиазометинэфиров в процессе деструкции одинаково. Определены кинетические параметры процесса деструкции полиазометинэфиров: энергия активации и порядок реакции. Проведенные исследования термических свойств полиазометинэфиров на основе ароматических диальдегидов и 4,4'-диаминотрифенилметана показали, что данные полимеры обладают достаточно высокой термостойкостью. Показано, что с увеличением температуры анализа энергия активации увеличивается, это говорит о том, что скорость разложения полимера увеличивается, а теплоемкость уменьшается, то есть происходит деструкция полимера. Приведены результаты термических исследований полиазометинэфиров, содержащие в основной цепи триарилметановые фрагменты и различные шарнирные группы. Показано, что разложение всех исследуемых полимеров протекает плавно и в одну ступень, при этом математической обработкой кривых ТГ и ДТГ рассчитаны кинетические параметры процесса деструкции вещества: энергия активации и порядок реакции.

Ключевые слова: полиазометинэфиры, термостойкость, деструкция, энергия активации, порядок реакции

**THERMAL STABILITY AND KINETIC PARAMETERS OF DESTRUCTION
POLIAZOMETINEFIROV DERIVED FROM AROMATIC DIALDEHYDE
AND 4.4'- DIAMINOTRIFENILMETANA**

¹Kitieva L.I., ²Borukaev T.A.

¹Ingush State University, Nazran, e-mail: malika2015@mail.ru;

²Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, e-mail: boruk-chemical@mail.ru

Studied thermal properties poliazometin esters derived from aromatic aldehydes and 4,4 diaminotrifenilmetana². It is found that the behavior of all degradation during poliazometinefirov same. The kinetic parameters of the degradation process poliazometinefirov: activation energy and reaction order. Conducting research on the thermal properties of poliazometinefirov aromatic dialdehydes and 4.4'- diaminotrifenilmetana showed that these polymers have a relatively high heat resistance. It is shown that with increasing temperature, the analysis of activation energy increases, this suggests that the rate of degradation of the polymer increases, and the heat capacity is reduced, that is, causes the polymer degradation. The results of thermal studies poliazometinefirov containing in the main chain triaryl methane fragments and various hinge group. It is shown that the decomposition of the studied polymers proceeds smoothly and in one step, and the mathematical processing of TG and DTG curves are calculated kinetic parameters of the process of destruction of matter: the activation energy and reaction order.

Keywords: poliazometinefirov, heat, destruction, activation energy, reaction order

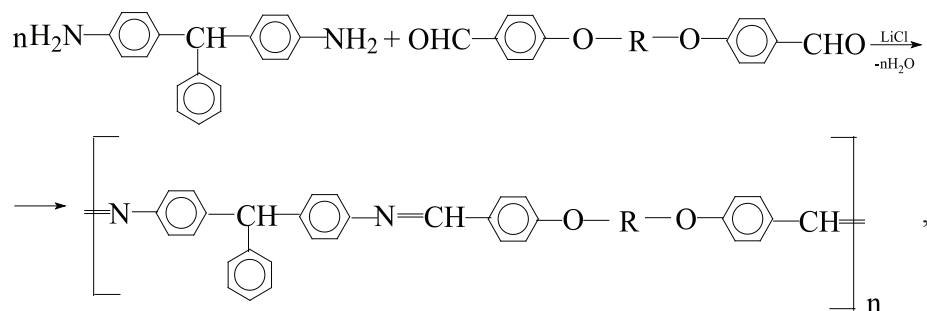
В настоящее время полимеры, содержащие в основной цепи азометиновые связи, представляют интерес в качестве перспективных материалов при создании устройств отражения оптической информации – различного рода индикаторах, дисплеях и т.д. [1, 2]. Не так широко, но достаточно эффективно полимеры с азометиновыми связями используются в устройствах для управления оптическим излучением. Однако во всех случаях основным недостатком таких соединений является неплавкость и нерастворимость данных полимеров. В свою очередь использование для синтеза полиазометинов таких мономеров, как ароматические диальдегиды и 4,4'-диаминотрифенилме-

тан, позволяет получить полимеры, которые достаточно легко перерабатываются из расплава и раствора [3]. При этом представляет интерес выяснение влияния строения исходных мономерных веществ – ароматических диальдегидов различного строения на температурные характеристики полученных полиазометинэфиров.

Экспериментальная часть

В настоящей работе приводятся результаты термических исследований полиазометинэфиров, полученные низкотемпературной поликонденсацией 4,4'-диаминотрифенилметана с различными ароматическими диальдегидами

в среде апротонного растворителя – диметилформамиде (ДМФА) согласно методике [4] по общей схеме:



где

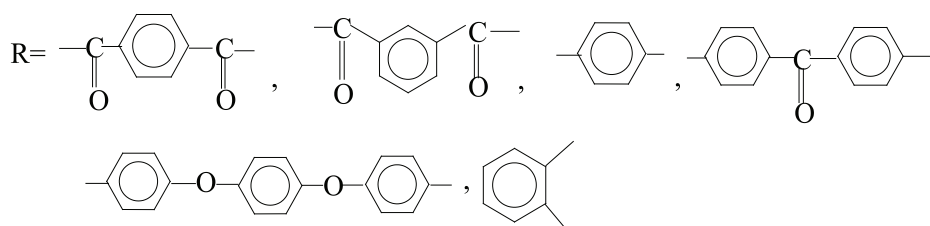
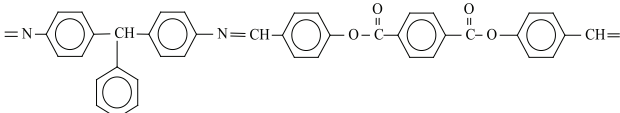
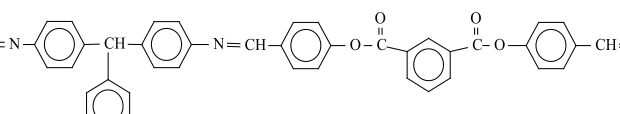
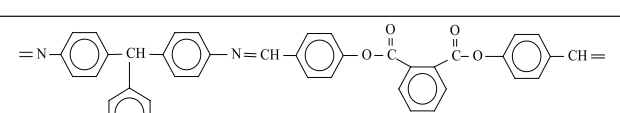
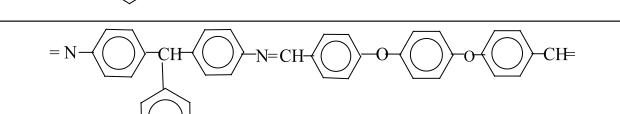
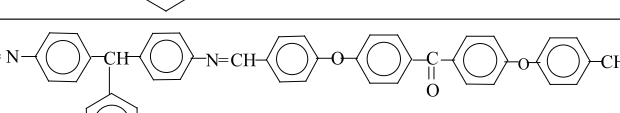
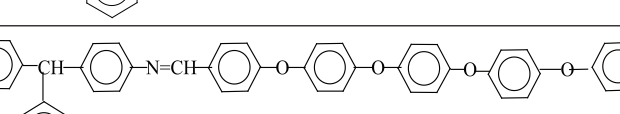


Таблица 1

Свойства полиазометинэфиров

| № п/п | Полимер | $\eta_{\text{пр}}^*$, дл/г | \overline{M}_w^{**} | $T_{\text{пл}}$, °C |
|-------|---|-----------------------------|-----------------------|----------------------|
| P-1 |  | 0,51 | 23500 | 210 ± 1 |
| P-2 |  | 0,60 | 25500 | 131 ± 1 |
| P-3 |  | 0,43 | 21000 | 103 ± 1 |
| P-4 |  | 0,72 | 27200 | 127 ± 1 |
| P-5 |  | 0,52 | 23800 | 110 ± 1 |
| P-6 |  | 0,78 | 28000 | 132 ± 1 |

Примечания:

* 0,05 г полимера в 10 мл CHCl_3 при 20 °C;

** 0,01 г полимера в 10 мл ТГФ при 20 °C (ГПХ).

При этом синтезированные полимеры представляли собой растворимые и плавкие материалы, обладающие следующими характеристиками (табл. 1).

Исследование термических свойств (термогравиметрический анализ – ТГА и дифференциально-термическая гравиметрия – ДТГ) полиазометинэфиров проводили на приборе TGA/DSK фирмы Labsys (Германия) в динамическом режиме нагревания, в интервале температур 20–800 °С в токе аргона. Навески веществ составляли 100 мг, скорость нагревания – 2,5 град/мин, ток аргона 100 мл/мин. В качестве эталона использовали просеянный Al_2O_3 .

Термогравиметрические кривые полимеров показали небольшую потерю веса до 2% при 112 °С, которое можно объяснить потерей влаги. Термограммы полимеров приведены на рис. 1 и 2. Разложение полимера начинается при 5% потере веса при 240 °С для полимера на основе 4,4'-диаминотрифенилметана и 4,4'-диформилдифенокситерефталата (P-1), 292 °С – для полимера на основе 4,4'-диаминотрифенилметана и 4,4'-диформилдифеноксиизофталата (P-2) и на основе 4,4'-диаминотрифенилметана и 4,4'-диформилдифеноксифталата (P-3) и 310 °С для полимера на основе 4,4'-диаминотрифенилметана и 4,4'-диформилдифенокси-1,4-бензола (P-4) (табл. 2).

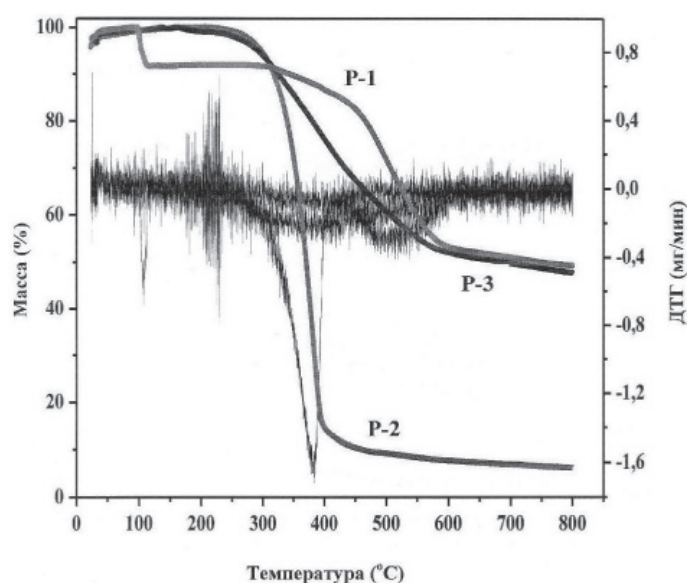


Рис. 1. ТГА и ДТГ кривые для полимеров P-1, P-2 и P-3

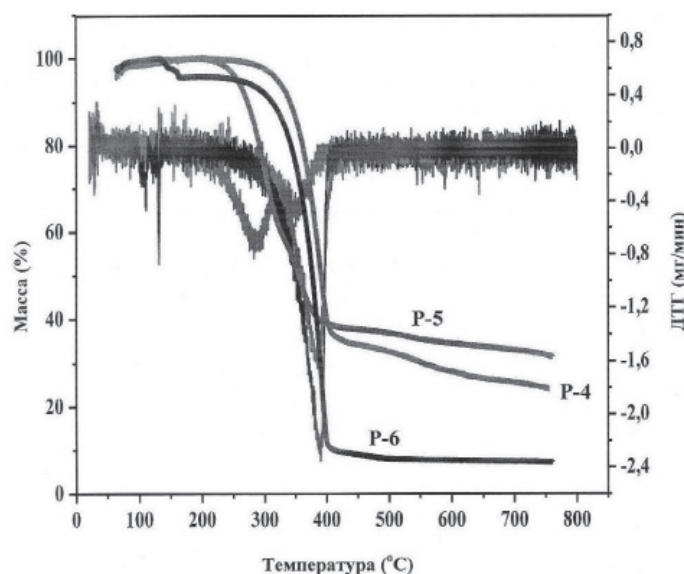


Рис. 2. ТГА и ДТГ кривые для полимеров P-4, P-5 и P-6

Таблица 2

Результаты ТГА полиазометинэфиров

| Номер полимера | Температура (°C) потери веса | | | | | | ${}^1T_{\text{разл}}, \text{ } ^\circ\text{C}$ |
|----------------|------------------------------|------|------|------|------|------|--|
| | 5 % | 10 % | 20 % | 30 % | 40 % | 50 % | |
| P-1 | 320 | 340 | 480 | 525 | 575 | 750 | 390 |
| P-2 | 274 | 319 | 339 | 353 | 365 | 371 | 325 |
| P-3 | 292 | 324 | 380 | 440 | 510 | 650 | 280 |
| P-4 | 310 | 330 | 355 | 370 | 380 | 390 | 325 |
| P-5 | 220 | 255 | 274 | 292 | 318 | 348 | 245 |
| P-6 | 240 | 300 | 330 | 352 | 370 | 375 | 310 |

Примечание. ${}^1T_{\text{разл}}$ (°C) – среднее значение.

Таблица 3

Остаток полимеров после ТГА

| Полимер | P-1 | P-2 | P-3 | P-4 | P-5 | P-6 |
|---------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| R, % | 46,63 | 6,01 | 47,73 | 14,84 | 24,55 | 1,48 |

Все полимеры показали простой процесс разложения, протекающий в одну ступень. При этом температура начала разложения полимеров от 250 °C и выше. Согласно ГОСТ 29127-91 был вычислен остаток вещества после анализа (табл. 3).

Как видно из табл. 3, значение остатка полимеров после ТГА значительно меньше для полиазометинэфиров P-6 и P-2. Очевидно, простые эфирные связи в макромолекуле полимера P-6, а в полимере P-2 – 1,3-замещенного бензольного кольца способствуют образованию достаточно низкомолекулярных, летучих продуктов разложения материалов, которые и способствуют снижению остатка вещества после разложения данных полимеров. В отличие от них, высокие значения остатка вещества после разложения полимеров P-1 и P-3 обусловлены образованием не летучих веществ, т.е. повышенной склонностью данных полимеров к коксованию.

Математической обработкой кривых ТГ и ДТГ можно рассчитать кинетические параметры процесса деструкции вещества: энергию активации E_a и порядок реакции n [5].

Предложено несколько методов расчета, из которых наибольшее применение нашел метод Фримена и Кэрола [5]. Согласно этому методу для текущей скорости разложения ω_t конденсированного вещества, соответствующей температуре T , в данный момент времени t справедливо выражение

$$\omega_t = \frac{dG}{dt} = \frac{Z}{\beta} \cdot e^{\frac{E_a}{RT}} \cdot G^n, \quad (1)$$

где G – масса образца, расходуемого в реакции, мг; T – температура, К; Z – предэкспонента в уравнении Аррениуса; β – скорость

нагрева, К/мин; R – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль·К).

Если уравнение (1) применить для двух температур при $\beta = \text{const}$, то после логарифмирования и вычитания одного из другого получаем следующее выражение:

$$\Delta \log \omega_t = n \Delta \log G - \frac{E_a}{2,303R} \cdot \Delta \frac{1}{T}, \quad (2)$$

где $\omega_t = \omega_t \beta$.

Таким образом, из одной кривой ТГ могут быть найдены величины энергии активации и порядок реакции. Для этого необходимо построить зависимости $\lg \omega_t$ от $\lg G$ и $\lg \omega_t$ от $1/T$. По тангенсу угла наклона первой из них находят порядок реакции n , второй – энергию активации:

$$E_a = 2,303 \cdot R \cdot \text{tga}. \quad (3)$$

Исходя из вышесказанного, авторами были рассчитаны порядок реакции и энергия активации в каждой точке потери веса (табл. 4).

Проанализировав результаты анализа, можно отметить, что поведение всех полимеров идентично. Природа разложения полимеров объясняется разрушением азометиновой связи (–NC = N–), простой (–O–) и сложной эфирных связей (–C(O)O–) и образованием конечных продуктов.

Как видно из табл. 3, с увеличением температуры анализа энергия активации увеличивается, это говорит о том, что скорость разложения полимера увеличивается, а теплоемкость уменьшается, то есть происходит деструкция полимера. Исходя из значений порядка реакции следует, что для

Таблица 4

Кинетические параметры процесса деструкции полимеров

| Полимер | Кинетические параметры | Потеря веса, % | | | | | |
|---------|------------------------|----------------|------|------|------|-------|-------|
| | | 5 % | 10 % | 20 % | 30 % | 40 % | 50 % |
| P-1 | E_a , кДж | 1,26 | 0,32 | 3,03 | 3,99 | 3,31 | 4,11 |
| | n | 0,16 | 0,11 | 0,25 | 0,26 | 0,18 | 0,17 |
| P-2 | E_a , кДж | 2,58 | 3,57 | 5,40 | 6,42 | 7,58 | 12,56 |
| | n | 0,26 | 0,58 | 0,64 | 0,64 | 0,67 | 0,36 |
| P-3 | E_a , кДж | 1,02 | 1,26 | 1,98 | 2,71 | 3,105 | 2,91 |
| | n | 0,26 | 0,21 | 0,20 | 0,21 | 0,21 | 0,18 |
| P-4 | E_a , кДж | 1,78 | 2,86 | 3,90 | 5,83 | 7,27 | 10,98 |
| | n | 0,43 | 0,45 | 0,44 | 0,55 | 0,62 | 0,86 |
| P-5 | E_a , кДж | 1,37 | 2,93 | 3,99 | 4,06 | 4,25 | 3,82 |
| | n | 0,43 | 0,62 | 0,49 | 0,33 | 0,43 | 0,58 |
| P-6 | E_a , кДж | 0,64 | 1,27 | 3,62 | 6,73 | 6,78 | 10,17 |
| | n | 0,20 | 0,22 | 0,44 | 0,67 | 0,59 | 0,53 |

образцов на основе 4,4'-диаминотрифенилметана и 4,4'-диформил-дифеноксифталата; 4,4'-диформилдифеноксидифенилметана; 4,4'-диформилдифеноксидифенилметана и 4,4'-диформилдифеноксидифенилэфира с увеличением температуры порядок реакции увеличивается, следовательно, идет реакция деструкции полимера. Для образцов на основе 4,4'-диаминотрифенилметана и 4,4'-диформилдифеноксидифенилметана и на основе 4,4'-диаминотрифенилметана и 4,4'-диформилдифеноксидифенилметана величина n практически не меняется с увеличением температуры. Следовательно, эти полимеры являются наиболее термостойкими.

Таким образом, исследования термических свойств полиазометинэфиров на основе ароматических диальдегидов и 4,4'-диаминотрифенилметана показали, что данные полимеры обладают достаточно высокой термостойкостью. При этом расчеты кинетических параметров деструкции – энергия активации и порядок реакции показали, что полиазометинэфиры на основе 4,4'-диаминотрифенилметана и 4,4'-диформилдифе-

нокситерефталата, 4,4'-диаминотрифенилметана и 4,4'-диформилдифеноксифталата, являются наиболее термостойкими.

Список литературы

1. Борукаев Т.А., Гасташева М.А., Залова Т.В., Китиева Л.И. Исследование полиазометинэфиров на основе ароматических диальдегидов и 4,4'-диаминотрифенилметана с помощью рентгенографического фазового анализа // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8–6. – С. 1372–1376.
2. Гребенкин М.Ф., Иващенко А.В. Жидкокристаллические материалы. – М.: Химия, 1989. – 288 с.
3. Китиева Л.И., Борукаев Т.А., Султыгова З.Х. Сравнительный анализ термостойкости полиазометинэфиров, полученных на основе ароматических диальдегидов и 4,4'-диаминотрифенилметана // Вестник современной науки. – Волгоград, 2015. – № 10.
4. Залова Т.В., Борукаев Т.А. Синтез новых ароматических полиазометинэфиров и исследование их свойств // Пластические массы. – 2010. – № 7. – С. 19–23.
5. Залова Т.В., Борукаев Т.А., Тхакахов Р.Б., Карамурзов Б.С. Новые ароматические диальдегиды и получение полиазометинэфиров на их основе // Пластические массы. – 2008. – № 10. – С. 22–6.
6. Томилин М.Г., Пестов С.М. Свойства жидкокристаллических материалов. – М.: Политехника, 2005. – 296 с.
7. Shanon S., Moukhina E., Kaisersberger E. Temperature dependence of the time constants for deconvolution of heat flow curves // J. Thermochim. – 2009. – P. 234.

УДК 547.564.2 + 543.429.23

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ, ТАУТОМЕРИИ И ДИМЕРИЗАЦИИ НОВЫХ ПЕРЗАМЕЩЕННЫХ НИТРОЗОФЕНОЛОВ С ПИРИДИНОВЫМИ ЗАМЕСТИТЕЛЯМИ

¹Кукушкин А.А., ¹Роот Е.В., ²Кондрасенко А.А., ¹Скрипальщикова А.В.,
¹Субоч Г.А., ¹Товбис М.С.

¹Сибирский государственный технологический университет, Красноярск, e-mail: tovbis@bk.ru;

²Институт химии и химической технологии СО РАН, Красноярск

Производные перзамещенных пара-аминофенолов нашли применение в качестве антиаритмических препаратов. По данным литературы, среди производных этих соединений также имеются вещества, проявляющие анальгетическую, противовоспалительную и антибактериальную активность. Недавно опубликован ряд работ, в которых описано получение перзамещенных пара-нитрозофенолов, из которых в одну стадию, путем восстановления, синтезированы соответствующие аминофенолы. В настоящей работе приведены экспериментальные данные по свойствам ранее не известных перзамещенных нитрозофенолов с пиридиновыми заместителями в кольце. Строение синтезированных веществ изучали современными физико-химическими методами УФ, ИК, ЯМР ¹H спектроскопии. Доказано, что такие нитрозофенолы существуют в виде двух таутомеров, между которыми устанавливается равновесие: пара-нитрозофенол – пара-бензохинонмонооксим. Оксимная форма преобладает в растворе диметилсульфоксида, нитрозофенольная – в растворе хлороформа. Для нитрозофенольной формы при увеличении концентрации вещества наблюдается димеризация молекул нитрозофенола с образованием азодиоксида.

Ключевые слова: перзамещенный пара-нитрозофенол, пара-аминофенол, пиридиновый заместитель, таутомерия, пара-бензохинонмонооксим, димеризация, спектроскопия ЯМР¹H

SPECTROSCOPIC VERIFICATION OF STRUCTURE, TAUTOMERISM AND DIMERIZATION IN NEW EXHAUSTIVELY SUBSTITUTED PARA-NITROSOPHENOLS WITH PYRIDINE SUBSTITUENT'S

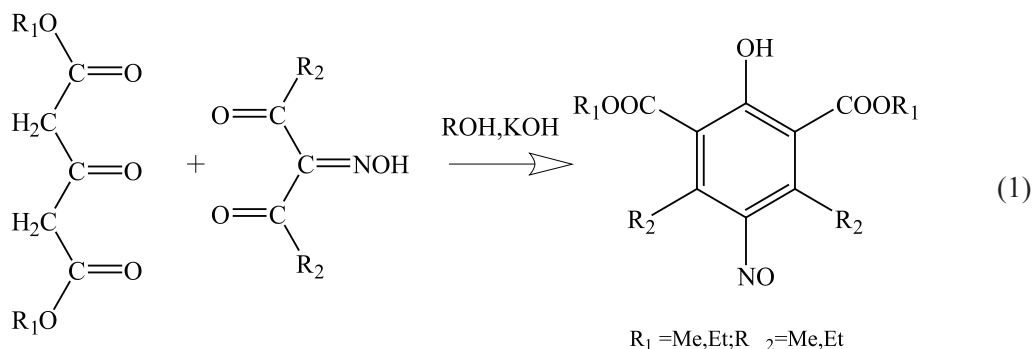
¹Kukushkin A.A., ¹Root E.V., ²Kondrasenko A.A., ¹Skripalschikova A.V.,
¹Suboch G.A., ¹Tovbis M.S.

Exhaustively substituted *para*-aminophenol derivatives are used as antiarrhythmic pharmaceuticals. According to the literature of derivatives are compounds that exhibit analgesic, anti-inflammatory and antibacterial activity. Recently was published a number of papers, which describes the preparation exhaustively substituted *para*-aminophenols by one-step reducing the corresponding *para*-nitrosophenols. In this paper we present experimental data on the properties of previously unknown persubstituted *para*-nitrosophenols with pyridine substituents in the ring. The structure of the synthesized compounds is proved by modern physical methods: UV, NMR, IR spectroscopy. It is proved that tautomer equilibrium exist between *para*-nitrosophenol and *para*-benzoquinonemonooxime. Oxime form predominates in a dimethyl sulfoxide solution, nitrosophenol form – in a solution of chloroform. The increase in the concentration of the nitrosophenol in a chloroform solution leads to the dimerization of the nitrosophenol molecules with formation of dimer is a structure of azodioxide.

Keywords: exhaustively substituted *para*-nitrosophenol, *para*-aminophenol, pyridine substituent, tautomerism, *para*-benzoquinonemonooxime, dimerization, NMR¹H spectroscopy

Постоянный интерес к новым производным перзамещенных нитрозофенолов существует в связи с тем, что из них легко, путем восстановления, можно перейти к полностью замещенным аминофенолам [5, 8]. Такие аминофенолы проявляют раз-

личные виды биологической активности [4]. Перзамещенные нитрозофенолы получают по реакции между изонитрозо-β-дикетонами и диалкиловыми эфирами ацетондикарбоновой кислоты в щелочной среде [2] (схема (1)).



Недавно, пользуясь данным методом, удалось ввести в молекулы нитрозофенолов пиридиновые заместители [2]. Выбор таких соединений обусловлен тем, что введение пиридинового фрагмента в органические молекулы может усилить их биологическую активность [1]. В то же время на сегодняшний день совершенно не изучено поведение перзамещенных нитрозофенолов с пиридиновым заместителем в кольце в органических растворителях, в каких таутомерных формах они находятся, могут ли эти молекулы димеризоваться.

Цель исследования. Изучение структуры и физико-химических свойств перзамещенных нитрозофенолов с пиридиновым заместителем в ядре. Исследование таутомерного равновесия между нитрозофенольной и хинооксимной формами, доказательство димеризации молекул нитрозофенола.

Материалы и методы и исследования

Структура перзамещенных нитрозофенолов с пиридиновым заместителем в кольце подтверждена спектральными методами анализа. УФ спектры записывали на спектрофотометре HELIOS OMEGA в этаноле либо в 0,1 н водном растворе едкого кали. Спектры ЯМР ¹H регистрировали в ДМСО-d₆, в гексадецилоацетоне, в дейтерохлороформе и в D₂O на приборе Bruker Avance III 600,13 МГц. ИК спектры получены на ИК микроскопе SpectRA TECH InspectIR на базе ИК Фурье-спектрофотометра Impact 400. Элементный анализ выполняли на автоматическом CHNS-анализаторе EUROEA3000 [6]. Взвешивание образцов производилось на весах Sartorius CP2P (Германия).

Результаты исследования и их обсуждение

Для решения поставленной цели мы ввели изонитрозо-β-дикетоны с пиридиновым заместителем в реакцию циклизации с диметилловым и диэтиловым эфирами ацетондихлоруксусной кислоты по методу [2] и получили шесть перзамещенных нитрозофенолов с пиридиновыми заместителями в виде калиевых солей (схема (2)).

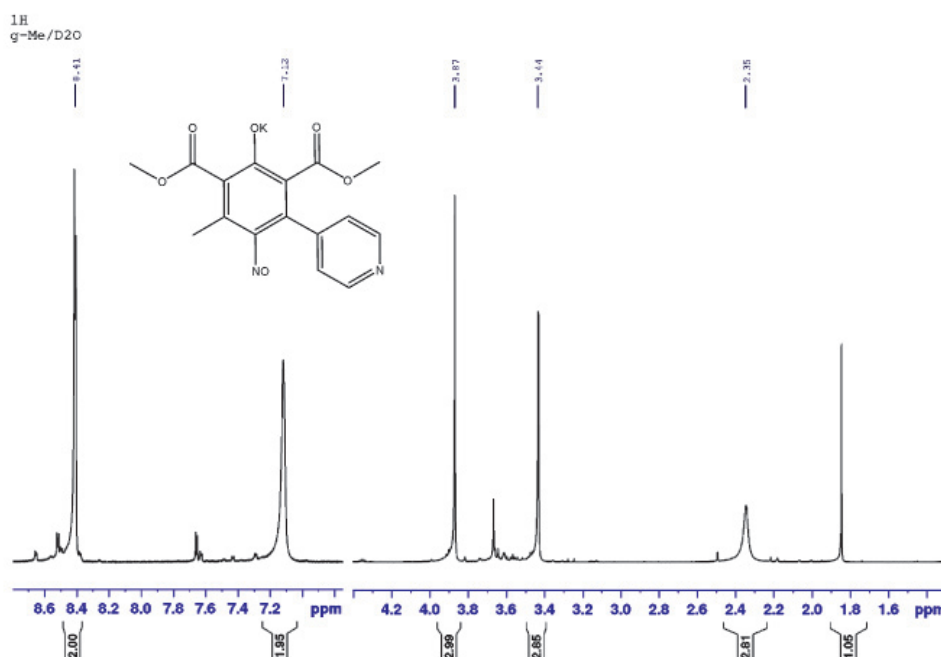
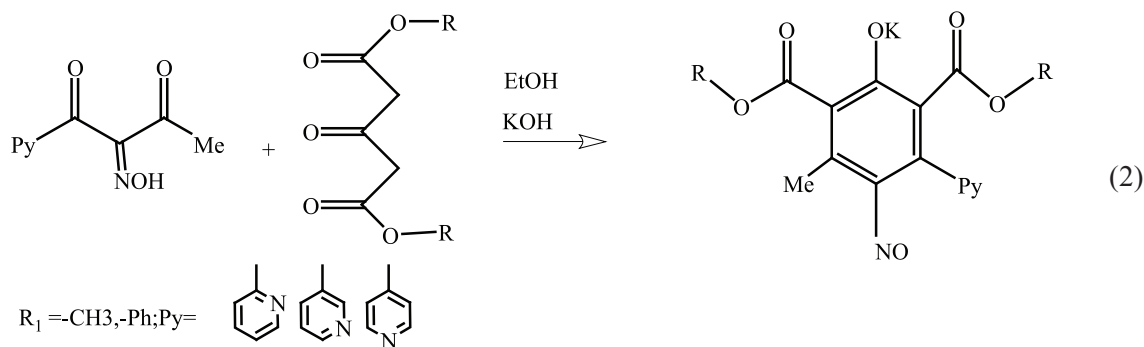


Рис. 1. Спектр ЯМР¹H в D₂O 2,6-ди(метоксикарбонил)-3-метил-5-пиридин-4-ил-4-нитрозофенолята калия

Все полученные соли были кристаллическими соединениями зеленого цвета, что подтверждает их нахождение в нитрозофенольной форме, так как такая окраска обеспечивается $n - \pi^*$ переходом неподеленной электронной пары атома азота нитрозогруппы [7]. В связи с этим во всех электронных спектрах синтезированных солей нитрозофенолов в 0,1 н КОН присутствовал максимум поглощения в области 635–640 нм с невысоким коэффициентом молярной экстинкции ϵ равной 46–73. В ЯМР¹H спектрах солей в D₂O присутствовали сигналы всех ароматических протонов пиридинового ядра, характерные пики алкильных групп карбоксильного заместителя и в сильном поле – синглет метильной группы кольца.

В качестве примера на рис. 1 приведен спектр 2,6-ди(метоксикарбонил)-3-метил-5-пиридин-4-ил-4-нитрозофенолята калия.

В спектре 2,6-ди(метоксикарбонил)-3-метил-5-пиридин-4-ил-4-нитрозофенолята калия видны сигналы протонов ароматического ядра пиридина в области слабого поля с химсдвигом δ 7,12 и 8,41 м.д., алифатические протоны метоксикарбонильных групп с химсдвигом δ 3,44, 3,87 м.д. и метильной составляющей фенольного кольца в сильном поле с δ 2,35 м.д.. Спектры ЯМР¹H в D₂O для остальных солей были аналогичны.

Полученные данные подтверждают, что соли полностью замещенных нитрозофенолов с пиридиновым заместителем и в кристаллах, и в водном растворе находятся в мономерной нитрозофенольной форме.

В то же время выделенные нами свободные нитрозофенолы в твердом со-

стоянии не имеют зеленой окраски, по видимому, из-за димеризации молекул по типу азодиоксидов [3], подобно тому, как димеризуются молекулы алифатических и ароматических нитрозосоединений (схема (3)).

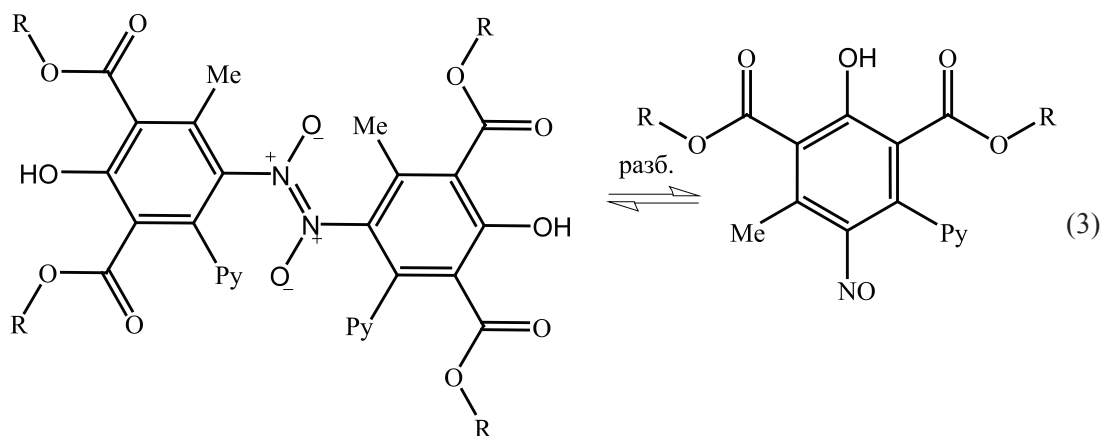
Недавно было доказано, что некоторые перзамещенные нитрозофенолы в растворе хлороформа также димеризованы, однако при разбавлении мономеризуются [3]. Мы провели исследование поведения полностью замещенных нитрозофенолов с пиридиновым заместителем методом ЯМР¹H в растворе CDCl₃. Результаты приведены на рис. 2.

В спектре наблюдаются два сигнала метильной группы кольца. Один, с химсдвигом 2,58 м.д., относящийся к димеру, другой, с химсдвигом 2,20 м.д., – к мономерной форме. При разбавлении увеличивается интегральная интенсивность сигнала метильной группы мономера, а сигнал димерной метильной группы уменьшается вплоть до полного исчезновения при большом разбавлении.

Данные, полученные методом ЯМР¹H в дейтерохлороформе, представлены в табл. 1. С их помощью нам удалось вычислить константу равновесия для изучаемых нитрозофенолов между димерной и мономерной формами в растворе на примере 2,6-ди(метоксикарбонил)-3-метил-5-пиридин-4-ил-4-нитрозофенола.

Такое небольшое значение константы мономеризации K_p говорит о том, что в растворе CDCl₃ преобладает димер и только в очень разбавленных растворах удается наблюдать мономерную форму.

Однако в растворе DMSO-d₆ картина в спектре ЯМР выглядела совершенно иной (рис. 3).



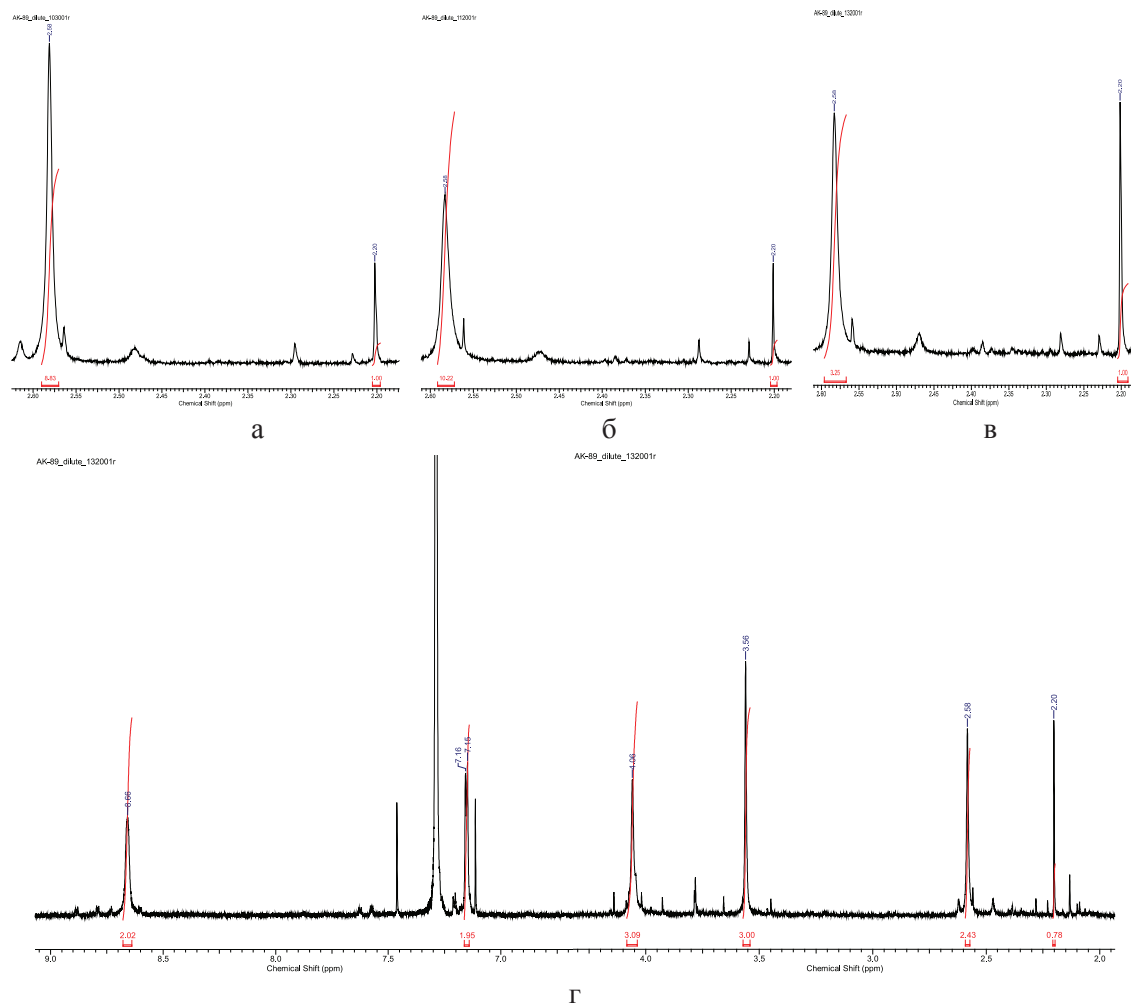


Рис. 2. Спектр ЯМР ^1H
 2,6-ди(метоксикарбонил)-3-метил-5-пиридин-4-ил-4-нитрозофенола в дейтерохлороформе:
 а – при концентрации $7,96 \cdot 10^{-3}$ моль/л в области 2,2–2,8 м.д.; б – при разбавлении в 2 раза;
 в – при разбавлении в 4 раза; г – полный спектр нитрозофенола

Таблица 1

Соотношение мономерной и димерной форм нитрозофенола в дейтерохлороформе при различных концентрациях для 2-х параллельных серий опытов

| Номер опыта | Концентрация общая, моль/л | Концентрация мономера, моль/л | Концентрация димера, моль/л | K_p |
|-------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------|
| 1 | 0,0157 | – | 0,99 | – |
| 2 | 0,0157 | – | 0,99 | |
| 3 | 0,00785 | 0,128 | 0,871 | 0,128 |
| 4 | 0,00785 | 0,101 | 0,898 | 0,101 |
| 5 | 0,00398 | 0,107 | 0,892 | 0,107 |
| 6 | 0,00398 | 0,091 | 0,908 | 0,091 |
| 7 | 0,00199 | 0,235 | 0,764 | 0,235 |
| 8 | 0,00199 | 0,235 | 0,764 | 0,235 |

$$K_p = \frac{[\text{мономер}]^2}{[\text{димер}]}$$

Отсюда $K_p = 0,11 \pm 0,02$ при 25°C .

В спектре наблюдаются все признаки того, что нитрозофенол находится не в нитрозофенольной, а в хиноноксимной форме (схема (4)).

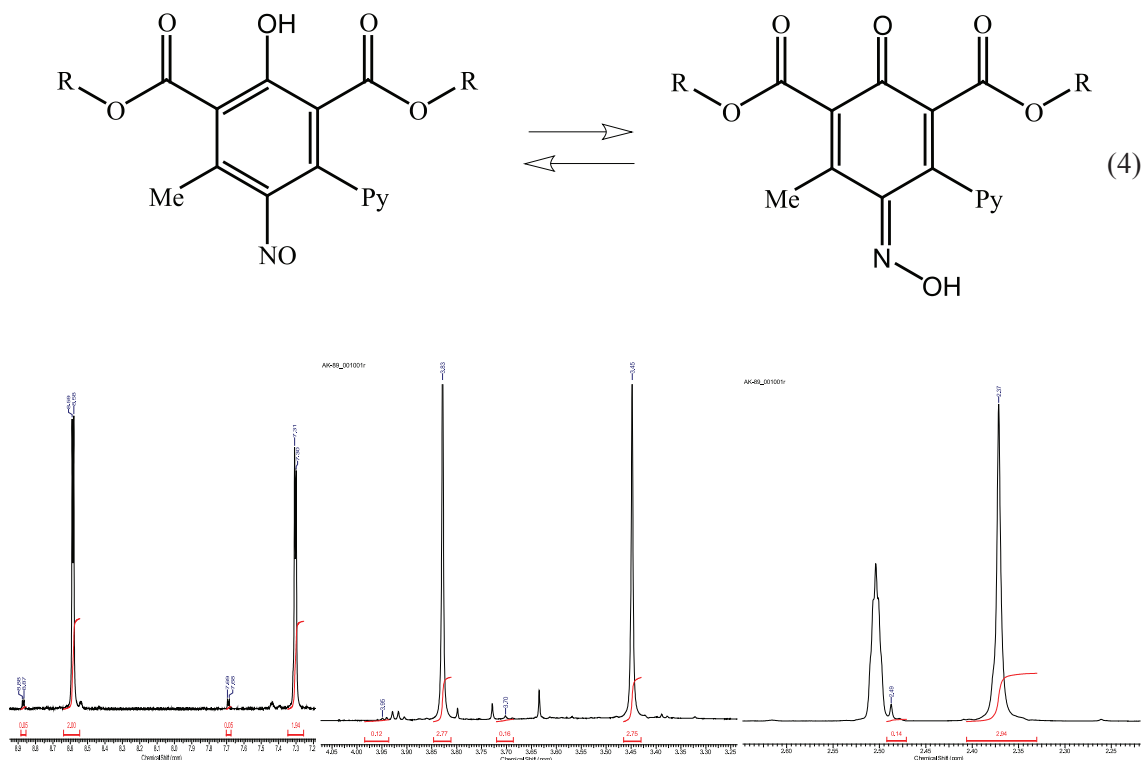


Рис. 3. Спектр ЯМР ^1H
2,6-ди(метоксикарбонил)-3-метил-5-пиридин-4-ил-4-нитрозофенола в DMSO-d_6

Об этом говорит тот факт, что, во-первых, метильная группа дает 2 сигнала разной интенсивности: в более сильном поле, когда она расположена в антиположении к оксимному гидроксилу (δ 2,37 м.д.) и в более слабом, когда расположена в синположении (δ 2,49 м.д.) из-за дезэкранирования протонов атомом кислорода оксимной группы. Интенсивность сигнала антиметильной группы выше, вероятно, из-за стабилизации такой формы за счет взаимодействия гидроксила оксимной группы и пиридинового цикла.

Во-вторых, оба сигнала протонов алкильных групп сложноэфирного заместителя (два синглета в области δ 3,45 м.д. δ 3,83 м.д.) «двоятся», что видно при изменении масштаба по оси химических сдвигов. Это хорошо объясняется расположением в син- либо антиположении по отношению к гидроксильной группе оксима.

В-третьих, в спектре появляется сигнал одиночного протона в области очень слабого поля (δ 11,97 м.д.), что характерно для «кислого» протона оксимной группы.

Экспериментальная часть

Для выделения свободных нитрозофенолов подкисляли соли 2,6-ди(алкоксикарбонил)-3-метил-5-пиридин-2(3,4)-ил-4-нитрозофенолов 1н HCl при перемешивании до $\text{pH} \approx 6,5$. Из реакционной массы отфильтровывали на фильтре Шотта светло-бежевые кристаллы, которые промывали водой для удаления KCl , затем перекристаллизовывали из этанола.

Для определения константы мономеризации методом ЯМР ^1H , проводили две независимые серии опытов с навеской соответствующей концентрации 0,125 моль/л с последующим разбавлением до концентрации 0,002 моль/л с уменьшением концентрации вдвое на каждый шаг.

Выводы

1. В ходе проведенного исследования установлено, что соли полностью замещенных нитрозофенолов с пиридиновым заместителем существуют в нитрозоформе как в твердом состоянии, так и в водном растворе.

2. Свободные нитрозофенолы с пиридиновым заместителем в твердом виде димеризованы. В растворе хлороформа между димером и мономером устанавливается равновесие, в котором преобладает димер и лишь при сильном разбавлении появляется мономерная форма; константа мономеризации составляет $0,11 \pm 0,02$.

3. В диметилсульфоксиде перзамещенные нитрозофенолы существуют исключительно в форме хиноноксимного таутомера, поэтому димеризация молекул невозможна.

Список литературы

1. Березовский В.М. Химия витаминов. – М.: Химия 1973. – 632 с.
2. Кукушкин А.А., Роот Е.В., Кондрасенко А.А., Субоч Г.А., Товбис М.С. Синтез солей новых 2,6-ди(алкоксикарбонил)-3-метил-5-пиридил-4-нитрозофенолов // Журн. орган. химии. – 2015. – Т. 51. – С. 749–750.
3. Семин И.В., Товбис М.С., Соколенко В.А. Димеризация пространственно-затрудненных пара-нитрозофенолов // Журн. орган. химии. – 2007. – Т. 43. – № 4. – С. 545–548.
4. Слащинин Д.Г., Коростелева Н.С., Перьянова О.В., Котловский Ю.В., Товбис М.С. Изучение биологической активности гексазамещенных пара-аминофенолов // Труды 11-й Международной конференции «Актуальные проблемы современной науки». Естественные науки. Ч. 8. – Самара, 2010. – С. 9–11.
5. Слащинин Д.Г., Товбис М.С., Роот Е.В., Задов В.Е., Соколенко В.А. Каталитическое гидрирование перзамещенных *n*-нитрозофенолов // Журн. орган. химии. – 2010. – Т. 46. – С. 527–529.
6. Фадеева В.П., Тихова В.Д., Никуличева О.Н. Elemental Analysis of Organic Compounds with the Use of Automated CHNS Analyzers // Журн. аналит. химии. – 2008. – Т. 63. – С. 1197–1210.
7. Фойер Г. Химия нитро- и нитрозогрупп. – Т.1. – М.: Мир, 1972. – 536 с.
8. Eiden F., Leister H.P., Mayer D. 5-Aminoacetamido-4,6-dimethyl-2-hydroxy-isophthalic acid diethyl ester: synthesis investigation of antiarrhythmic properties // Arzneimittel-Forschung. – 1983. – № 33. – P. 101–105.

ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛИМЕРАЗНОЙ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ

Лопатина А.Б.

ГОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
Пермь, e-mail: panachev@pstu.ru

В данном научном обзоре рассматриваются теоретические аспекты химических основ проведения полимеразной цепной реакции (ПЦР). Принцип действия ПЦР основан на физиологической способности ДНК к репликации. Освещение теоретических вопросов возможности ДНК к самоодстраиванию занимает значительное место в данной работе. Приведен детальный разбор последовательности действий при проведении полимеразной цепной реакции, описаны реактивы для проведения данной реакции. В качестве химических реактивов в данной работе приведен пример использования наборов для проведения полимеразной цепной реакции производства ООО НПФ «Литех». Описан алгоритм действий для химического анализа, с полным перечислением всех технических средств, лабораторных установок, лабораторной посуды и условий, приближенных к стерильным, для проведения данной химической реакции. Указаны максимально часто используемые наборы для проведения ПЦР-анализа, представлен их перечень. Освещаются перспективы использования данной химической реакции в ближайшем будущем.

Ключевые слова: полимеразная цепная реакция, химические реактивы, ДНК

CHEMICAL FOUNDATIONS OF POLYMERASE CHAIN REACTION

Lopatina A.B.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: panachev@pstu.ru

This scientific review of the theoretical aspects of chemical bases of the polymerase chain reaction (PCR). The operating principle of PCR is based on the physiological ability to replication of DNA. Lighting theoretical questions the possibility of DNA to selfbuilding occupies an important place in this work. The detailed analysis of the sequence of actions during the polymerase chain reaction reagents are described for this reaction. As the chemicals in this study is an example of the use of sets for carrying out a polymerase chain reaction production NPF «Litech». Described algorithm of actions for chemical analysis, a full listing of all technical means, ustnovok laboratory, laboratory glassware and conditions close to clean, for a given chemical reaction. Specify the maximum commonly used kits for PCR – analysis, presented a list of them. This highlights the prospects of using a chemical reaction in the near future.

Keywords: polymerase chain reaction, chemical reagents, DNA

Попытки изучения ДНК и химических реакций, протекающих в клетках бактерий, насчитывают уже десятки лет. Успехи современной химии, биохимии и молекулярной химии являются огромными, но даже при таком прогрессивном изучении молекулярных и субмолекулярных процессов загадки природы, сотворившей и встроившей процессы самовосстановления, саморегуляции и репарации ДНК, превосходят все мыслимые и немыслимые ожидания. 2015 год ознаменовался вручением Нобелевской премии трем ученым за вклад в изучение механизмов репарации ДНК. Все химические реакции, происходящие на уровне ДНК бактерии, свойственны и клеткам человеческого организма, за малым исключением или с некоторыми вариациями. Однако голографичность энзимных механизмов и репаративных процессов ДНК бактерии в общем и целом схожи с химическими процессами, протекающими в клетках макроорганизма, что делает задачу изучения химических процессов репарации ДНК микросистем еще более актуальной [2].

В настоящее время современная наука все больше и больше внимания уделяет нанообъектам, молекулярной биологии и молекулярной химии. Безусловно, что первыми объектами для изучения на молекулярном уровне становятся одноклеточные структуры, такие как бактерии, вирусы. ДНК этих структур, являющихся носителями информации, в первую очередь подвергается расщеплению, попыткам синтеза, подвергается различным облучениям, солнечному, радиоактивному, с целью исследования ответной реакции на воздействие этих факторов. Безусловно изучение химических реакций на уровне микробиологических структур экстраполируется на попытки понимания течения подобных процессов и реакций в структурах живого человеческого организма, что и делает эти опыты актуальными и важными. Исследование закономерности мутационных процессов на уровне клеток, а затем и организма человека в целом невозможно, без понимания закономерностей происхождения мутаций на уровне одноклеточных

субъектов химического обеспечения механизмов репарации ДНК микробиологических систем, с экстраполяцией полученных результатов на макроуровень, в том числе на уровень организма человека, что делает изучение этой проблемы важной и актуальной задачей.

Помимо описанных способов репарации ДНК существуют и уже описанные механизмы ее восстановления, такие как *рекомбинационная репарация* (Homologous recombination), когда для восстановления правильной последовательности ДНК используется ее копия с другой хромосомы, и *воссоединение негомологичных концов* (Microhomology-mediated end joining), когда часть ДНК теряется, но это часто неважно, потому что она приходится на некодирующие области. Оба этих вида репарации используются, когда нужно исправить двуцепочечный разрыв ДНК. Есть системы *толерантности к повреждению* (Translesion synthesis), когда клетка может функционировать и даже делиться, несмотря на то, что с ее геномом не всё в порядке. Есть клеточные *системы ответа на повреждение* (DNA damage response), которые определяют, как клетке вести себя и функционировать в случае повреждения ее ДНК – делиться, остановить деление и попытаться отрепарировать повреждение, погибнуть или использовать еще какой-нибудь неизвестный в настоящее время механизм саморегуляции [3].

Целью данной работы является описание теоретических и практических основ проведения химической реакции полимеразной цепной реакции (ПЦР), широко распространенным методом исследования ДНК.

Строение молекулы ДНК представляет собой сложную структуру. ДНК – это очень длинная нитевидная молекула, состоящая из двух полинуклеотидных цепей, скрученных вокруг общей оси в двойную спираль. Каждая цепь ДНК состоит из большого количества соединенных друг с другом мономерных звеньев – дезоксирибонуклеотидов четырех разных типов: дезоксинуклеотида аденозина, дезоксинуклеотида гуанозина, дезоксинуклеотида тимидина, дезоксинуклеотида – цитидина. Эти мономеры образуют характерные для каждого организма специфические последовательности. Дезоксирибонуклеотиды состоят из трех компонентов: азотистого основания (производного пурина или пиримидина), сахара дезоксирибозы и остатка фосфорной кислоты. Остатки фосфорной кислоты вы-

полняют структурную роль, образуя сахарофосфатный остов молекулы ДНК. Три-штрих ОН – группы дезоксирибозы одного нуклеотида связаны фосфодиэфирной связью с пять – штрих ОН – группами другого соседнего нуклеотида. Поэтому цепь ДНК обладает полярностью и имеет три – штрих конец и 5 – штрих конец. Азотистые основания несут собственно генетическую информацию. Аденин образует две водородные связи с тиминном, а гуанин образует две водородные связи с цитозином. Эта закономерность лежит в основе принципа комплементарного спаривания оснований. Аденин всегда связывается с тиминном, а гуанин всегда связывается с цитозином.

Цепи ДНК удерживаются вместе благодаря образованию водородных связей между комплементарными парами оснований. При увеличении температуры до 80–90 градусов или изменении рН происходит разрушение водородных связей, что ведет к денатурации молекулы ДНК. При снижении температуры и при введении значений рН к нейтральным расплетенная цепь ДНК самопроизвольно сплетается, образуя исходную двойную спираль. Этот процесс называется ренатурацией [1].

Молекулярные основы метода ПЦР (полимеразной цепной реакции). В основе метода полимеразной цепной реакции (ПЦР) лежит процесс естественной репликации ДНК, который включает три этапа. Первый этап – денатурация, расплетение двойной спирали и расхождение нитей. Второй этап – образование коротких двухцепочечных участков ДНК, которые служат затравками для синтеза новых цепей. Третий этап – удлинение обеих цепей затравок, в результате комплементарного достраивания в направлении от пять – штрих к три – штрих концу молекулы ДНК. Материалом для достраивания служат дезоксинуклеотидтрифосфаты. Этот процесс катализируется ферментом ДНК-полимеразой. ДНК-полимераза катализирует последовательное присоединение дезоксирибонуклеотидных остатков к цепи затравки со свободной три – штрих ОН – группой. В этом процессе сначала образуются водородные связи между комплементарными азотистыми основаниями, а затем образуется фосфодиэфирная связь между остатками рибозы. В результате этой реакции образуется новая цепь ДНК, комплементарная исходной матричной цепи [4].

Метод ПЦР представляет собой определение короткого специфического участка

ДНК. Если взять пару полинуклеотидных затравок – праймеров, комплементарных границам короткого специфического участка ДНК, то, используя процесс естественной репликации, можно получить точную копию этого фрагмента. После многократного повторения циклов репликации происходит накопление фрагментов ДНК строго определенной длины, которые можно достоверно идентифицировать. Процесс накопления фрагментов называется амплификацией. Этот принцип, лежащий в основе метода ПЦР, был разработан в 1983 году американским биохимиком Кэрри Б. Мюллисом. В каждом цикле амплификации происходит удвоение числа копий искомого фрагмента ДНК, то есть накопление фрагментов происходит по экспоненциальному закону и за 30–40 циклов амплификации в растворе накапливается до 10^8 молекул фрагментов ДНК. Для проведения ПЦР необходимы следующие компоненты: ДНК-матрица, олигонуклеотидные затравки, праймеры, комплементарные границам участка молекулы ДНК, дезоксинуклеотид трифосфат и фермент ДНК-полимераза. Реакция проводится в специальном буфере, обеспечивающем оптимальные условия для ее проведения. Каждый цикл амплификации состоит из трех этапов с различными температурными режимами. На первом этапе, проводимом при 93–95 °С в течение 30–40 секунд, происходит денатурация исходной матричной ДНК. На втором этапе при 50–65 °С происходит комплементарное присоединение, отжиг праймеров к соответствующим последовательностям на границе специфического участка. Время отжига составляет от 20 до 60 секунд. Третий этап амплификации проводится при температуре 70–72 °С. Это температура оптимальной активности фермента ДНК-полимераза. На этом этапе происходит достраивание цепей праймеров. В современной методике проведения ПЦР используется термостабильная ДНК-полимераза, выделенная из термофильных бактерий. Термостабильная ДНК-полимераза выдерживает нагревание до высоких температур, что избавляет от необходимости добавлять новую порцию ДНК-полимеразы в каждом новом цикле амплификации. После завершения первого цикла амплификации в растворе находится двухцепочечная молекула ДНК, состоящая из одной материнской цепи и одной новой синтезированной цепи, ограниченной с одной стороны праймером [5].

Во втором цикле амплификации, включающем все три этапа: денатурацию, отжиг праймеров и синтез новых цепей, – образуются двухцепочечные молекулы, состоящие из матричной цепи, частично ограниченной цепи и коротких фрагментов ДНК, ограниченных праймерами с двух сторон. Эти короткие фрагменты называются ампликонами. Во всех последующих циклах все новые синтезированные цепи могут служить матрицами для синтеза новых молекул.

Начиная с третьего цикла амплификации в растворе накапливаются короткие ампликоны. Процесс амплификации проводится в специально программируемом термостате – амплификаторе, который по заданной программе автоматически осуществляет смену температур и временных интервалов. Обычно процесс амплификации включает 30–40 циклов. За это время расходуются некоторые исходные компоненты реакций, а в растворе накапливается до 10^8 молекул ампликонов. Этого количества достаточно для достоверной детекции фрагментов методом электрофореза в агарозном геле.

Диагностические наборы. НПФ «Литех» выпускает диагностические наборы для определения методом ПЦР ДНК следующих возбудителей инфекционных заболеваний: хламидии, микоплазмы хоминис, микоплазмы пневмонии, микоплазмы генитале, уреоплазмы, гарднереллы, трихомонады, микобактерии туберкулеза, герпес, цитомегаловирус, гепатит В, гепатит С, гепатит G, – и наборы для определения резистентности микрофлоры к тетрациклину и эритромицину и др., что показано в таблице.

Наборы реагентов
для ПЦР производства ООО НПФ «Литех»

| | |
|--|----------------------|
| Chlamydia | Полимик-Хл |
| Mycoplasma pneumoniae | Полимик-1 |
| Mycoplasma genitalium | Полимик-2 |
| Ureaplasma | Уреапол |
| Gardnerella | Гардпол |
| Trichomonas | Трипол |
| Mycobacterium tuberculosis | Политуб |
| Herpes | Герпол |
| Hepatitis | Полигеп |
| Определение устойчивости к тетрациклину / эритромицину | Тетрапол / Эритропол |

В состав набора входит: реакционная смесь 300 мл, деионизованная вода 2 мл, минеральное масло 2 мл, раствор Таq-полимеразы 25 мкл, контрольная ДНК – 50 мкл. Реакционная смесь содержит пару специфических праймеров, смесь дезокси-нуклеотидтрифосфатов, краситель и внутренний контроль, ПЦР буфер. Набор должен храниться при минус 20 °С. Срок годности набора 6 месяцев.

Каждый набор для проведения ПЦР комплектуется отдельным набором для выделения ДНК, который содержит 2 лизирующих раствора: раствор I – 30 мл, раствор II – 10 мл, промывочный раствор 200 мл, сорбент – 1 мл, ТЕ-буфер – 5 мл. Набор для выделения ДНК может храниться при плюс 4 °С.

Проведение анализа начинается с забора материала. Исследуемый материал – соскобы эпителиальных клеток, чаще это соскобы буккальных эпителиальных клеток, с помощью одноразового зонда переносятся в пробирку объемом 1,5 мл, со 100 мкл физиологического раствора NaCl 0,9%. Приготовленную пробу используют для выделения ДНК или хранят при минус 20 °С до 2-х недель. На этапе выделения ДНК необходимо следующее лабораторное оборудование: пипетки дозаторы, микроцентрифуга вортекс, высокоскоростная микроцентрифуга, насос с колбой-ловушкой, содержащей дезинфицирующий раствор, твердотельный термостат. В пробирку с пробой клинического материала добавляют 300 мкл раствора I и 10 мкл суспензии сорбента из набора для выделения ДНК. Пробирку выдерживают 10 минут в комнатной температуре, несколько раз встряхивая на вортексе. Затем пробы центрифугируют 15 секунд на микроцентрифуге при 8000–12000 оборотов в минуту. Надосадочный раствор отбрасывают в колбу с дезинфицирующим раствором. К осадку добавляют 100 мкл раствора II, встряхивают на вортексе. Осаждают сорбент в течение 15 секунд, супернатант отбрасывают. В пробирку добавляют 1 мл промывочного раствора 3, центрифугируют и удаляют раствор. Процедуру отмывки повторяют еще 2 раза. После того как из пробирки удалены остатки раствора 3, открытые пробирки с остатком сорбента помещают в термостат и подсушивают в течение 40 минут при 45–55 °С. Затем в пробирки добавляют 50 мкл ТЕ-буфера. Пробирки закрывают, перемешивают на вортексе и выдерживают в течение 40 минут при 45–55 °С в термостате. После

центрифугирования из пробирок отбирают водную фазу и используют ее в качестве исследуемого образца ДНК для постановки реакции амплификации. Раствор ДНК может храниться при плюс четырех градусах в течение недели, а при минус 20 °С в течение 6 месяцев.

Для проведения реакции амплификации необходимо следующее лабораторное оборудование: программируемый термостат, амплификатор, микроцентрифуга вортекс и пипетки-дозаторы. 5 мкл раствора ДНК из обработанной клинической пробы переносят в специальную пробирку для проведения амплификации объемом в 500 мкл. Диагностический набор размораживают и готовят смесь реактивов для проведения реакции. Из расчета на одну пробу необходимо смешать: 2,5 мкл реакционной смеси, 17,5 мкл воды, 0,2 мкл Таq-полимеразы. После добавления Таq-полимеразы смесь перемешивают пипеткой и 20 мкл приготовленной смеси добавляют в пробирки с образцом ДНК из клинической пробы. В качестве положительного контроля реакции в смесь реактивов добавляют в пробирку к 5 мкл раствора контрольной ДНК из диагностического набора. В качестве отрицательного контроля в смесь реактивов добавляют в пробирку к 5 мкл воды. К подготовленным пробам добавляют по одной капле минерального масла для предотвращения испарения реакционной смеси в процессе проведения реакции. Пробирки центрифугируют 3–5 секунд на микроцентрифуге вортексе, чтобы масло равномерно распределилось по поверхности пробы. Пробирки переносят в амплификатор и проводят реакцию по заданной программе. Для определения каждого возбудителя существует своя программа проведения амплификации. Для наборов ПОЛИМИК используют следующие программы: 94 °С – 40 секунд, 58 °С – 30 секунд, 72 °С – 30 секунд. Реакция включает в себя 30 циклов. Количество проб, которые можно анализировать одновременно, зависит от производительности амплификата. Полученную в реакции амплификации смесь необходимо проанализировать. Для этого используется метод горизонтального электрофореза в агарозном геле. На этом этапе необходимы: источник тока и камера для электрофореза, пипетки-дозаторы, агароза, 50-кратный ТАЕ-буфер, 1 % бромистого этидия, ультрафиолетовый трансиллюминатор для визуализации гелей.

Регистрация результатов: в камеру для электрофореза заливают разбавленный ТАЕ-буфер, к 1,5 г агарозы добавляют 2 мл 50-кратного ТАЕ-буфера и 100 мл дистиллированной воды. Расплавляют смесь на электрической плите или в СВЧ-печи. Добавляют к расплаву 10 мкл бромистого этидия. На планшете для заливки геля установить гребенки для расплава геля, по 2 гребенки на каждый планшет. Заливают в планшет расплав агарозы 50–60 °С. После застывания агарозы вынуть гребенки и просматривать результат. В карманы геля наносят по 10–15 мкл амплификата, наносят положительный и отрицательный контроль. Подключают камеру к источнику тока и задают напряжение, соответствующее напряженности электрического тока 10–15 В/см, разделение проводится в течение от 30 до 45 минут в направлении от катода к аноду. После проведения фореза отключают напряжение, вынимают гель из камер и переносят на стекло трансиллюминатора. Фрагменты ДНК проявляются в виде светящихся красно-оранжевых полос. В положительном контроле выявляют полосу, размеры которой для каждого микроорганизма индивидуальны. В отрицательном контроле полоса на этом уровне должна отсутствовать. В анализируемых пробах отсутствие полосы строго на уровне контроля свидетельствует об отсутствии данного конкретного возбудителя в крови. Наличие полосы строго на уровне полосы положительного контроля говорит о наличии данного конкретного возбудителя в крови. Появление полосы в отрицательном контроле указывает на контаминацию компонентов пробы. Полученные результаты можно документировать фотографированием гелей с использованием светофильтров.

Таким образом, метод полимеразной цепной реакции (ПЦР) позволяет опреде-

лить наличие чужеродной ДНК в крови, что является важным диагностическим методом многих инфекционных заболеваний. Высокая чувствительность данного метода осложняет его проведение, поскольку всегда существует риск контаминировать исследуемый материал и всю лабораторную посуду другими инфекционными агентами, что заставляет проводить исследование в условиях, приближенных к стерильным, однако и это не дает уверенности в том, что результаты контрольной отрицательной пробы могут быть положительными [6].

Однако грамотный анализ полученных результатов при проведении полимеразной цепной реакции (ПЦР) позволяет расшифровать и выделить положительную реакцию отрицательного контроля на контаминированный инфекционный агент.

В России основные исследования ДНК ведутся в нескольких лабораториях Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН в Новосибирске; есть группы, работающие в этом направлении в МГУ, Институте молекулярной генетики РАН, Институте цитологии РАН в Санкт-Петербурге, Петербургском институте ядерной физики.

Список литературы

1. Кочетков Н.К., Будовский Э.И., Свердлов Е.Д., Симукова Н.А., Турчинский М.Ф., Шибяев В.Н. Органическая химия нуклеиновых кислот. – М.: Химия, 1970. – 718 с.
2. Лопатина А.Б. Химическое обеспечение механизмов репарации ДНК микробиологических систем // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 12. – С. 37–41.
3. Лопатина А.Б. Особенности химического состава мертвого моря и свойства комплекса DN-1 // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 11–2. – С. 149–152.
4. Рис Э., Стернберг М. Введение в молекулярную биологию: От клеток к атомам: пер. с англ. – М.: Мир, 2002. – 142 с.
5. Сетлоу Р., Поллард Э. Молекулярная биофизика. – М.: Мир, 1964. – 440 с.
6. Щелкунов С.Н. Генетическая инженерия. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2004. – 496 с.

УДК 546.669:663.97 (575.2)

**ГЕТЕРОГЕННЫЕ РАВНОВЕСИЯ В ТРОЙНОЙ СИСТЕМЕ
ХЛОРИД ГОЛЬМИЯ – НИКОТИНАМИД – ВОДА ПРИ 30 °С
И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ФАЗ**

¹Осмонова С.С., ²Сулайманкулов К.С., ¹Байдинов Т.Б.

¹*Кыргызский национальный университет им. Ж. Баласагына, Бишкек;*

²*Институт химии и химической технологии НАН Кыргызской Республики,
Бишкек, e-mail: Osmonova09@mail.ru*

Исследована растворимость и природа твердых фаз в системе $\text{HoCl}_3\text{-C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O-H}_2\text{O}$ при 30 °С. Выделено новое конгруэнтно растворимое соединение состава $\text{HoCl}_3\cdot 3\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Определены его концентрационные пределы кристаллизации. Соединение выделено в кристаллическом виде и идентифицировано методами денситометрии, ИК спектроскопии, рентгенофазового и дифференциально-термического анализов. На основе данных ИК спектроскопии сделан вывод о том, что координационная связь между лигандом и ионом гольмия осуществляется через атом кислорода карбонильной группы никотинамида. Рассчитаны интенсивности линий и межплоскостные расстояния, параметры элементарной ячейки, значение рентгеновской плотности кристаллов и установлено, что кристаллическая решетка исследуемого соединения относится к моноклинной сингонии. Результаты термического анализа полученного соединения показали, что соединение разлагается без предварительного плавления. Процесс разложения начинается дегидратацией и отщеплением одной молекулы никотинамида. В пределах температур 349,6 и 362 °С из состава соединения отщепляются две молекулы никотинамида. Конечным продуктом термолитиза соединения при температуре до 700 °С является хлорид гольмия.

Ключевые слова: хлорид гольмия, никотинамид, соединение, физико-химические свойства

**THE GETEROGENOUS EQUILIBRIUMS IN TRIPLE SYSTEM
WITH HOLMIUM CHLORIDE – NICOTINAMIDE – WATER AT 30 °C
AND PROPERTIES OF SOLID PHASES**

¹Osmonova S.S., ²Sulaymankulov K.S., ¹Baydinov T.B.

¹*Kyrgyz National University named after J. Balasagyn, Bishkek;*

²*Institute of Chemistry and Chemical Technology NAS of Kyrgyz Republic,
Bishkek, e-mail: smonova09@mail.ru*

Solubility and nature of solid phases in the system $\text{HoCl}_3\text{-C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O-H}_2\text{O}$ at 30 °C was researched. The new congruently soluble compound $\text{HoCl}_3\cdot 3\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ is extracted. Determine its concentration limits of crystallization. The compound isolated in crystalline form and identified by densitometry, IR spectroscopy, X-ray diffraction and differential thermal analysis. On the basis of IR spectroscopy data concluded that the coordination bond between the ligand and holmium ion through the oxygen atom of the carbonyl group of nicotinamide. Calculated line intensities and interplanar distance, unit cell parameters, the value of the X-ray density of the crystals and determined the crystal lattice of the test compound belongs to the monoclinic system. The thermal analysis of the resulting compound indicated that the compound decomposes without melting. The process of decomposition begins dehydration and cleavage of one molecule of nicotinamide. Within the temperature and 349,6; 362 °C cleaved from the compound of two molecules of nicotinamide. The final product of the thermalizes of compounds at temperature up to 700 °C is holmium chloride.

Keywords: holmium chloride, nicotinamide, compound, of physic-chemical properties

Исследование взаимодействия солей РЗЭ с амидами представляет интерес для синтеза новых комплексных соединений, перспективных в качестве физиологически активных веществ [1].

РЗЭ обладают уникальным комплексом физико-химических свойств в силу особенностей электронного строения атомов, и области применения их соединений неуклонно расширяются год от года. В литературе отсутствуют сведения о координационных соединениях гольмия с амидом никотиновой кислоты. В связи с этим поиск и синтез новых металлоамидных комплексов с полезными свойствами является актуальной задачей.

Целью настоящей работы является исследование взаимодействия хлорида гольмия с амидом никотиновой кислоты, выяснение условий образования соединения и изучение их физико-химических свойств.

Экспериментальная часть

Исследование процессов комплекс образования в системе хлорид гольмия – никотинамид – вода проводилось изотермическим методом растворимости при 30 °С. В качестве исходных веществ использовали предварительно перекристаллизованные из водных растворов хлорид гольмия и никотинамид марки «хч». Равновесие в системе устанавливалось в течение 48 ч.

Составы твердых фаз (в мас. %) устанавливали методом «остатков» Скрейнемакенса [2]. Химический анализ проводили на ионы

гольмия, трилонометрическим методом [3], а азот никотинамида определяли известным методом Кьельдаля [4].

Таблица 1

Данные по растворимости в системе $\text{HoCl}_3\text{-C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O-H}_2\text{O}$ при 30 °С

| № п/п | Состав жидкой фазы, мас. % | | Состав твердой фазы, мас. % | | Кристаллизующаяся фаза |
|-------|----------------------------|--|-----------------------------|--|---|
| | HoCl_3 | $\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O}$ | HoCl_3 | $\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O}$ | |
| 1 | 51,28 | – | 71,61 | – | $\text{HoCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ |
| 2 | 50,80 | 1,67 | 62,65 | 0,69 | |
| 3 | 50,50 | 4,57 | 63,60 | 1,79 | |
| 4 | 51,59 | 8,80 | 63,44 | 3,22 | |
| 5 | 51,61 | 8,81 | 68,44 | 12,80 | $\text{HoCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{HoCl}_3 \cdot 3\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ |
| 6 | 51,60 | 8,81 | 57,85 | 28,42 | |
| 7 | 51,58 | 8,79 | 40,98 | 37,00 | $\text{HoCl}_3 \cdot 3\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ |
| 8 | 41,90 | 8,82 | 37,27 | 43,22 | |
| 9 | 36,25 | 11,60 | 36,42 | 33,20 | |
| 10 | 31,24 | 13,65 | 35,50 | 43,60 | |
| 11 | 26,50 | 16,70 | 32,10 | 36,60 | |
| 12 | 24,90 | 20,89 | 33,00 | 41,20 | |
| 13 | 22,80 | 22,97 | 32,90 | 43,22 | |
| 14 | 20,50 | 26,60 | 27,58 | 38,80 | |
| 15 | 18,40 | 30,43 | 27,50 | 42,40 | |
| 16 | 16,60 | 35,30 | 28,40 | 46,80 | |
| 17 | 16,58 | 43,44 | 25,76 | 59,90 | $\text{HoCl}_3 \cdot 3\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O} \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O}$ |
| 18 | 16,56 | 43,46 | 18,20 | 69,20 | |
| 19 | 16,55 | 43,42 | 5,38 | 82,21 | $\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O}$ |
| 20 | 13,40 | 42,62 | 3,18 | 86,00 | |
| 21 | 8,00 | 42,80 | 2,10 | 83,90 | |
| 22 | 3,98 | 43,90 | 1,30 | 80,00 | |
| 23 | – | 45,89 | – | – | |

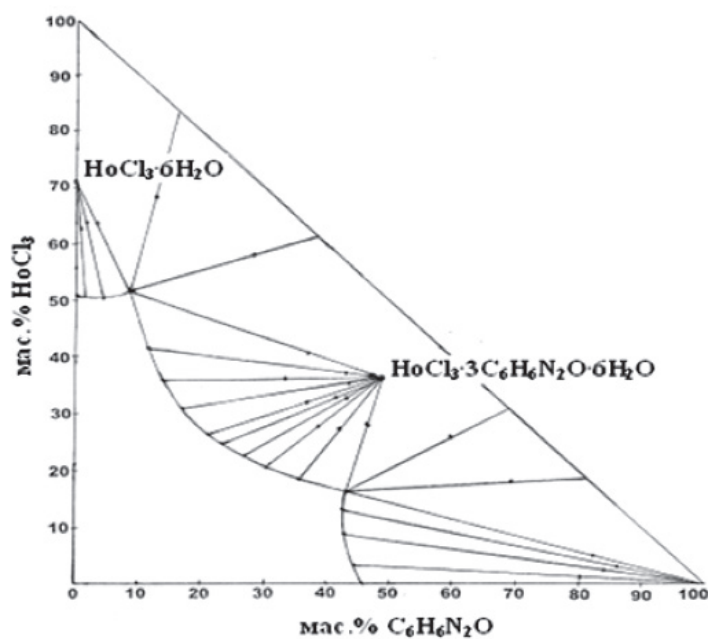


Рис. 1. Изотерма растворимости системы $\text{HoCl}_3\text{-C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O-H}_2\text{O}$ при 30 °С

Система $\text{HoCl}_3\text{-C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O-H}_2\text{O}$ при 30°C

Изотерма растворимости данной системы характеризуется наличием трех ветвей кристаллизации твердых фаз (табл. 1, рис. 1). Первая ветвь кривой ликвидуса отвечает насыщенным растворам, из которых в твердую фазу кристаллизуется шестиводный хлорид гольмия, растворимость которого при 30°C составляет 51,28%. Точки 5, 6 являются переходными точками.

Вторая ветвь кривой растворимости, лежащая между точками 7–16, соответствует равновесным с твердой фазой растворам, из которых выделяется в твердую фазу новое комплексное соединение, растворяющееся в воде конгруэнтно с соотношением реагентов 1:3:6. На это указывает пересечение лучей Скрейнемакера на гипотенузе в одной точке, которой соответствует следующее содержание реагирующих веществ: хлорида гольмия 36,38%, амида никотиновой кислоты 49,20%, воды 14,42%.

С целью подбора индифферентной жидкости для установления относительной плот-

ности исследована растворимость нового соединения в органических растворителях. Определение растворимости проводили широко известным методом по разности масс.

В качестве растворителя использовались этиловый спирт, ацетон, бензол и диэтиловый эфир (табл. 2).

Соединение хорошо растворяется в этаноле, несколько хуже в ацетоне, эфире и нерастворимо в бензоле. Относительная плотность нового соединения резко отличается от плотности исходной соли и имеет меньшее значение. Это указывает на более рыхлую структуру нового соединения.

Для определения места локализации химической связи никотинамида в комплексе исследованы ИК спектры поглощения никотинамида и его координационного соединения с хлоридом гольмия в области $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ на спектрометре «Nicolet-IR-1200» в виде таблеток с бромистым калием. Значения характеристических частот на ИК спектре поглощения приведены в табл. 3.

Таблица 2

Растворимость комплексного соединения в органических растворителях

| Соединение | Растворимость, мас. % | | | | Пикнометрическая плотность, г/см ³ | Рентгеновская плотность, г/см ³ |
|---|-----------------------|--------|------|--------|---|--|
| | Спирт | Ацетон | Эфир | Бензол | | |
| $\text{HoCl}_3 \cdot 3\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | 10,32 | 4,96 | 1,17 | н.р. | 1,4345 | 1,4260 |

Таблица 3

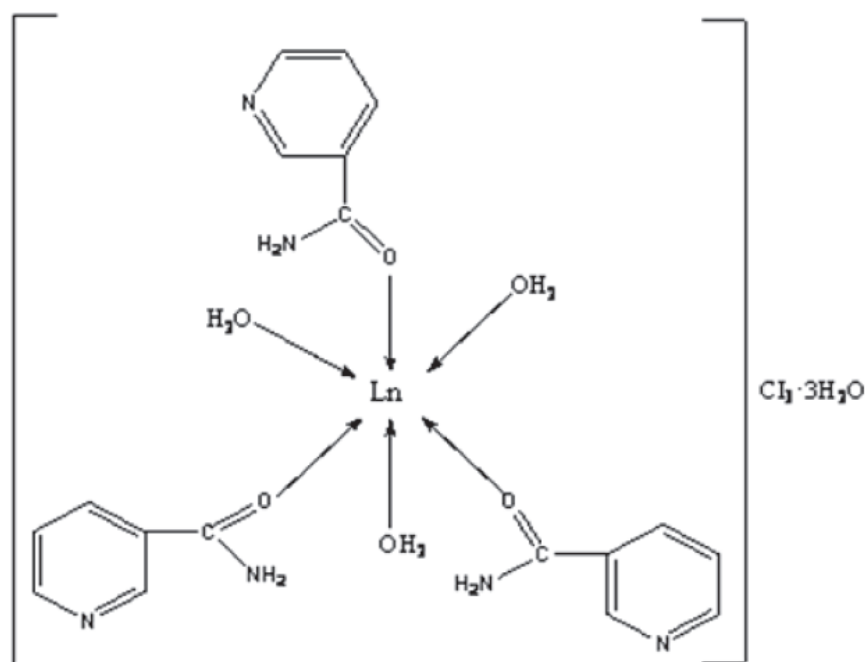
Основные колебательные частоты (см^{-1}) никотинамида, комплексного соединения и их отнесение

| Предполагаемые отнесения | Полосы поглощения в никотинамиде $\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O}$ | Полосы поглощения в комплексе $\text{HoCl}_3 \cdot 3\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ |
|--|---|---|
| $\nu_{\text{ас}}(\text{NH}_2)$, $\nu(\text{OH})$ | 3367 | 3309 |
| $\nu_{\text{с}}(\text{NH}_2)$ | 3164 | – |
| $\nu(\text{CO})$ | 1698 | 1660 |
| $\delta(\text{NH}_2)$, $\delta(\text{H}_2\text{O})$ | 1619 | 1608 |
| $\nu(\text{кольца})$ | 1592, 1574 | 1592 1570 |
| $\nu(\text{кольца})$ | 1485 | – |
| $\delta(\text{CCH})$ | 1422 | 1424 |
| $\nu(\text{CN})$ | 1340 | 1401 |
| $\delta(\text{CCC})$ | 1202 | 1202 |
| $\delta(\text{NH}_2)$, $\nu(\text{CO})$ | 1154 | 1157 |
| $\delta(\text{CCH})$ | 1123, 936 | 1121 |
| $\nu(\text{кольца})$ | 1029 | 1029 |
| $\nu(\text{CC})$ | 829 | 827 |
| $\delta(\text{CO})$, $\delta(\text{CNC})$ | 628 | 616 |

В ИК спектре поглощения никотинамидного комплекса хлорида гольмия наблюдается понижение частоты валентного колебания C=O [$\nu(\text{C}=\text{O})$] в низкочастотную область от 1698 до 1660 cm^{-1} по сравнению с некоординированным никотинамидом и повышение частот валентного колебания связи C-N [$\nu(\text{C}-\text{N})$] от 1340 до 1401 cm^{-1} .

Эти изменения в положениях полос «амид I» и «амид II» позволяют говорить о координации лиганда через атом кислорода карбонильной группы.

Полосы деформационных колебаний $\delta(\text{NH}_2)$ -группы несколько смещены в область низких частот от 1619 до 1608 cm^{-1} , что объясняется упрочнением связи C-N [5]. В области 1600–1700 cm^{-1} проявляются полосы $\delta(\text{H}_2\text{O})$, перекрывающиеся с интенсивными полосами $\nu(\text{CO})$ и $\nu(\text{NH})$. Исходя из вышеизложенного, предполагаемое строение комплексного соединения можно представить следующим образом.



Таким образом, в изученном нами комплексе координация никотинамида к иону гольмия осуществляется через атом кислорода карбонильной группы.

Кристаллическая рентгенограмма комплекса снята на приборе ДРОН-3 (CoK_α излуч.).

По данным рентгенофазового анализа рассчитаны интенсивности линий, межплоскостные расстояния, параметры элементарных ячеек (табл. 4) и сделан

вывод, что в рентгенограмме комплекса имеются характерные линии, которые хорошо индицируются в моноклинной сингонии.

Термографический анализ был снят на дериватографе NETZSCHSTA 409PC/PG. Термограмма соединения $\text{HoCl}_3 \cdot 3\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ характеризуется наличием нескольких термических эффектов. По характеру кривых ДТА и ТГ следует, что процесс разложения соединения протекает ступенчато. В первом эндотермическом эффекте при 125,6° происходит дегидратация соединения и удаление одной молекулы никотинамида. Это подтверждается потерей массы, которая согласно кривой термогравиметрии составляет 32,18% от взятой навески и хорошо согласуется с теоретическим содержанием одной молекулы лиганда (17,69%) и шести молекул воды (14,49%, рис. 2).

Дальнейшее повышение температуры (экзотермические эффекты при 349,6 и 362°С) приводят к отщеплению оставшихся молекул никотинамида и горению продуктов распада. Общая убыль массы при этом составляет 31,37% от взятой навески и соответствует двум молекулам никотинамида. Остаточным продуктом разложения комплекса является хлористый гольмий, что было подтверждено количественным анализом, который составляет 36,45% от взятой навески.

Таблица 4

Данные рентгенофазового анализа соединения $\text{HoCl}_3 \cdot 3\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

| $d(\text{Å})_{\text{экс.}}$ | $d(\text{Å})_{\text{теор.}}$ | Δ | h | k | l | Сингония |
|-----------------------------|------------------------------|----------|--------|--------|----------|--|
| 9,783 | 9,781 | 0,001 | 0 1 | 0 1 | 2 0 | Моноклинная $a = 13,342$ $b = 14,332$ $c = 19,729$ $\beta = 114^\circ 66'$ |
| 7,191 | 7,19 | 0,001 | 0 | 2 | 0 | |
| 6,6806 | 6,673 | 0,0076 | 0 2 | 0 0 | 3 0 | |
| 5,5865 | 5,516 | 0,0705 | 1 | 1 | 3 | |
| 5,1042 | 5,049 | 0,0552 | 2 | 1 | -2 | |
| 4,6288 | 4,63 | 0,0012 | 0 | 1 | 4 | |
| 4,0715 | 4,071 | 0,0005 | 1 | 3 | -2 | |
| 3,7948 | 3,725 | 0,0698 | 2 | 1 | -4 | |
| 3,5392 | 3,589 | 0,0498 | 1 | 1 | -5 | |
| 3,1387 | 3,08 | 0,0587 | 1 | 4 | 3 | |
| 3,0185 | 3,048 | 0,0295 | 1 | 4 | -3 | |
| 2,8658 | 2,876 | 0,0102 | 0 | 5 | 0 | |
| 2,7424 | 2,794 | 0,0516 | 0 | 0 | 7 | |
| 2,6684 | 2,669 | 0,0006 | 5 1 | 0 3 | 0 6 | |
| 2,4154 | 2,399 | 0,0164 | 0 0 | 0 6 | 8 0 | |
| 2,2313 | 2,224 | 0,0073 | 6 | 0 | 0 | |
| 2,1921 | 2,19 | 0,0021 | 0 1 | 0 4 | 9 7 | |
| 2,06408 | 2,054 | 0,01008 | 0 | 7 | 0 | |
| 1,89605 | 1,907 | 0,01095 | 7 1 | 0 4 | 0 9 | |
| 1,73191 | 1,728 | 0,00391 | 1 | 5 | 9 | |
| 1,5986 | 1,598 | 0,0006 | 0 1 | 9 6 | 0 -9 | |
| 1,5509 | 1,556 | 0,0051 | 1 | 7 | -8 | |
| 1,5331 | 1,52 | 0,0131 | 0 2 | 0 7 | 13 -8 | |
| 1,44904 | 1,447 | 0,00204 | 2 | 7 | -9 | |
| 1,43317 | 1,439 | 0,00483 | 0 | 10 | 0 | |

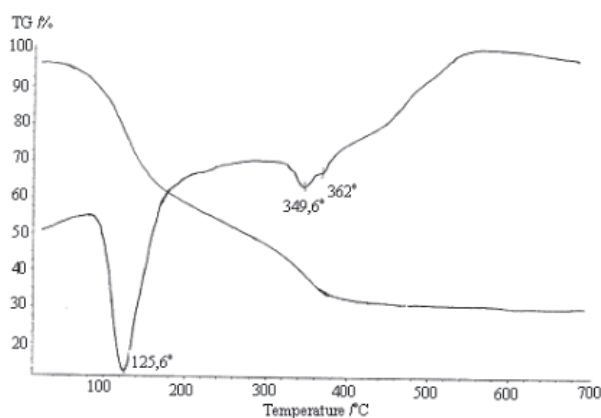


Рис. 2. Дериватогрaмма соединения $\text{HoCl}_3 \cdot 3\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Список литературы

1 Кукушкин Ю.Н. Химия координационных соединений: учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1985. – С. 424–426.
2 Аносов В.А., Озерова М.И., Фиалков Ю.Я. Основы физико-химического анализа. – М.: Изд-во Наука, 1976. – 504 с.

3. Климова В.А. Основные микрометоды анализа органических соединений. – М.: Химия, 1975. – С. 75–105.
4. Марчук О.Н. Химия лантанидов и актинидов. – Новосибирск: НГУБ, 1973. – С. 32.
5. Цивадзе А.Ю., Смирнов А.Н., Харитонов Ю.Я. Нормальные колебания свободного и координированного амида никотиновой кислоты // Коорд. химия. – 1977. – Т. 3. – № 4. – С. 564–568.

УДК 599.323.4-116:575:539.16:537.531

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ГЕНОМА В КЛЕТКАХ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ МЫШЕЙ ПОСЛЕ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МАЛОЙ ДОЗЕ И ИХ ПОТОМКОВ

Раскоша О.В.

ФГБУН «Институт биологии Коми» НЦ УрО РАН, Сыктывкар, e-mail: raskosha@ib.komisc.ru

В модельных экспериментах изучена стабильность генома клеток щитовидной железы мышей линии Af ($n = 116$) после хронического облучения в малой дозе (0,3 Гр) и прослежена возможность наследования радиационно-индуцированных изменений у их необлученных потомков (F_1 - F_4). Результаты показали статистически значимое снижение двуниевых разрывов ДНК в тироцитах животных через четыре месяца после радиационного воздействия, при этом частота клеток с микроядрами сохранялась в пределах нормы. Тесты с химической (уретан, 1 мг/г массы тела) и радиационной (острое гамма-облучение в дозе 4 Гр) нагрузками позволили обнаружить различия на молекулярном уровне в геноме клеток ЩЖ между потомками животных F_4 опытной и контрольной групп. В целом, данные, полученные на потомках облученных животных, свидетельствуют в пользу наследования радиационно-индуцированной нестабильности генома.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, малые дозы, хроническое воздействие, острое облучение, уретан, щитовидная железа, микроядра, двуниевые разрывы ДНК

ESTIMATION OF GENOME STABILITY IN THYROID CELLS OF MICE AFTER CHRONIC EXPOSURE TO IONIZING RADIATION IN LOW DOSES, AND THEIR OFFSPRING WITHOUT IRRADIATION

Raskosha O.V.

Institute of Biology, Komi Science Center of RAS, Syktyvkar, e-mail: raskosha@ib.komisc.ru

In model experiments, we studied the stability of the genome of the cells of the thyroid gland mouse line Af, who were chronic exposure at low dose (0,3 Gy) and traced the possibility of inheritance of radiation-induced changes in their unexposed offspring (F_1 - F_4). In the experiment were used 116 animals. The results showed a statistically significant decrease in DNA double strand breaks ($p \leq 0,05$) in thyroid cells irradiated animals, the frequency of cells with micronuclei was within normal limits. Tests with the chemical (urethane, 1 mg/g body weight) and radiation (a dose of 4 Gy) loads showed differences at the molecular level in the genome of cells thyroid gland of F_4 -offspring animal control and experimental groups. In general, the data obtained in the progeny of irradiated animals, according to the inheritance of radiation-induced genomic instability.

Keywords: ionizing radiation, low-dose, chronic exposure, acute exposure, urethane, thyroid, micronuclei, DNA double strand breaks

В природных условиях выявление особенностей биологического действия радиационного фактора является довольно сложной задачей в связи с модифицирующим влиянием сопутствующих физических и химических факторов, которые в значительной степени могут изменять зависимость «доза – эффект» для организмов, населяющих территории с повышенным радиационным фоном. В таком случае наиболее приемлемым является проведение модельных экспериментов на лабораторных животных, позволяющих строго стандартизировать условия воздействия, соблюдение которых необходимо для оценки генетических последствий как у непосредственно облученных животных, так и у их потомства. Перспективным для изучения биологических эффектов длительного воздействия ионизирующего излучения (ИИ) в малых дозах нам представляется исследование ответной реакции щитовидной железы (ЩЖ), которая состоит преимущественно из медленно

обновляющихся клеточных популяций. По данным литературы ткани с низкой пролиферативной активностью способны на протяжении длительного времени сохранять и накапливать структурные изменения ДНК, связанные с влиянием различных повреждающих факторов [1, 2].

Существует ряд методов, позволяющих оценить результаты воздействия малых доз ИИ на живые организмы как на клеточном (микроядерный тест), так и на молекулярном (метод «ДНК-комет») уровнях. Микроядерный тест, основанный на подсчете интерфазных клеток с микроядрами (МЯ), широко распространен для оценки мутагенного действия радиационного загрязнения среды и в экспериментах по выявлению радиационно-индуцированных эффектов в разных дозах. С появлением метода «ДНК-комет» стало возможным исследовать повреждения ДНК в индивидуальных клетках, определяя их количественно, и выявлять, таким образом разнородность

ответа клеток на генотоксическое воздействие [5]. Есть мнение, что по чувствительности этот метод сопоставим с традиционными цитогенетическими тестами, а в случаях, когда низкие дозы сочетаются с большой длительностью воздействия фактора, может даже превосходить их [6].

Цель исследования. Цель работы состояла в оценке стабильности генома фолликулярных клеток ЩЖ у мышей линии Af, облученных в хроническом режиме в малой дозе (0,3 Гр), а также в том, чтобы проследить возможность наследования радиационно-индуцированных изменений у их потомков (F_1 - F_4).

Материалы и методы исследования

Эксперименты с моделированием ситуации хронического γ -излучения проводили на половозрелых мышках линии Af (F_0). Источником γ -излучения служили две ампулы, содержащие $0,474 \cdot 10^6$ и $0,451 \cdot 10^6$ кБк ^{226}Ra , разнесенные на расстояние 2,5 м. Животные находились под воздействием ИИ в течение 84 суток при мощности экспозиционной дозы 150 мкГр/ч, суммарная поглощенная доза за этот период составила 0,3 Гр (опытная группа). Дозовая нагрузка на организм опытных животных определялась мощностью экспозиционной дозы (радиометр ДРГЗ-01Т1) и сроками их содержания в условиях воздействия ИИ. Суммарную поглощенную дозу облучения рассчитывали по показаниям термомюнесцентных дозиметров (ДТУ-01) с детекторами ДТГ-4 (LiF) на дозиметрической термомюнесцентной установке ДВГ-02ТМ (НПП «Доза», Россия). Через четыре месяца после прекращения облучения мышей (F_0) (8–9 мес., масса тела 24–28 г) декапитировали с последующим взятием материала для молекулярного и цитогенетического анализов ЩЖ. Для получения потомства первого-четвертого поколений (F_1 - F_4) облученных самцов спаривали с облученными самками (один самец на одну/две самки), при этом учитывали их родословную, подбирая неродственных животных. Мыши контрольных групп были посажены на размножение одновременно с соответствующими группами опытных животных в идентичные условия. Для выявления возможности наследования радиационно-индуцированных изменений полученных самцов-потомков (F_1 - F_4) (3 мес., масса тела 20–27 г) декапитировали с последующим взятием материала для исследования генома клеток ЩЖ. На животных F_4 был проведен дополнительный эксперимент с радиационной (острое гамма-облучение) и нерадиационной (уретан (этилкарбамат)), Sigma-Aldrich, USA) нагрузками. Потомков мышей случайным образом делили на три группы, в каждую входили потомки как опытной, так и контрольной групп животных. Первая группа состояла из мышей, которых не подвергали воздействию факторов («без воздействия»), вторую группу животных подвергали острому облучению в дозе 4 Гр на установке «Исследователь» при мощности дозы 0,75 Гр/мин («облучение 4 Гр») и третьей группе животных («уретан») внутривенно вводили 10% раствор уретана в количестве 1 мг/г массы тела (контрольная группа мышей аналогичным образом получала эквивалентное массе тела количество 0,9% раствора NaCl). Уретан

является одним из широко исследованных канцерогенов-промоторов, который проявляет свою эффективность в трансгенерационных канцерогенных исследованиях [7, 9]. Животных выводили из эксперимента через 48 часов после воздействий. Исследования проводили в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» (Приложение к приказу Министерства здравоохранения СССР от 12.08.77, № 755).

Суспензию клеток ЩЖ получали с помощью ферментативной диссоциации путем обработки ткани в 0,25% растворе коллагеназы (Collagenase type IA, Sigma, USA), время инкубации составляло 40–60 мин. Для проведения микроядерного теста в полученные суспензии клеток добавляли гипотонический раствор (0,56% KCl, 20 мин, 37°C) с последующей фиксацией охлажденной смесью метанола и ледяной уксусной кислоты (3:1), после чего суспензию клеток раскапывали на холодные предметные стекла. Для изучения степени фрагментации ДНК использовали нейтральную версию pH метода ДНК-комет, которая ориентирована преимущественно на анализ двунитевых разрывов ДНК (ДР ДНК) [10]. Суспензии клеток смешивали с 1% раствором легкоплавкой агарозы (тип IV, Sigma, USA) и наносили на предварительно покрытые 1% нормоплавкой агарозой предметные стекла. Лизис клеток осуществляли в холодном (4°C) лизирующем буфере (2,5 M NaCl, 100 mM Na₂EDTA, 20 mM Tris-HCl, pH 10, 1% Triton X-100 и 10% DMSO) в течение 24 ч. Далее слайды переносили на 20 мин в трис-боратный буфер (pH 8,2, при 4°C) с последующим проведением электрофореза в этом же буфере при напряжении 1 В/см при 4°C в течение 20 мин. Для фиксации слайдов использовали 70% этанол (10 мин). Генетический материал для микроядерного теста и метода ДНК-комет окрашивали акридиновым оранжевым («Sigma», USA; 2 мкг/мл в фосфатно-солевом буфере, pH 7.4). Число клеток с МЯ подсчитывали на 1 тыс. клеток под флуоресцентным микроскопом «Axioscop» (Carl Zeiss, Jena). «ДНК-кометы» визуализировали с помощью видеосистемы на основе цифровой камеры «AxioCam» при флуоресцентном режиме, длина волны возбуждающего света составляла 450–490 нм (запирающий фильтр 510 нм). Обработку микрофотографий выполняли с помощью программного обеспечения «CometScore 1.5» (TriTek Corp., USA), анализировали по 50–100 «комет» на одно животное. Долю поврежденной ДНК в клетках оценивали с помощью показателя «Olive tail moment» (OTM) по [10], который равен произведению расстояния от центра ядра до центра плотности хвоста «кометы» и процента ДНК в хвосте. Рассчитывали также среднее значение %TDNA, отражающий процент ДНК в хвосте «кометы» [8] и частоту распределения тирозитов по величине %TDNA. Вычисляли средние значения частоты клеток с неповрежденной ДНК (практически не имеющие хвоста «кометы») и с высокофрагментированной ДНК (имеющие более 40% ДНК в хвосте «кометы») [3]. О достоверности различий судили по величине t-критерия Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты проведенного эксперимента показали, что через четыре месяца после хронического воздействия ИИ в дозе 0,3 Гр

на мышей линии Af (F_0) частота клеток с МЯ в ЩЖ была в пределах значений, характерных для контрольных животных (табл. 1). При сравнительном изучении потомков (F_1 - F_4), полученных от облученных и необлученных животных, различий по частоте встречаемости микронуклеированных тироцитов также не обнаружено. Статистически значимые изменения после воздействия ИИ на мышей были выявлены на молекулярном уровне, которые проявлялись в понижении доли ДР ДНК в клетках ЩЖ (по показателю ОТМ). На рис. 1 продемонстрировано повышение количества тироцитов у животных после радиационного воздействия в диапазоне 11–20 и 21–30%TDNA и снижение доли клеток с высокофрагментированной ДНК (диапазон – более 40%TDNA по сравнению с необлученными животными). Кроме того, следует отметить возрастание доли клеток элиминирующих по пути апоптоза у облученных животных над спонтанным уровнем (диапазон 90–100%TDNA). Это повлияло на понижение среднего значения

частоты встречаемости тироцитов с высокофрагментированной ДНК у животных после действия ИИ. Малые дозы облучения могли явиться адаптирующим фактором и вызвать снижение индукции разрывов нитей ДНК в клетках ЩЖ по сравнению с нормой путем активации процессов репарации, а с другой стороны, повышенная элиминация клеток с запрограммированной гибелью способствовала удалению из клеточной популяции клеток с поврежденным геномом.

Чтобы определить значимость для потомства изменений, обнаруженных на молекулярном уровне в геноме клеток ЩЖ у облученных мышей, были продолжены исследования на животных F_1 - F_4 -поколений. В результате изучения степени фрагментации ДНК в тироцитах потомков облученных животных выявлены статистически значимые различия с контролем в F_2 -поколении; у мышей опытной группы частота встречаемости клеток с ДР ДНК была ниже спонтанного уровня (ОТМ в 1,8 раза; %TDNA в 1,3 раза), как

Таблица 1

Молекулярные и цитогенетические показатели клеток ЩЖ мышей линии Af после хронического облучения в дозе 0,3 Гр и их необлученных потомков

| Поколение | Группа животных (число животных) | МЯ, % | ОТМ, усл. ед. | %TDNA | Клетки с неповрежденной ДНК, % | Клетки с высокофрагментированной ДНК, % |
|-----------|----------------------------------|-----------|---------------|-------------|--------------------------------|---|
| F_0 | контрольная (11) | 8,0 ± 0,2 | 22,1 ± 1,8 | 31,7 ± 1,0 | 18,59 ± 1,1 | 33,3 ± 1,3 |
| | опытная (6) | 9,0 ± 0,2 | 13,5 ± 1,8* | 30,4 ± 1,0 | 16,79 ± 2,0 | 21,3 ± 2,2* |
| F_1 | контрольная (5) | 5,5 ± 0,1 | 9,2 ± 1,4 | 15,8 ± 0,8 | 42,6 ± 2,9 | 5,2 ± 1,3 |
| | опытная (7) | 6,8 ± 0,9 | 9,0 ± 1,0 | 15,7 ± 0,7 | 46,6 ± 2,1 | 4,8 ± 0,9 |
| F_2 | контрольная (5) | 3,8 ± 0,7 | 7,9 ± 1,1 | 14,2 ± 0,6 | 44,9 ± 2,9 | 2,7 ± 0,9 |
| | опытная (6) | 4,7 ± 1,2 | 4,5 ± 0,3* | 10,7 ± 0,4* | 58,9 ± 2,5* | 0,5 ± 0,4* |
| F_3 | контрольная (7) | 4,1 ± 0,7 | 5,1 ± 0,9 | 12,3 ± 0,4 | 53,1 ± 2,1 | 1,5 ± 0,5 |
| | опытная (7) | 5,5 ± 0,8 | 3,6 ± 0,4 | 11,4 ± 0,5 | 66,0 ± 2,1* | 1,2 ± 0,5 |
| F_4 | контрольная (10) | 4,1 ± 0,7 | 6,3 ± 0,2 | 13,9 ± 0,4 | 53,0 ± 1,9 | 3,5 ± 0,7 |
| | опытная (10) | 4,6 ± 0,6 | 5,4 ± 0,6 | 13,1 ± 0,4 | 55,4 ± 2,1 | 4,4 ± 0,9 |

Примечание. Здесь и далее * $p \leq 0,05$ по сравнению с соответствующей контрольной группой.

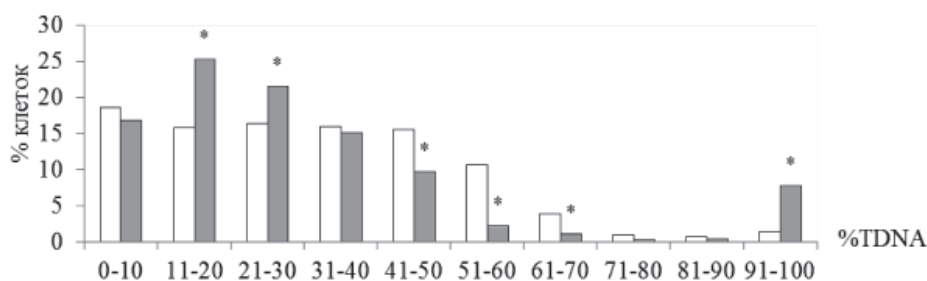


Рис. 1. Гистограмма распределения тироцитов по величине % TDNA у мышей линии Af после хронического гамма-облучения в дозе 0,3 Гр.

Примечание. Светлые столбики – контрольные животные (контрольная группа), темные столбики – облученные животные (опытная группа)

и у непосредственно облученных особей (ОТМ в 1,6 раза). В других поколениях, полученных от облученных животных – F_1 , F_3 и F_4 средние значения %TDNA, ОТМ, количества клеток с неповрежденной (кроме F_3) и высоко фрагментированной ДНК в клетках ЩЖ практически не отличались от контроля. На рис. 2 показано сходство частоты распределения ДНК в хвосте «кометы» в клетках ЩЖ у потомков F_1 и F_4 облученных и контрольных мышей, тогда как у потомков F_2 и F_3 облученных животных проявлялось статистически значимое повышение относительно нормы доли клеток с неповрежденной ДНК (в обоих поколениях на 14% в диапазоне 0–10%TDNA).

фрагментации ДНК может быть связано с активацией репарационных процессов, возникающей в ответ на повреждающее действие факторов. Следует отметить, что в условиях проведенного эксперимента была выявлена следующая особенность – низкое относительно нормы количество ДР ДНК у животных, которых впервые подвергали действию облучения или уретана, их предки тоже не испытывали подобного воздействия. Различий в числе клеток с МЯ в ЩЖ потомков облученных и необлученных животных через 48 часов после действия обоих факторов не обнаружено. Это связано с тем, что для формирования МЯ в клетках ЩЖ, органе

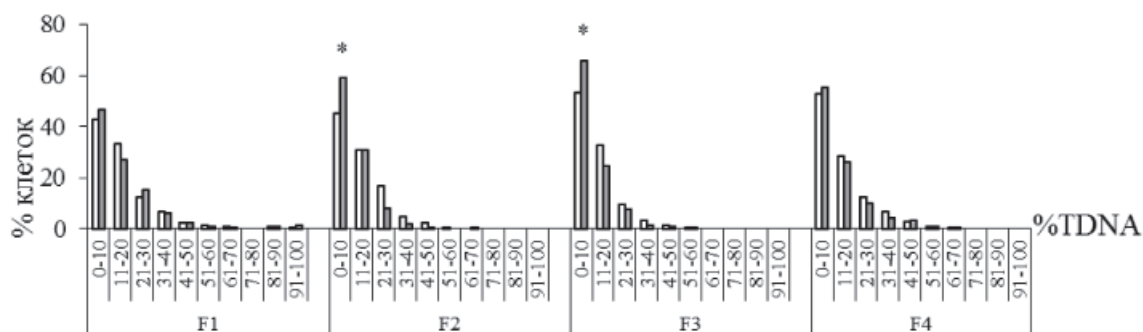


Рис. 2. Гистограмма распределения тироцитов по величине %TDNA у потомков (F_1 - F_4) мышей линии Af, облученных в дозе 0,3 Гр.
Примечание. Светлые столбики – потомки животных контрольной группы, темные столбики – потомки животных опытной группы

Выявление резервных возможностей исследуемого органа, проведенное на F_4 -поколении животных с помощью острого облучения (4 Гр) позволило обнаружить различия в ответной реакции ЩЖ у потомков опытной и контрольной групп (табл. 2). У потомков облученных мышей после воздействия ИИ в острой дозе повышалась индукция ДР ДНК в тироцитах. Об этом свидетельствует увеличение интегрального показателя ОТМ и среднего значения %TDNA, происходившие за счет роста количества клеток с высоко фрагментированной ДНК (в 2 раза; $p \leq 0,05$). У потомков контрольных животных ответная реакция была противоположной – после острого облучения статистически значимо повышалось среднее значение числа клеток в ЩЖ с неповрежденной ДНК, что отразилось на %TDNA. После воздействия уретана обнаружено понижение доли тироцитов с ДР ДНК у потомков как контрольных, так и облученных животных ($p \leq 0,05$). Снижение степени

с низкой пролиферативной активностью необходим длительный промежуток времени после действия факторов или/и влияние самих факторов должно быть более продолжительным. Об этом свидетельствуют исследования, проведенные нами ранее [4].

Заключение

Результаты изучения радиационно-индуцированных эффектов в модельных экспериментах на мышах линии Af и сопоставление их с данными о наследуемости таких изменений позволили сделать заключение о биологической эффективности хронического воздействия ИИ в дозе 0,3 Гр. Примененные нами тесты с химической (уретан) и радиационной (острое облучение) нагрузками показали, что на молекулярном уровне реактивность ЩЖ потомков (F_4) животных контрольной и опытной групп в ответ на радиационное воздействие различается, тогда как при уретановой интоксикации прослеживается

Таблица 2

Молекулярные и цитогенетические показатели клеток ЩЖ у F₄-потомков опытной и контрольной групп мышей линии Af через 48 часов после острого облучения (доза 4 Гр) или воздействия уретаном (1 мг/г)

| Потомки F ₄ | Вариант эксперимента (число животных) | МЯ, % | ОТМ, усл. ед. | %TDNA | Клетки с неповрежденной ДНК, % | Клетки с высокофрагментированной ДНК, % |
|------------------------|---------------------------------------|-----------|---------------|-------------|--------------------------------|---|
| Контрольная группа | без воздействия (10) | 4,1 ± 0,7 | 6,3 ± 0,2 | 13,9 ± 0,4 | 53,0 ± 1,9 | 3,5 ± 0,7 |
| | облучение (6) | 4,0 ± 0,8 | 5,8 ± 0,3 | 11,8 ± 0,7* | 64,1 ± 2,3* | 3,2 ± 0,8 |
| | уретан (10) | 4,6 ± 0,7 | 4,6 ± 0,3* | 9,1 ± 0,5* | 73,7 ± 2,1* | 1,5 ± 0,6* |
| Опытная группа | без воздействия (10) | 4,6 ± 0,6 | 5,4 ± 0,6 | 13,1 ± 0,4 | 55,4 ± 2,1 | 4,4 ± 0,9 |
| | облучение (6) | 4,5 ± 0,8 | 7,2 ± 0,4* | 15,3 ± 0,8* | 56,9 ± 2,5 | 8,9 ± 1,5* |
| | уретан (10) | 5,6 ± 0,7 | 4,8 ± 0,5 | 10,4 ± 0,3* | 65,5 ± 1,7* | 1,1 ± 0,4* |

Примечание. *p ≤ 0,05 по сравнению с группой «без воздействия».

сходство в ответной реакции клеток ЩЖ у животных обеих групп (понижение доли ДР ДНК). Выявленное после острого облучения изменение индукции тироцитов с ДР ДНК косвенно может свидетельствовать о различиях в скорости развития репарационных процессов в геноме клеток потомков облученных и необлученных животных. Результаты, полученные на потомках, в целом могут свидетельствовать в пользу наследования радиационно-индуцированной нестабильности генома.

Список литературы

1. Бычкова И.Б. Немутагенные немишенные радиационные эффекты. Наследуемое снижение жизнеспособности клеток, индуцированное лучевыми воздействиями в малых дозах // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2013. – Т. 53. – № 3. – С. 246–258.
2. Гансбургский М.А. Анализ клеток с микроядрами в оценке пролиферации эпителия щитовидной железы: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – М., 2005. – 21 с.
3. Кузнецова Е.А., Заичкина С.И., Сирота Н.П. и др. Индукция редко- и плотноионизирующими излучениями повреждений ДНК в лейкоцитах крови и цитогенетических повреждений в полихроматофильных эритроцитах костного мозга мышей и их потомков // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2014. – Т. 54. – № 4. – С. 341–349.
4. Раскоша О.В., Ермакова О.В., Павлов А.В., Кораблева Т.В. Морфометрические и цитогенетические исследования фолликулярного эпителия щитовидной железы мелких млекопитающих при хроническом облучении в малых дозах // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2015. – Т. 55. – № 1. – С. 63–70.
5. Сирота Н.П., Кузнецова Е.А. Применение метода «ДНК-комет» в радиобиологических исследованиях // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2010. – Т. 50. – № 3. – С. 329–339.
6. Сорочинская У.Б., Михайленко В.М. Применение метода ДНК-комет для оценки повреждений ДНК, вызванных различными агентами окружающей среды // Онкология. – 2008. – Т. 10. – Вып. 3. – С. 303–309.
7. Vorobtsova I.E., Kitaev E.M. Urethane-induced lung adenomas in the first-generation progeny of irradiated male mice // Carcinogenesis. – 1988 – Vol. 9. – P. 1931–1934.
8. Collins A.R., Oscoz A.A., Brunborg G. et al. The comet assay: topical issues // Mutagenesis. – 2008. – № 23. – P. 143–151.
9. Nomura T. X-ray induced germ-line mutation leading to tumors; its manifestation in mice given urethane postnatally // Mutat. Res. – 1983. – Vol. 11. – P. 59–65.
10. Olive P.L., Banath J.P. Induction and rejoining of radiation induced DNA single-strand breaks: «tail moment» as a function of position in the cell cycle // Mutat. Res. (DNA Repair). – 1993. – Vol. 294. – P. 275–283.

УДК 546.65-87.24

ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В СИСТЕМЕ $\text{Bi}_2\text{Se}_3\text{-Nd}_3\text{Se}_4$ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАЗУЮЩИХСЯ ФАЗ

Садыгов Ф.М., Ильяслы Т.М., Ганбарова Г.Т., Исмаилов З.И.,
Мамедова С.Г., Джафарова Е.К., Мамедов Е.А.

Бакинский государственный университет, Баку, e-mail: zakir-51@mail.ru

Методами дифференциально-термического (ДТА), рентгенофазового (РФА) и микроструктурного (МСА) анализов, измерением микротвердости и электрофизических свойств изучен характер физико-химического взаимодействия в системе $\text{Bi}_2\text{Se}_3\text{-Nd}_3\text{Se}_4$. Построена диаграмма состояния системы и установлено, что она является квазибинарным сечением тройной системы Nd-Bi-Se и относится к простому эвтектическому типу, с образованием ограниченных твердых растворов на основе сесквида теллурида висмута эвтектике, отвечает составу 83 моль% Bi_2Se_3 + 17 моль% Nd_3Se_4 , температура плавления эвтектики -915 K . Растворимость со стороны Bi_2Se_3 при комнатной температуре составляет 5 моль% Nd_3Se_4 . Согласно данным МСА граница растворимости на основе Bi_2Se_3 при 915 K доходит до 12 мол% Nd_3Se_4 , с понижением температуры она снижается до 5 мол% Nd_3Se_4 . На основании дифференциально-термического анализа, был сделан вывод, что фиксированные эффекты на кривых нагревания всех сплавов являются обратимыми. Число эффектов указывает на несложность взаимодействия между селенидами висмута и неодима. По знаку термо-эдс было установлено, что все сплавы твердых растворов, как при комнатной температуре, так и в исследованном температурном интервале, обладают p-типом проводимости.

Ключевые слова: селениды, система, твердые растворы, фазовая диаграмма

PHASE EQUILIBRIUM IN THE $\text{Bi}_2\text{Se}_3\text{-Nd}_3\text{Se}_4$ AND ELECTRICAL PROPERTIES OF THE NEW PHASES

Sadygov F.M., Ilyasly T.M., Ganbarova G.T., Ismailov Z.I., Mamedova S.G.,
Dzhafarova E.K., Mamedov E.A.

Baku State University, Baku, e-mail: zakir-51@mail.ru

By differential thermal (DTA), X-ray diffraction (XRD) and microstructural (ISA) analyzes, measurement of micro-hardness and electrical properties, studied the nature of physical and chemical interaction in $\text{Bi}_2\text{Se}_3\text{-Nd}_3\text{Se}_4$ system. The diagram of the system status and found that it is a quasi-binary section of the ternary system Nd-Bi-Se and refers to the simple eutectic type, to form a limited solid solutions based on bismuth telluride seskvida eutectic composition corresponds to 83 mol% Bi_2Se_3 + 17 mol% Nd_3Se_4 melting point eutectic $-915\text{ }^\circ\text{C}$. Solubility by Bi_2Se_3 at room temperature is 5 mol% Nd_3Se_4 . According to MCA According to the solubility of the boundary on the basis of Bi_2Se_3 , at 915 K up to 12 mol% Nd_3Se_4 , the temperature is lowered, it drops to 5 mol% Nd_3Se_4 . Based on differential – thermal analysis, it was concluded that the fixed effects on the heating curves of all alloys are reversible. Number of effects indicates the simplicity of interaction between bismuth selenides and neodymium. According to the sign of the thermal emf. it was found that all the alloys of solid solutions, both at room temperature and in the temperature range studied have p-type conductivity.

Keywords: selenide, system, solid solutions, phase diagram

Селениды висмута и неодима относятся к различным классам полупроводников, в которых электронная структура компонентов сильно различается.

В большинстве производимых термоэлектрических генераторов используются полупроводниковые преобразователи на основе теллурида висмута Bi_2Te_3 . Экологическая опасность теллура определяет необходимость разработки новых безтеллуридных полупроводниковых термоэлектрических преобразователей. По температуре плавления и технологическим параметрам теллуриду висмута Bi_2Te_3 ($t_{\text{пл}} = 585\text{ }^\circ\text{C}$) подобен селенид висмута Bi_2Se_3 ($t_{\text{пл}} = 706\text{ }^\circ\text{C}$) [7].

Получение на основе Bi_2Se_3 и Nd_3Se_4 новых термоэлектрических материалов является актуальной задачей и требует фундаментальных поисков в указанной области.

Соединение Bi_2Se_3 является термоэлектрическим преобразователем n-типа с концентрацией носителей зарядов электронов $8 \cdot 10^{17}\text{ см}^{-3}$. Коэффициент Зеебека изменяется от -60 мкВ/К при 7 K до -190 мкВ/К при 300 K. При 300 K теплопроводность составляет порядка $1,55\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$. Сопротивление изменяется от $\sim 0,4\text{ МОм}\cdot\text{см}$ при температуре, близкой к 0 K до $2\text{ МОм}\cdot\text{см}$ при 300 K. Термоэлектрическая добротность ZT также повышается с ростом температуры, достигая около 0,1 при 300 K) [8].

Кристаллическая структура Bi_2Se_3 может быть описана как кубическая упаковка из атомов Bi и Se. Слои, образованные атомами Bi и Se, укладываются вдоль направления оси абсцисс в виде пяти слоевых пакетов Se-Bi-Se-Bi-Se , образуя квантиплетный слой и соединяясь друг с другом слабыми Ван-дер-Ваальсовыми силами [9, 10].

Полуторные селениды лантаноидов Nd_3Se_4 со структурой Th_3P_4 являются одними из необычных по величине изменения электрофизических свойств.

Получение новых материалов на его основе является актуальной задачей и требует фундаментальных поисков в указанной области. Для разработки методики оптимизации условий получения новых фаз на основе Bi_2Se_3 целесообразно исследование фазовых равновесий в многокомпонентных системах с его участием. Соединение Bi_2Se_3 кристаллизуется в ромбической сингонии типа тетрадимита ($\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$) с параметрами элементарной ячейки $a = 4,18 \text{ \AA}$, $c = 28,7 \text{ \AA}$. Селенид висмута является полупроводником n-типа с шириной запрещенной зоны 0,35 эВ [1]. Монокристаллы Bi_2Se_3 имеют слоистую структуру с электропроводимостью вдоль слоев $2000 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, термо-эдс – 100 МКВ/град., и удельной теплопроводностью 0,025 ккал/см·с·град.; микротвердость Bi_2Se_3 равна 720 МПа [2, 3].

Соединение Nd_3Se_4 имеет кубическую сингонию типа Th_3P_4 с $a = 8,879 \text{ \AA}$, пространственная группа I43d. Для Nd_3Se_4 при 1100 °С величина термоэлектрической эффективности $Z = 1 \cdot 10^{-3} \text{ град.}^{-1}$, возрастающая с температурой [3].

Цель исследования. Исследование характера физико-химического взаимодействия в системе $\text{Bi}_2\text{Se}_3\text{--Nd}_3\text{Se}_4$. Изучение электрофизических свойств полученных твердых растворов в широком интервале температур.

Материалы и методы исследования

Исходные бинарные соединения Bi_2Se_3 и Nd_3Se_4 плавятся конгруэнтно при 979 и 2023 К (4,5). Bi_2Se_3 непосредственно кристаллизуется из расплава стехиометрического состава. Поэтому его синтез проводили сплавлением элементарных компонентов высокой степени чистоты в вакуумированной (10^{-2} Па) кварцевой ампуле при температуре 1050 К с последующим медленным охлаждением. Соединение Nd_3Se_4 также синтезировали из соответствующих простых веществ керамическим методом при 1350 К в условиях вакуума. Учитывая, что при высоких температурах неодим взаимодействует с кварцем, синтез соединения Nd_3Se_4 и сплавов исследуемой системы проводили в графитизированных кварцевых ампулах. Индивидуальность полученных соединений Bi_2Se_3 и Nd_3Se_4 контролировали методами ДТА и РФА. Образцы системы Bi_2Se_3 и Nd_3Se_4 готовили из предварительно синтезированных исходных соединений посредством керамического метода в условиях вакуума при 1250 К. Готовили две серии сплавов: первая серия для исследования физико-химического, а вторая для исследования электрофизических свойств. Для достижения состояния, максимально близкого к равновесному, сплавы подвергались длительному термическому отжигу. Для этого полученные негомогенизированные

сплавы массой 3 г были перетерты в порошок, тщательно перемешаны и запрессованы в таблетки, а затем отожжены при 650 К в течение двух недель. Исследования проводились методами ДТА (прибор термоксан-2 и ВДТА 8М2), РФА (порошковый дифрактометр D8 ADVANCE фирмы Bruker), МСА – сканирующей электронной микроскопии (СЭИ, Phillips-XL 30 FEG) и микротвердости (с помощью прибора ПМТ-3). Компенсационным методом [4, 5] были исследованы измерение электропроводности, термо-эдс и электрофизические свойства.

Результаты исследования и их обсуждение

На основании дифференциально-термического анализа был сделан вывод, что фиксированные эффекты на кривых нагревания всех сплавов являются обратимыми. Число эффектов указывает на несложность взаимодействия между селенидами висмута и неодима. Анализ дифрактограммы ряда сплавов системы закаленных после отжига и исходных соединений показал, что все сплавы за исключением области концентрации 0–5 моль % Nd_3Se_4 содержат линии исходных компонентов Nd_2Se_3 и Nd_3Se_4 , что подтверждает квазибинарность этого разреза и отсутствия в нем новой фазы. МСА проводили на отшлифованных и полированных поверхностях сплавов. Показано, что сплавы системы до 5,0 мол % Nd_3Se_4 состоят из одной фазы, характерной для твердых растворов. На основании результатов выше указанных анализов построена фазовая диаграмма состояния системы Bi_2Se_3 и Nd_3Se_4 (рис. 1).

При изучении микротвердости сплавов получены два ряда значений 850 и 3250 МПа, соответствующие α -твердым растворам на основе Bi_2Se_3 и Nd_3Se_4 .

Как видно, диаграмма состояния является квазибинарным сечением тройной системы Nd–Bi–Se и относится к простому эвтектическому типу, с образованием ограниченных твердых растворов на основе сесквида теллурида висмута эвтектике отвечает составу 83 моль % Bi_2Se_3 + 17 моль % Nd_3Se_4 , температура плавления эвтектики – 915 К.

Растворимость на основе Bi_2Se_3 при 300 К достигает 5 мол % Nd_3Se_4 . Для определения границы области гомогенности на основе Bi_2Se_3 синтезировали дополнительные сплавы через 1 моль % Nd_3Se_4 , которые в дальнейшем при соответствующих температурах в течение 250 г, затем закаляют в воде.

Согласно данным МСА граница растворимости на основе Bi_2Se_3 при 915 К доходит до 12 мол % Nd_3Se_4 , с понижением температуры она снижается до 5 мол % Nd_3Se_4 .

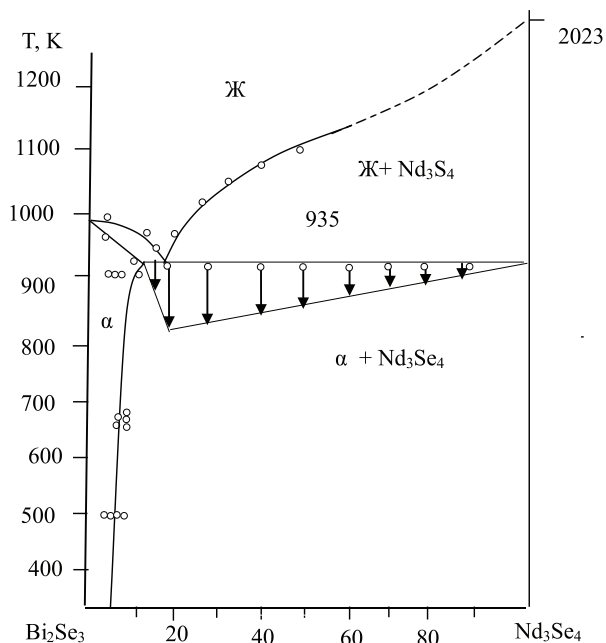


Рис. 1. Диаграмма состояния системы $Bi_2Se_3-Nd_3Se_4$

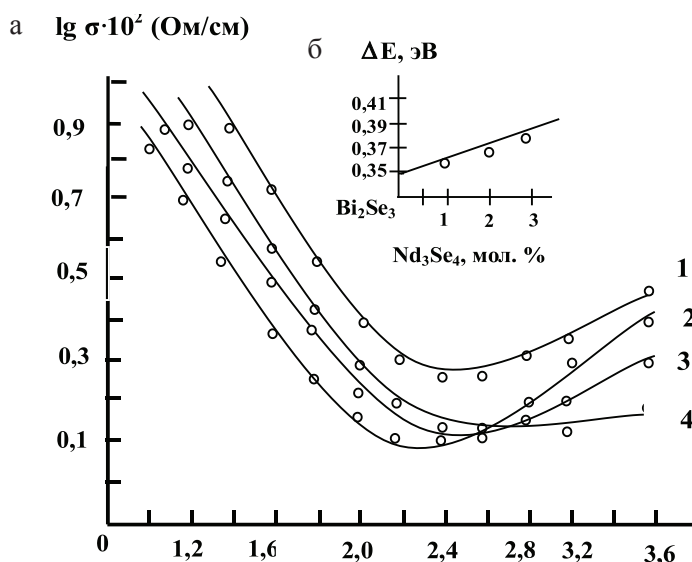


Рис. 2.

а – температурные зависимости электропроводности;
б – изменение ширины запрещенной зоны сплавов твердых растворов на основе Bi_2Se_3 :
 1 – 0,5; 2 – 1,0; 3 – 2,0; 4 – 3,0 мол% Nd_3Se_4

Кривые температурной зависимости электропроводности можно разделить на две области: низкотемпературная (до 390–450 К) и высокотемпературная (выше 450–550 К).

В первой области удельная проводимость носит металлический характер, а во второй – полупроводниковый (рис. 2). Такой ход кривых зависимости $\lg \sigma \sim f(10^3/T \cdot K)$ присущ исходному соединению Bi_2Se_3 [2].

Из высокотемпературной области кривых электропроводности рассчитаны значения термической ширины запрещенной

зоны (рис. 3, б). При добавлении Nd_3Se_4 , ΔE незначительно возрастает от 0,35 эВ для Bi_2Se_3 до 0,41 эВ для образцов с содержанием 5% мол Nd_3Se_4 .

На рис. 3 отмечена температурная зависимость коэффициента термо-эдс Bi_2Se_3 и твердых растворов $(Bi_2Se_3)_{1-x}(Nd_3Se_4)_x$. В интервале температур 400–500 К наблюдается рост коэффициента термо-эдс и при 500 К достигает максимального значения, затем, с дальнейшим увеличением температуры, монотонно понижается.

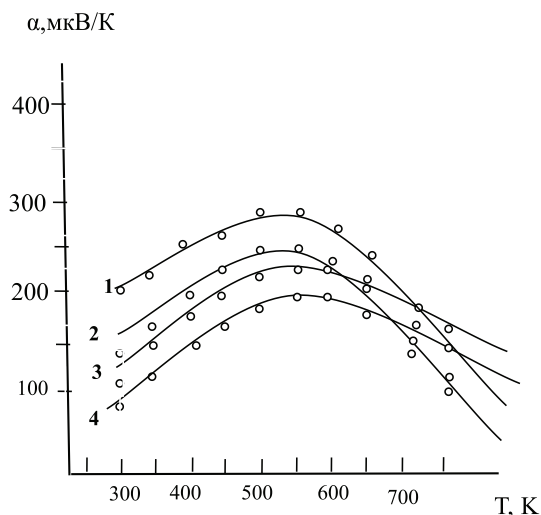


Рис. 3. Температурные зависимости коэффициента термо-эдс сплавов твердых растворов на основе Bi_2Se_3 :
1 – 0,5; 2 – 1,0; 3 – 2,0; 4 – 3,0 мол % Nd_3Se_4

Понижение α с увеличением температуры в сплаве Nd_3Se_4 смещается в сторону низких температур. По знаку термо-эдс было установлено, что все сплавы твердых растворов, как при комнатной температуре, так и в исследованном температурном интервале, обладают р-типом проводимости.

Более подробное обсуждение результатов изучения электрофизических параметров можно провести с помощью исследования других кинетических коэффициентов, но близость составов и родственный характер температурных зависимостей кривых термоэлектрических параметров, свидетельствует об аналогичности механизма явления переноса в настоящих веществах с ранее изученными твердыми растворами на основе Bi_2Se_3 [4].

Выводы

1. Методами дифференциально-термического (ДТА), рентгенофазового (РФА) и микроструктурного (МСА) анализов, измерением микротвердости изучен характер физико-химического взаимодействия в системе Bi_2Se_3 – Nd_3Se_4 . Построена диаграмма состояния системы и установлено, что она является квазибинарным сечением тройной системы Nd – Bi – Se . Растворимость со стороны Bi_2Se_3 при комнатной температуре составляет 5 моль % Nd_3Se_4 .

2. Изучение электрофизических свойств полученных твердых растворов

в широком интервале температур. Все сплавы из области твердых растворов имеют р-тип проводимости.

Список литературы

1. Абрикасов Н.Х., Банкина В.Ф., Порецкая Л.В. Полупроводниковые халькогениды и сплавы на их основе. – М., Наука, 1975. – 220 с.
2. Гольдман Б.М., Кудинов В.А., Смирнов И.А. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi_2Te_3 . – М.: Наука, 1972. – 320 с.
3. Садыгов Ф.М., Оруджева Г.Б., Исмаилов З.И., Джафарова Е.К. Электрофизические свойства сплавов на основе Bi_2Se_3 // Тезисы док. VIII Всерос. науч. конф. смеждународ. участием молод. ученых по химии. – СПб., 2014. – С. 159–160.
4. Садыгов Ф.М., Гамбарова Г.Т., Исмаилов З.И., Ильялы Т.М. Электрофизические свойства растворов на основе Bi_2Se_3 // Кинетика механизма кристаллизации: тезисы док. VIII Межд. науч. конф. – Иванова, 2014. – С. 65–66.
5. Ярембаш Е.И., Елисеев А.А. Халькогениды редкоземельных элементов. – М.: Наука, 1975. – 275 с.
6. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: в 3 т. Т. 1 / под общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.
7. Nor Y.S. et. al. p-type Bi_2Se_3 for topological insulator and low-temperature thermoelectric applications // Phys. Rev. – 2009. – В 79 (19). – P. 5208.
8. Kristie, J. Koski et. al. Chemical Intercalation of Zerovalent Metals into 2D Layered Bi_2Se_3 Nanoribbons // Journal of the American Chemical Society. – 2012. – Vol. 134. – P. 13773–13779.
9. Tarakina N.V. et.al. Comparative study of the microstructure of Bi_2Se_3 thin films grown on Si (111) and InP (111) substrates // Crystal Growth & Design. – 2012. – Vol. 27. – № 4. – P. 1913–1918.
10. Qianfan, Zhang et all. Exotic topological insulator states and topological phase transitions in Sb_2Se_3 – Bi_2Se_3 heterostructures // ASC NANO. – 2012. – Vol. 6. – № 3. – P. 2345–2352.

УДК 543.554.4;535.015; 665.939.129

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕЛКОВОГО ГИДРОЛИЗАТА С ЭКСТРАКТАМИ СОСНЫ

Сячинова Н.В., Гончарова Н.В.

ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления»,
Улан-Удэ, e-mail: c-h-v@mail.ru

Таннины – дубильные материалы растительного происхождения, широко используются при выделке шкур. Замена природы растворителя в процессе экстракции приводит к увеличению селективного выхода веществ из растительного сырья и как следствие – к изменению химических свойств получаемых экстрактов. В процессе лесозаготовительных работ, при окорке древесины, главным образом сосны, образуется большое количество отходов, которые могут быть интересны как альтернативное сырье для производства таннидов. Исследование дубящих свойств полученных из коры сосны экстрактов проводили на продуктах растворения коллагена (ПРК), моделирующих поведение кожаной ткани в процессе дубления, с привлечением методов потенциометрического титрования и спектроскопии. Проведенные исследования, связанные с определением характера взаимодействия в процессе дубления экстрактов коры сосны, полученных растворителями различной природы, с белковыми веществами, содержащимися в кожаной ткани, указывают на наличие значительного влияния способа экстракции на химическую активность таннидов.

Ключевые слова: таннины, сосновая кора, потенциометрическое титрование, спектроскопия

THE INTERACTION OF PROTEIN HYDROLYSATE WITH PINE EXTRACTS

Syachinova N.V., Goncharova N.V.

East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, e-mail: c-h-v@mail.ru

The tannins are tanning materials of plant origin widely used in hide processing. Changing the type of a solvent in the extraction process increases the selective release of substances from plant raw material and, as a consequence, changes chemical properties of the produced extracts. During forest harvestings operation, wood debarking brings to a large amount of mainly pine waste, which may be of interest as an alternative raw material for the tannin production. Tanning properties of pine trees bark research was carried out using collagen solution products (CSP), simulating leather tanning process and involving potentiometric titration methods and spectroscopy. The studies have shown that the kind of the pine bark extracts (obtained by solvents of different nature) interaction with the protein substance of the leather material during the tanning process indicates a significant impact of the extraction method on the tannins' chemical activity.

Keywords: tannins, pine bark, potentiometric titration methods, spectroscopy

Таннины – дубильные материалы растительного происхождения, широко используются при выделке шкур. В России для промышленного получения дубильных экстрактов используются кора и древесина дуба, кора ели, ивы, лиственницы, корни бадана, тарана и некоторых других растений. Однако с развитием и совершенствованием технологий глубокой переработки растительного сырья появляется возможность получения дубильных экстрактов из нетрадиционных и/или низкосортных видов сырья. Замена природы растворителя в процессе экстракции приводит к увеличению селективного выхода веществ из растительного сырья и, как следствие, к изменению химических свойств получаемых экстрактов.

В Бурятии в процессе лесозаготовительных работ, при окорке древесины образуется большое количество отходов, главным образом сосны, преобладающей в видовом соотношении в лесах республики. Образующиеся отходы могут быть интересны как альтернативное сырье для производства таннидов.

Целью исследования явилось изучение дубящей способности экстрактов коры сосны, полученных различными способами.

Объектами исследования были сосновые экстракты, полученные методом традиционной водной экстракции, а также водно-спиртовые и водно-щелочные [8, 3].

Исследование дубящих свойств, полученных из коры сосны экстрактов, проводили на продуктах растворения коллагена (ПРК), моделирующих поведение кожаной ткани в процессе дубления методами потенциометрического титрования и спектроскопии [2].

Методом потенциометрического титрования нативных ПРК и ПРК, обработанных экстрактами, можно определить характер взаимодействия экстрактов с белком [1]. Изменение соотношения количества функциональных групп, содержащихся в дубленых и недубленых белковых соединениях, позволяет определить характер преимущественного взаимодействия экстрактивных веществ с ПРК (табл. 1).

Таблица 1

Количество функциональных групп, содержащихся в дубленых и недублёных белках

| Объект исследования | pH = 1,5–6 боковые карбоксильные группы, ммоль/г | pH = 6–8,5 α – аминокислоты, ммоль/г | pH = 8,5–12 ϵ – амино- и гидроксильные группы, ммоль/г | Содержание амидного азота |
|--|---|---|--|---------------------------------|
| ПРК | 62,691 | 0,982 | 58,451 | 61,709 |
| ПРК, обработанный водным экстрактом сосны | 47,311 | 5,943 | 19,062 | 36,492 |
| ПРК, обработанный водно-спиртовым экстрактом сосны | 36,492 | 0 | 60,743 | 36,492 |
| ПРК, обработанный водно-щелочным экстрактом сосны | 47,379 | 0 | 63,154 | 47,379 |

Значительное уменьшение количества свободных функциональных групп у дубленых ПРК, по сравнению с нативными продуктами, свидетельствует об их взаимодействии с экстрактами сосны.

Химический состав полученных экстрактов в значительной степени влияет на характер взаимодействия и степень преимущественного связывания их с функциональными группами белка. При этом происходит переориентация активных центров ПРК, в результате чего часть функциональных групп высвобождается из-за разрушения межмолекулярных, водородных и координационных связей белковой спирали. Связывание водного экстракта сосны происходит преимущественно с карбоксильными группами (COO^-), ϵ -аминогруппами и амидным азотом белка, свободными остаются концевые α -аминогруппы. Таниды водно-спиртового экстракта связываются с группами амидного азота, α -аминогруппами и карбоксильными группами. Связывание танидов водно-щелочного экстракта происходит преимущественно с карбоксильными (COO^-) и α -аминогруппами белка, а также с амидным азотом, при этом в значительной степени высвобождаются ϵ -аминогруппы.

Как видно из табл. 1, наибольшую химическую активность к продуктам растворенного коллагена проявляет водный экстракт сосны, на это указывает общее снижение количества функциональных групп у дубленых ПРК по отношению к нативным ПРК на 1 г белка: со $\sim 185,833$ ммоль/г до $\sim 108,808$ ммоль/г. Меньшая активность наблюдается у водно-спиртового экстракта сосны, который снизил общее количество функциональных групп у дубленого ПРК до $\sim 133,727$ ммоль/г. Водно-щелочной экстракт сохранил в дубленном ПРК до $\sim 157,912$ ммоль/г функциональных групп.

Однако, если оценивать эффективность взаимодействия экстрактов сосны по общему количеству образовавшихся связей с концевыми карбоксильными и α -аминогруппами белка, отвечающими, по мнению А.Н. Михайлова [5], за превращение шкуры животного в кожу, то, как видно из таблицы, наибольшую активность проявляет экстракт, полученный спиртовой экстракцией, немного уступает ему водно-щелочной экстракт сосны, в то время как традиционный водный экстракт является аутсайдером данной тройки. Взаимодействие же с другими функциональными группами большого влияния на процесс дубления коллагена не оказывает, так как в структуре дермы они прочно фиксированы внутри трехспиральной спирали межмолекулярными связями, и для экстрактивных веществ, проникающих через плотную структуру дермы, остаются недоступными.

Природу взаимодействия дубителей с белковым гидролизатом изучали методом ИК-спектроскопии [8].

ИК-спектроскопический анализ образцов был проведен в лаборатории молекулярной спектроскопии ЦКП «Прогресс» ФГБОУ ВПО ВСГУТУ на приборе ИК-Фурье спектрометр Nicolet-380, приставка Smart Multi-Bounce Natr.

Известно, что сдвиг полосы пропускания происходит в результате сопряжения электронно-донорного эффекта соседнего заместителя, ван-дер-ваальсовских сил, водородных связей. Мерой концентрации вещества служит интенсивность линий ИК-спектров. Образование водородных связей сопровождается понижением частоты и повышением интенсивности колебания -NH- группы. Ослабление связи может быть вызвано поляризацией другими полярными группами. Это приводит к уменьшению

частоты и увеличению интенсивности поглощения, т.е. уменьшению пропускания [4, 6].

Каждой химической группе соответствуют определенные частоты колебания, а следова-

тельно, и полосы пропускания в ИК-спектре. Различают интенсивность в максимуме поглощения и интегральную интенсивность (площадь под кривой поглощения) (рис. 1).

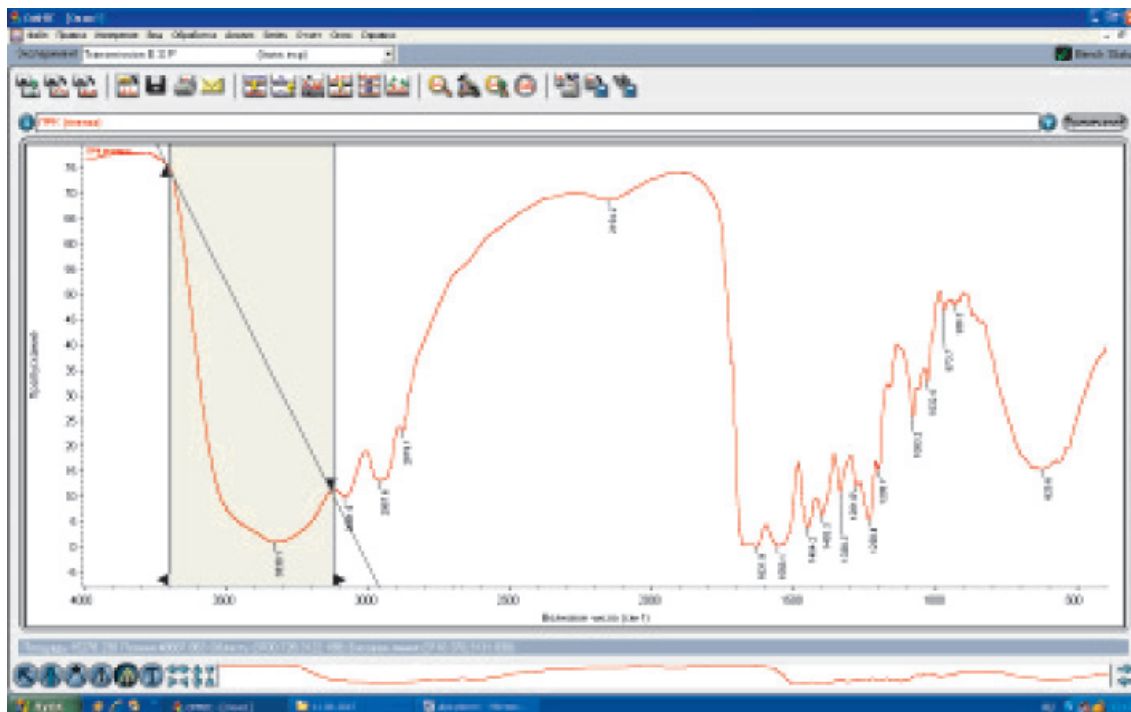


Рис. 1. Определение интегральной интенсивности

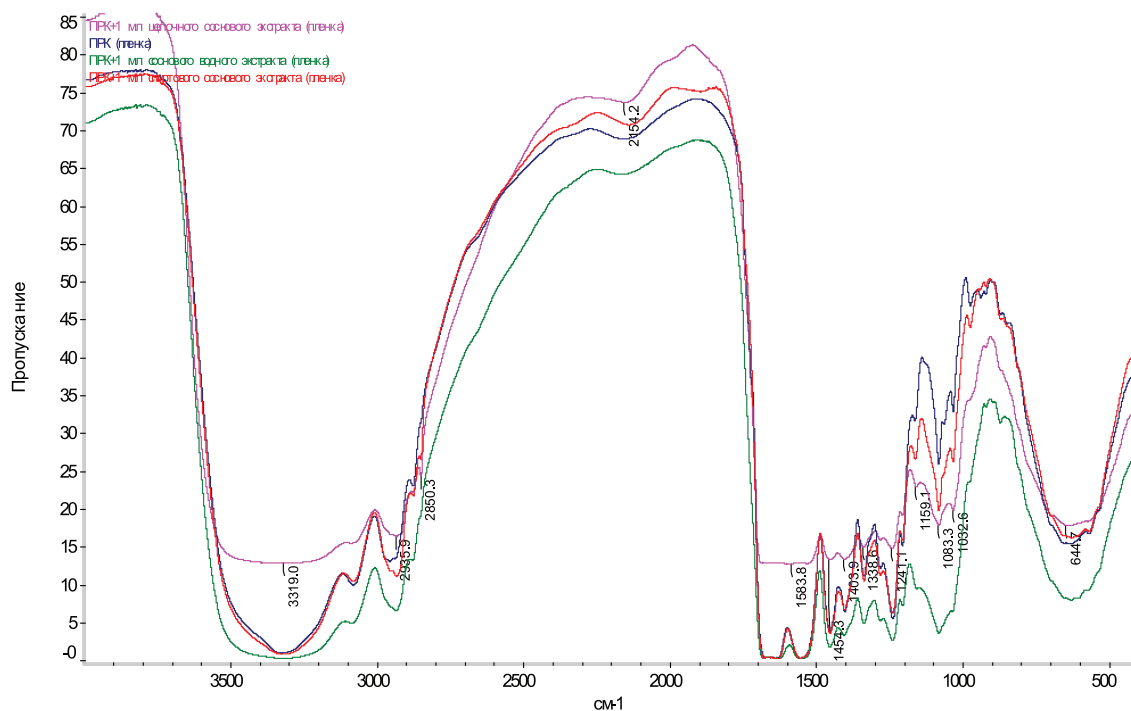


Рис. 2. ИК спектры белкового гидролизата и белкового гидролизата, обработанного экстрактами сосны

Интегральная интенсивность характеризует молекулярные процессы. Наиболее интенсивными в спектре являются пики, отвечающие валентным колебаниям функциональных групп.

ИК спектры нативных ПРК и ПРК, обработанных сосновыми экстрактами, извлеченными из растительного сырья растворителями различной химической природы, характеризуются интенсивными полосами в области валентных колебаний функциональных групп $-\text{NH}_3^+$, $-\text{OH}$, межмолекулярные водородные, $-\text{C}-\text{H}$, $-\text{CH}_2$, наблюдается увеличение интегральной интенсивности при обработке ПРК дубителями, а группы $-\text{C}-\text{H}$, $-\text{CH}_3$ при взаимодействии ПРК с экстрактами практически исчезают (рис. 2).

В области деформационных колебаний функциональных групп ($-\text{CO}$, полоса амид-1, $-\text{NH}_2$, полоса амид-2, $-\text{NH}_3^+$ аминокислотная полоса-1, $-\text{OH}-\text{C} \leq \frac{\text{O}^-}{\text{O}}$) происходит

уменьшение интегральной интенсивности. Полученные данные свидетельствуют о том, что происходит увеличение молекулы ПРК за счет связывания дубителем $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$, $-\text{C} = \text{O}$ групп белка.

Увеличение интенсивности полос колебания в области $1350-900 \text{ см}^{-1}$ происходит, по-видимому, вследствие разрыва связей между спиралью белка под действием экстракта дубителя.

Таблица 2

Интегральная интенсивность поглощения функциональных групп ПРК и ПРК, обработанных сосновыми экстрактами

| Область поглощения | Колебания функциональных групп | ПРК | ПРК, обработанный водным экстрактом сосны | ПРК, обработанный спиртовым экстрактом сосны | ПРК, обработанный водно-щелочным экстрактом сосны |
|--------------------------|---|----------|---|--|---|
| | | | | | |
| Валентные колебания | | | | | |
| 3669–3000 | – Колебания NH_3^+ – – Колебания <i>ОН межмолекулярные водородные связи</i> | 15278,23 | 15134,396 | 15902,854 | 15071,013 |
| 3019–2883 | Колебания $\text{C}-\text{H}$ CH_3 | 607,58 | 430,729 | 692,102 | 342,998 |
| Деформационные колебания | | | | | |
| 1751–1582 | – Полоса поглощения CO , Полоса амид-1-третичны емиды – Полоса поглощения амид I (CO) – другие кислоты – Колебания NH_3^+ – аминокислотная полоса I | 2486,28 | 2460,962 | 2422,457 | – |
| 1587–1477 | Колебания NH_2 , Полоса амид 2 – | 685,509 | 473,615 | 781,786 | 6173,166 |
| 1484–1351 | – Колебания NH_3^+ – (Неплоские) колебания $\text{OH}-\text{C} \leq \frac{\text{O}^-}{\text{O}}$ | 246,043 | 94,556 | 204,641 | 60,574 |
| 1351–1290 | Колебания OH и $\text{C}-\text{H}$ Третичные спирты, фенолы | 184,94 | 67,986 | 143,665 | 38,646 |
| 1290–1207 | Колебания $\text{C} = \text{O}$, – колебания $\text{C}-\text{O}$ или колебания OH | 278,761 | 116,692 | 264,041 | 100,678 |
| 1124–930 | – Внеплоскостные колебания CH_2 , – Колебания $\text{C} = \text{O}$, – (вне плоскостные) колебания OH | 120,812 | 1018,434 | 281,123 | 152,327 |
| 910–555 | – Колебания. – $\text{O}-\text{N} = \text{O}$ – Колебания $\text{C}-\text{H}$ 1-3-т | 6725,442 | 5413,035 | 6596,510 | 5656,018 |

Уменьшение количества групп и интегральной интенсивности $-\text{NH}_2$, $-\text{C}=\text{O}$ групп и усиление интегральной интенсивности $-\text{OH}$ группы (табл. 1) свидетельствуют о том, что при добавлении экстрактов дубителей к белковому гидролизату происходит взаимодействие $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$ и $-\text{C}=\text{O}$ групп гидролизата с экстрактами. Это взаимодействие, как показало потенциометрическое титрование, сопровождается уменьшением количества свободных функциональных групп в молекуле белка.

Таким образом, проведенные исследования, связанные с определением характера взаимодействия в процессе дубления экстрактов коры сосны, полученных растворителями различной природы, с белковыми веществами, содержащимися в кожаной ткани, свидетельствуют о значительном влиянии способа экстракции на химическую активность таннидов. Спиртовые и щелочные экстракты сосны согласно полученным результатам потенциометрического титрования и ИК-спектроскопии проявляют большую химическую активность с конце-

выми карбоксильными и α -аминогруппами белка, что позволяет их рассматривать как перспективные дубители.

Данная работа выполнена в рамках государственного задания № 01201462824.

Список литературы

1. Аналитические методы белковой химии. – М.: Изд-во «Иностранная литература», 1963. – 643 с.
2. Гончарова Н.В., Сячинова Н.В., Думнова Е.А. Изучение влияния природы экстрагента на качественные характеристики сосновых экстрактов // Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология образование: материалы V Международной научно-практической конференции 14–18 сентября. – Улан-Удэ, 2009. – С. 68–73.
3. ГОСТ 28508–90. Экстракты дубильные растительные. Методы определения.
4. Казицина Л.А., Куплетская Н.Б., Применение УФ, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии. – М.: Высшая школа, 1971. – 386 с.
5. Михайлов А.Н. Коллаген кожного покрова и основы его переработки. – М.: Легкая индустрия, 1971. – 528 с.
6. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. – М.: Мир, 1965. – 420 с.
7. Пермякова Г.В., Лоскутов С.Р., Семенович А.В. Экстракция коры хвойных пород водно-органическими экстрагентами // Химия растительного сырья. – 2008. – № 2. – С. 43–46.
8. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия. – М.: Мир, 1982. – 340 с.

УДК 661.143:544.183:541.49:546.64

РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ И ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАКРИЛАТА ИТТРИЯ (III): ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ

^{1,2}Харченко В.И., ¹Курбатов И.А., ^{1,2}Чередниченко А.И., ¹Алексеико Л.Н.

¹ФГАОУ ВПО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток,
e-mail: kharchenko.vi@mail.ru;

²ФГБУН «Институт химии ДВО РАН», Владивосток, e-mail: vikharchenko@ich.dvo.ru

С целью физико-химического исследования реакционной способности и электронного строения комплексного соединения метакрилата иттрия (III) $Y_2(\text{Macr})_6 \cdot (H_2O)_4$ (Macr = метакрилат анион, $CH_2CH(CH_3)COO^-$) методом функционала плотности DFT и TDDFT изучены наноразмерная структура его полимера и электронные характеристики комплекса в основном и возбужденных состояниях. Показано, что комплекс метакрилата иттрия (III) характеризуется меньшими значениями индексов электрофильности и стабильности, большими значениями индексов поляризуемости и реакционной способности, чем комплекс акрилата иттрия (III). Метакрилат анионы, создавая полимерную структуру комплекса, могут проявлять антенный эффект только для некоторых ионов лантаноидов, соответствуя излучательным уровням этих ионов. Благодаря полимерной сетке, метакрилат иттрия (III) может служить основой для получения новых материалов с перспективными функциональными свойствами.

Ключевые слова: метакрилат иттрия (III), полимер, теория функционала плотности, реакционная способность, электронное строение

REACTIVITY AND ELECTRONIC STRUCTURE OF YTTRIUM (III) METHACRYLATE: A DFT STUDY

^{1,2}Kharchenko V.I., ¹Kurbatov I.A., ^{1,2}Cherednichenko A.I., ¹Alekseyko L.N.

¹Far-Eastern Federal University, Vladivostok, e-mail: kharchenko.vi@mail.ru;

²Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok, e-mail: vikharchenko@ich.dvo.ru

On purpose of physical – chemical research of reactivity and electronic structure of the complex compound yttrium(III) methacrylate $Y_2(\text{Macr})_6 \cdot (H_2O)_4$ (Macr = methacrylate anion, $CH_2CH(CH_3)COO^-$), nanoscale structure of its polymer and electronic characteristics in the ground and excited states have been studied within the density functional theory by DFT/TDDFT method. It is shown that this complex of yttrium (III) methacrylate is characterized by lower values of indices of electrophilicity and stability as well as by higher values of indices of polarizability and reactivity than the complex of yttrium (III) acrylate. Methacrylate anions, creating the polymer structure of the complex, can show the antenna effect only for some lanthanide ions, when anion levels correspond to the emitting levels of these ions. Due to the polymer network, yttrium (III) methacrylate can be used as a template for developing new materials with promising functional properties.

Keywords: yttrium (III) methacrylate, polymer, density functional theory, reactivity, electronic structure

Комплексные соединения редкоземельных элементов (РЗЭ) вызывают большой научный интерес в плане их применения в современных технологиях и оптоэлектронике. Полимеризация комплексов позволяет получить новые полимеры и композиции на их основе, что приводит к улучшению многих свойств, присущих мономерам, и к получению новых перспективных характеристик. Способность соединений лантаноидов (III) образовывать разнообразные полимеры позволяет разрабатывать новые системы с заданными свойствами, отличающимися от свойств низкомолекулярных аналогов [2, 3].

Изучение структурных и электронных характеристик физико-химическими методами позволяет описать механизмы электронного возбуждения и фотохимических процессов в данных наноразмерных системах, что связано с необходимостью получения

новых наноструктурированных оптических материалов для современных устройств контроля [6, 7]. Геометрическая и электронная структура и спектральные характеристики полимеров на основе комплексов РЗЭ изучены недостаточно, поэтому исследования строения кластеров комплексных соединений являются актуальными.

Целью настоящей работы является теоретическое физико-химическое исследование методом функционала плотности (DFT) реакционной способности и электронного строения наноструктурированного метакрилата иттрия (III) $Y(\text{Macr})_3$ (Macr – метакрилат-анион, $CH_2CH(CH_3)COO^-$).

Материалы и методы исследования

Квантово-химические расчеты фрагментов $Y_2(\text{Macr})_6 \cdot (H_2O)_4$ выполнены в вакуумном приближении методом DFT/TDDFT с функционалом PBE0 [1] с помощью программ GAMESS-US (версия

05.12.2014) [13] и FireFly 8.1.1 (b9295) [4]. Для атома иттрия использован Штутгартский псевдопотенциал и базис ECP28MWB(Y) [11], для других атомов взят базис 6-31G(d,p). При оптимизации геометрии в качестве начального приближения взята экспериментальная геометрия аналогичного комплекса лантана (III) [10], минимум энергии проверялся по гессиану. Дисперсионные поправки учтены по методу Гримме DFT-D3 [5]. Результаты расчетов визуализированы с помощью программы Chemcraft 1.8 (b486) [14].

Граничные молекулярные орбитали (МО), верхняя занятая МО (ВЗМО) и нижняя вакантная МО (НВМО), позволяют оценить реакционную способность и кинетическую устойчивость молекулы. ВЗМО связана со способностью системы отдать электрон, а НВМО – со способностью принять электрон. Индексы реакционной способности определяются соотношениями: $I = -\epsilon_{\text{ВЗМО}}$, $A = -\epsilon_{\text{НВМО}}$, $\chi = (\epsilon_{\text{ВЗМО}} + \epsilon_{\text{НВМО}})/2$, $\mu = -\chi$, $\eta = (\epsilon_{\text{НВМО}} - \epsilon_{\text{ВЗМО}})/2$, $s = 1/(2\eta)$, $\omega = \mu^2/(2\eta)$, где $\epsilon_{\text{ВЗМО}}$ и $\epsilon_{\text{НВМО}}$ – энергии ВЗМО и НВМО, I – потенциал ионизации, A – сродство к электрону, χ – электроотрицательность, μ – химический потенциал, η – жесткость, s – мягкость, ω – общий индекс электрофильности [9, 12]. Большая энергетическая щель ВЗМО–НВМО характеризует высокую химическую стабильность соединения. Химическая жесткость η молекулы определяется её сопротивлением деформации из-за электрического поля и эффекта химических реакций. Рост η связан с увеличением стабильности и снижением реакционной способности. Жесткое соединение имеет большую щель ВЗМО–НВМО, поэтому молекула с наименьшей щелью ВЗМО–НВМО имеет наибольшую реакционную способность. Большое значение химической мягкости s свидетельствует о высокой поляризуемости молекулы. Общий индекс электрофильности ω соединения определяется энергией стабилизации при приеме дополнительной электронной плотности и характеризует электронный пе-

ренос и стабильность, поэтому он хорошо описывает общую реакционную способность соединения [12].

Результаты исследования и их обсуждение

Для квантово-химического моделирования наноструктурированного метакрилата иттрия (III) из экспериментальной структуры аналогичного комплекса лантана (III) (рис. 1) [10] было взято звено полимера – фрагмент, содержащий два иона РЗЭ, шесть метакрилат-анионов и четыре молекулы воды (рис. 2, а).

Метакрилат-анионы фрагмента $Y_2(\text{Macr})_6 \cdot (\text{H}_2\text{O})_4$ можно условно разделить на два типа: бидентантные, связанные с одним ионом РЗЭ (например, метакрилат-анион с атомами углерода C_9-C_{10}), и мостиковые, связанные с двумя ионами РЗЭ ($C_{17}-C_{18}$).

Звенья полимера связаны мостиковыми метакрилат-анионами и водородными связями между метакрилат-анионами и молекулами воды, полимерные цепочки в слое расположены параллельно и связаны водородными связями и межмолекулярным взаимодействием. Соседние слои также связаны водородными связями и межмолекулярным взаимодействием. Полимерные цепочки соседних слоев взаимно перпендикулярны. Оптимизированная геометрическая структура звена $Y_2(\text{Macr})_6 \cdot (\text{H}_2\text{O})_4$ показана на рис. 2, а.

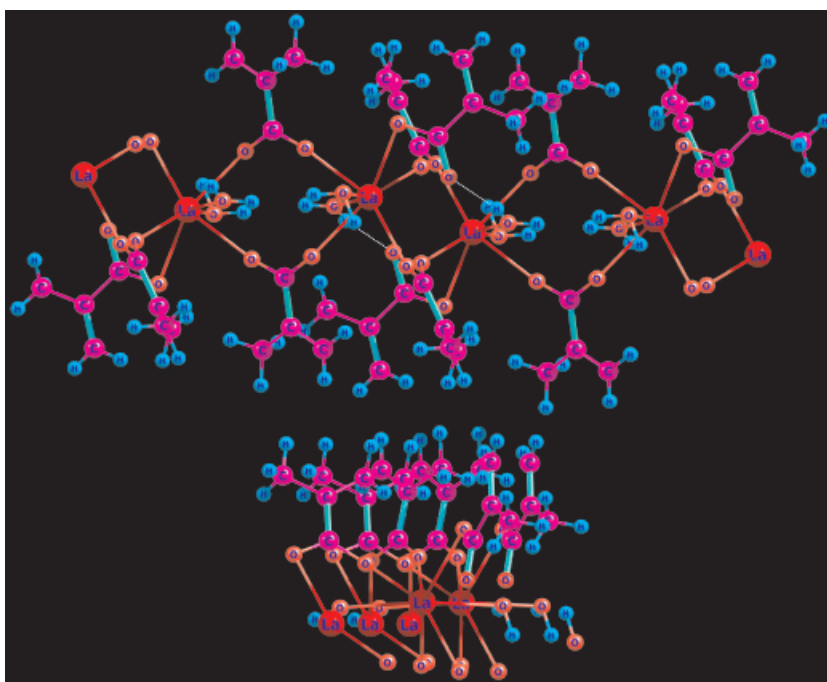
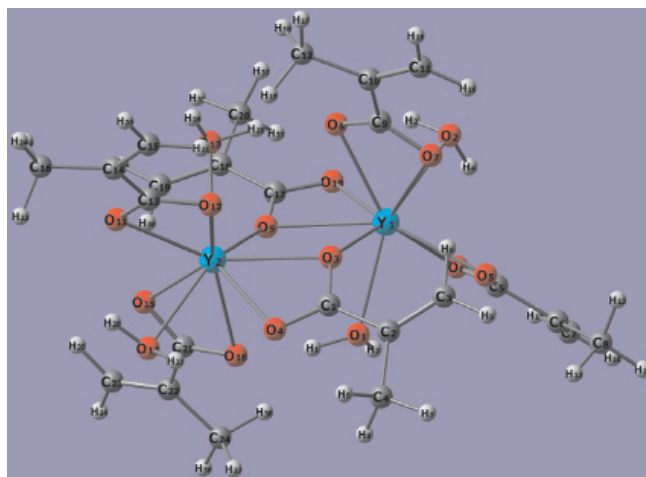
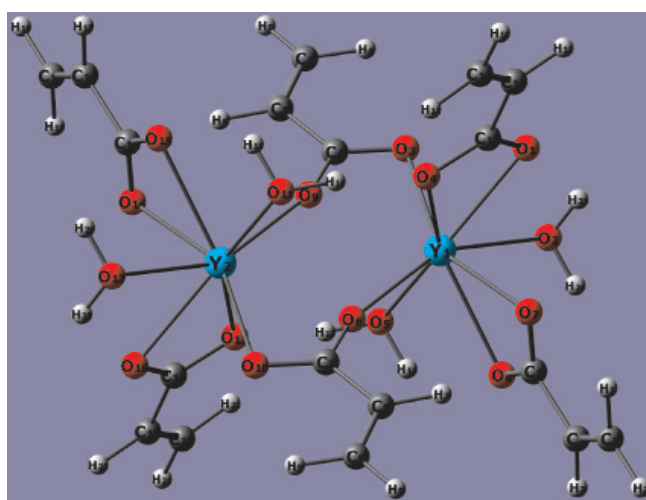


Рис. 1. Экспериментальная геометрическая структура $La_n(\text{Macr})_m \cdot (\text{H}_2\text{O})_k$ [10]



а

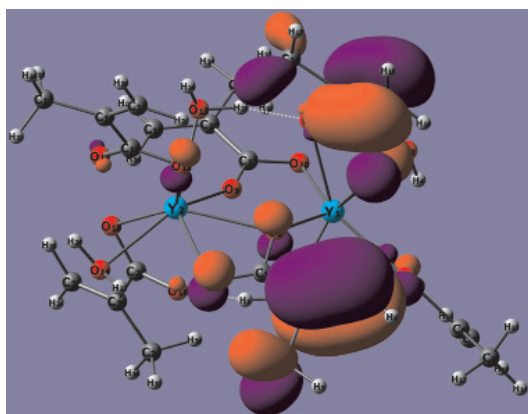


б

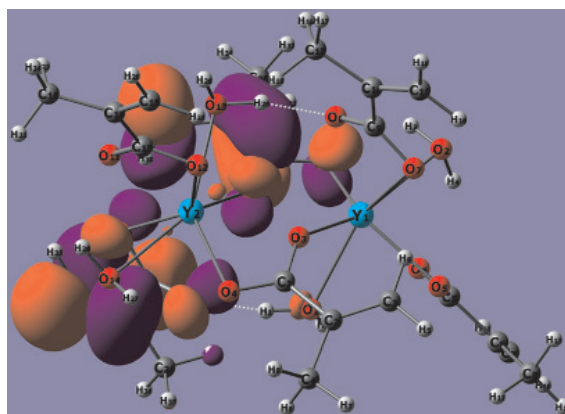
Рис. 2. Оптимизированный фрагмент $Y_2(Macr)_6 \cdot (H_2O)_4$ (а), $Y_2(Acr)_6 \cdot (H_2O)_4$ [8] (б)

Некоторые параметры его геометрии и электронного строения приведены в табл. 1. Для сравнения приведены данные для фрагмента $Y_2(Acr)_6 \cdot (H_2O)_4$ (Acr – акрилат-анион) (рис. 2, б, табл. 1) [8]. Согласно

расчетам комплексов $Y_2(Macr)_6 \cdot (H_2O)_4$ и $Y_2(Acr)_6 \cdot (H_2O)_4$ (рис. 3, табл. 2), при переходе от акрилата к метакрилату иттрия (III) граничные МО дестабилизируются (ВЗМО – на 0,449 эВ, НВМО – на 0,164 эВ).



ВЗМО



НВМО

Рис. 3. Граничные МО фрагмента $Y_2(Macr)_6 \cdot (H_2O)_4$

Таблица 1

Рассчитанные длины связей (Å), заряды на атомах (по Малликену), дипольный момент μ (Д) фрагментов $Y_2(\text{Маср})_6 \cdot (\text{H}_2\text{O})_4$ и $Y_2(\text{Аср})_6 \cdot (\text{H}_2\text{O})_4$

| $Y_2(\text{Мас})_6 \cdot (\text{H}_2\text{O})_4$ | | | | | $Y_2(\text{Аср})_6 \cdot (\text{H}_2\text{O})_4^a$ | | | |
|--|--------|--------------------|------------------|-------|--|--------|------------------|-------|
| Длины связей | | | Заряды на атомах | | Длины связей | | Заряды на атомах | |
| Связь | Расчет | Эксп. ^б | Атом | Заряд | Связь | Расчет | Атом | Заряд |
| Y_1-Y_2 | 3,973 | – | Y_1 | 0,88 | Y_1-Y_2 | 3,940 | Y_1 | 0,89 |
| Y_1-O_7 | 2,362 | – | Y_2 | 0,85 | Y_1-O_7 | 2,367 | Y_2 | 0,88 |
| Y_1-O_8 | 2,422 | – | O_7 | -0,53 | Y_1-O_8 | 2,477 | O_7 | -0,54 |
| O_7-C_9 | 1,257 | 1,254 | O_8 | -0,63 | O_7-C_1 | 1,265 | O_8 | -0,59 |
| O_8-C_9 | 1,284 | 1,260 | C_9 | 0,71 | O_8-C_1 | 1,272 | C_1 | 0,65 |
| C_9-C_{10} | 1,492 | 1,507 | C_{10} | 0,04 | C_1-C_2 | 1,485 | C_2 | -0,16 |
| $C_{10}-C_{11}$ | 1,336 | 1,330 | C_{11} | -0,30 | C_2-C_3 | 1,333 | C_3 | -0,27 |
| $C_{10}-C_{12}$ | 1,498 | 1,444 | C_{12} | -0,47 | Y_1-O_3 | 2,375 | O_3 | -0,53 |
| Y_1-O_{10} | 2,365 | – | O_9 | -0,60 | Y_1-O_9 | 2,512 | O_9 | -0,61 |
| Y_1-O_9 | 2,514 | – | O_{10} | -0,56 | Y_2-O_9 | 2,292 | C_4 | 0,71 |
| Y_2-O_9 | 2,421 | – | C_{17} | 0,69 | O_3-C_4 | 1,251 | C_5 | -0,16 |
| $O_{10}-C_{17}$ | 1,265 | 1,245 | C_{18} | 0,02 | O_9-C_4 | 1,287 | C_6 | -0,27 |
| O_9-C_{17} | 1,277 | 1,283 | C_{19} | -0,30 | C_4-C_5 | 1,477 | μ | 0,00 |
| $C_{17}-C_{18}$ | 1,487 | 1,500 | C_{20} | -0,43 | C_5-C_6 | 1,333 | – | – |
| $C_{18}-C_{19}$ | 1,337 | 1,333 | μ | 1,69 | – | – | – | – |

Примечание. ^a данные работы [8]; ^б данные для фрагмента $La_2(\text{Маср})_6 \cdot (\text{H}_2\text{O})_4$ [10].

Это свидетельствует о росте тенденции к отдаче электрона, а не к его присоединению. Щель ВЗМО–НВМО сужается на 0,285 эВ, приводя к снижению жесткости на 0,142 эВ, электрофильности на 0,282 эВ и к росту химического потенциала на 0,306 эВ, вызывая снижение стабильности и увеличение реакционной способности. Более высокая реакционная способность

системы $Y_2(\text{Маср})_6 \cdot (\text{H}_2\text{O})_4$ относительно $Y_2(\text{Аср})_6 \cdot (\text{H}_2\text{O})_4$ также подтверждается искаженной геометрической структурой звена полимерной цепочки и ростом полярности системы (дипольный момент изменяется от 0 до 1,69 Д). Рост мягкости s на 0,007 эВ⁻¹ также характеризует повышение поляризуемости системы при переходе акрилат → метакрилат.

Таблица 2

Рассчитанные энергии граничных МО ϵ , щель ВЗМО–НВМО $\Delta\epsilon$ и параметры реакционной способности метакриловой кислоты и фрагментов $Y_2(\text{Маср})_6 \cdot (\text{H}_2\text{O})_4$ и $Y_2(\text{Аср})_6 \cdot (\text{H}_2\text{O})_4$

| Параметры | НМаср ^a | $Y_2(\text{Маср})_6 \cdot (\text{H}_2\text{O})_4$ | $Y_2(\text{Аср})_6 \cdot (\text{H}_2\text{O})_4^b$ |
|---|--------------------|---|--|
| $\epsilon_{\text{ВЗМО}}$, эВ | -7,589 | -7,298 | -7,747 |
| $\epsilon_{\text{НВМО}}$, эВ | -0,933 | -1,001 | -1,165 |
| $\Delta\epsilon = \epsilon_{\text{НВМО}} - \epsilon_{\text{ВЗМО}}$, эВ | 6,656 | 6,297 | 6,582 |
| $I = -\epsilon_{\text{ВЗМО}}$, эВ | 7,589 | 7,298 | 7,747 |
| $A = -\epsilon_{\text{НВМО}}$, эВ | 0,933 | 1,001 | 1,165 |
| $\mu = -(I + A)/2$, эВ | -4,261 | -4,150 | -4,456 |
| $\eta = (I - A)/2$, эВ | 3,328 | 3,149 | 3,291 |
| $s = 1/(2\eta)$, эВ ⁻¹ | 0,150 | 0,159 | 0,152 |
| $\omega = \mu^2/(2\eta)$, эВ | 2,728 | 2,735 | 3,017 |

Примечание. ^a НМаср – метакриловая кислота, $\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{COOH}$; ^б [8].

Расчеты методом DFT колебательных спектров комплекса $Y_2(Масr)_6 \cdot (H_2O)_4$ показали, что колебания, связанные с ионом РЗЭ, лежат в области 50–250 $см^{-1}$. Наличие кристаллической воды в полимерной структуре комплекса приводит к появлению в колебательных спектрах значительного числа полос, связанных с молекулами воды и водородными связями, что создает сложности при интерпретации спектров комплекса метакрилата иттрия (III).

Согласно расчетам методом TDDFT, в УФ спектрах $Y_2(Масr)_6 \cdot (H_2O)_4$ электронное поглощение, наблюдаемое в УФ области, близкой к вакуумной (215–232 нм), определяется синглет-синглетными переходами метакрилат-анионов, при этом энергии триплетных уровней анионов не соответствуют излучательным уровням ионов РЗЭ. Таким образом, метакрилат-анионы, обеспечивая полимерную структуру системы [2, 3], проявлять антенный эффект лишь для некоторых лантаноидов, соответствуя излучательным уровням ионов Ln^{3+} . Благодаря полимерной сетке, комплекс метакрилата иттрия (III) может служить основой для получения новых материалов с перспективными функциональными свойствами.

Выводы

Метакрилат иттрия (III) имеет меньшую электрофильность и стабильность, большую поляризуемость и реакционную способность, чем акрилат иттрия (III). Метакрилат-анионы, обеспечивая полимерную структуру системы, проявляют антенный эффект лишь для некоторых ионов лантаноидов, соответствуя излучательным уровням ионов Ln^{3+} . Благодаря полимерной сетке, метакрилат иттрия (III) может служить основой для получения материалов с перспективными функциональными свойствами.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования

и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта № 2014/36 с Дальневосточным федеральным университетом (проект № 1137).

Список литературы

1. Adamo C., Barone V. Toward reliable density functional methods without adjustable parameters: The PBE0 model // *J. Chem. Phys.* – 1999. – Vol. 110, № 13. – P. 6158–6171.
2. Bukvetskii B.V., Petrochenkova N.V., Mirochnik A.G. Crystal structure and luminescence of europium(III) acrylate // *J. Struct. Chem.* – 2009. – Vol. 50, № 3. – P. 485–489.
3. Bukvetskii B.V., Petrochenkova N.V., Mirochnik A.G. Crystal structure and luminescence of terbium(III) methacrylate // *J. Struct. Chem.* – 2010. – Vol. 51, № 1. – P. 194–197.
4. Granovsky A.A. Firefly 8.1.1 (b9295). Available at: <http://classic.chem.msu.su/gran/firefly>.
5. A consistent and accurate ab initio parametrization of density functional dispersion correction (DFT-D) for the 94 elements H-Pu / S. Grimme, J. Antony, S. Ehrlich, H. Krieg // *J. Chem. Phys.* – 2010. – Vol. 132, № 15. – P. 154104, 19 p.
6. Quantum Chemical Study of the Electronic Structure and Excited States of Yttrium Chelate Complexes / V.I. Kharchenko, L.N. Alekseyko, A.G. Mirochnik, P.A. Zhikhareva, A.I. Cherednichenko // *Fund. Res.* – 2013. – № 6, Part 4. – P. 901–905.
7. Spectral and Structural Characteristics of Some Yttrium, Lanthanum and Terbium Chelates / V.I. Kharchenko, L.N. Alekseyko, A.I. Cherednichenko, A.G. Mirochnik, I.A. Kurbatov, P.A. Zhikhareva // *Pacif. Sci. Rev.* – 2013. – Vol. 15, № 3. – P. 146–153.
8. Kharchenko V.I., Kurbatov I.A., Cherednichenko A.I. Effect of dispersion interaction on the electronic structure of yttrium and lanthanum acrylates: A quantum-chemical study // *Fund. Res.* – 2015. – № 10, Part 1. – P. 102–106.
9. Koopmans T.A. Über die Zuordnung von Wellenfunktionen und Eigenwerten zu den Einzelnen Elektronen Eines Atoms // *Physica.* – 1934. – Vol. 1, № 1–6. – P. 104–113.
10. *Catena-Diaquatris(α-methylacrylato)lanthanum(III)* / W.M. Lu, J.B. Wu, N. Dong, W.G. Chun, J.M. Gu, K.L. Liang // *Acta Crystallogr. C.* – 1995. – Vol. 51, № 8. – P. 1568–1570.
11. Martin J. M. L., Sundermann A. Correlation consistent valence basis sets for use with the Stuttgart-Dresden-Bonn relativistic effective core potentials: The atoms Ga-Kr and In-Xe // *J. Chem. Phys.* – 2001. – Vol. 114, № 8. – P. 3408–3420.
12. Parr R.J., v. Szentpaly L., Liu S. Electrophilicity index // *J. Am. Chem. Soc.* – 1999. – Vol. 121, № 9. – P. 1922–1924.
13. General Atomic and Molecular Electronic-Structure System / M.W. Schmidt, K.K. Baldridge, J.A. Boatz, S.T. Elbert, M.S. Gordon, J.H. Jensen, S. Koseki, N. Matsunaga, K.A. Nguyen, S.J. Su, T.L. Windus, M. Dupius, J.A. Montgomery // *J. Comp. Chem.* – 1993. – Vol. 14. – P. 1347–1363.
14. Zhurko G.A., Zhurko D.A. Chemcraft 1.8 (b486). Available at: <http://www.chemcraftprog.com> (Accessed on March 15, 2016).

УДК 544.723.21

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ МЕДИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ СОРБЦИОННО-ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Шачнева Е.Ю.

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет»,
Астрахань, e-mail: evgshachneva@yandex.ru

Проведено сорбционно-фотометрическое определение ионов меди в водных растворах. Рассмотрен процесс адсорбции ионов меди на новых сорбентах, полученных на основе природных минеральных компонентов (СВ-1-АЛ, СВ-1-АЛ2). Изучены основные физико-химические и адсорбционно-структурные характеристики полученных сорбентов: суммарный объем пор по воде, пористость сорбента по ацетону, содержание влаги, pH водной суспензии, насыпная плотность, истираемость, а также удельная поверхность путем исследования адсорбции изопропанола из водных растворов различной концентрации. Представлены изотермы статической сорбции ионов металла из водных растворов, рассчитаны изменения энтальпии (ΔH), изобарно-изотермического потенциала (ΔG) и энтропии (ΔS) сорбции. Полученные результаты работы могут быть использованы для очистки воды от ионов меди.

Ключевые слова: сорбент, сорбция, тяжелые металлы, медь, природные минеральные сорбенты

DEFINITION OF IONS OF COPPER IN INDUSTRIAL FACILITIES BY THE SORPTION-PHOTOMETRIC METHOD

Shachneva E.Yu.

Astrakhan State University, Astrakhan, e-mail: evgshachneva@yandex.ru

A sorption-photometric determination of copper ions in aqueous solutions. Considered pro-process of adsorption of copper ions in the new sorbents derived from natural minerals (SV-1-AL, SV-1-AL2). Studied the basic physical, chemical and adsorption-structural characteristics of the litter Bento: the total pore volume of the water, the porosity of the sorbent to acetone, water content, pH of the aqueous slurry, bulk density, abrasion, as well as the specific surface area by studying ad-sorption of isopropanol in water solutions of different concentrations. Presented static isotherm sorption of metal ions from aqueous solutions, calculate the change in enthalpy (ΔH) isobaric-isothermal potential (ΔG) and entropy (ΔS) sorption. The obtained results can be used to purify water by copper ions.

Keywords: sorbent, sorption, heavy metals, copper, natural mineral sorbents

Одной из важных областей химических исследований в современных условиях является разработка научно-практических основ новых эффективных технологий сорбционного обезвреживания промышленных и бытовых стоков. Производственные сточные воды состоят из множества компонентов различной природы. К ним можно отнести: тяжелые металлы, углеводороды, отходы переработки нефти (нефтяные шламы), смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) и т.д. Все компоненты сточных вод оказывают негативное воздействие на окружающую среду, поэтому все токсиканты по степени воздействия на природные объекты и по классам опасности, в том числе и на человека, по степени токсичности, кумулятивности, способности вызывать отдаленные эффекты делят на ряд классов [1]. Многообразие химических производств, а также число химических веществ, используемых и образующихся в технологических процессах, определяют образование отличающихся по объему и составу сточных вод, загрязненных как органическими, так

и неорганическими веществами. В процессе работы промышленных предприятий выделяют различные типы стоков – это и промышленные воды, и отработанные растворы. В этих стоках содержится целый ряд чрезвычайно токсичных примесей, но наиболее опасны для окружающей среды ионы тяжелых металлов – кадмия, свинца, меди, цинка, хрома, никеля. Для очистки сточных вод, содержащих тяжелые металлы, основными физико-химическими методами считаются мембранные, реагентные, электрохимические, биохимические и, конечно же, сорбционные методы. Поэтому основная задача современной науки состоит в создании новых материалов, обладающих достаточно высокой сорбционной активностью, доступностью, низкой себестоимостью, а также универсальным характером поглощения. В качестве сорбентов широко применяются активированные угли, синтетические сорбенты, отходы производств (зола, шлак, опилки и др.), неорганические сорбенты, в том числе минеральные (силикагели, алюмогели, глины, цеолиты).

Использование природных минералов в очистке сточных вод приемлемо как с экологической, так и с экономической точки зрения. Для повышения их активности достаточно часто проводят их модифицирование, что способствует усилению их сорбционной активности. В результате чего получают сорбенты, отличающиеся от исходных материалов, но сочетающие в себе полезные свойства исходного материала и синтетических сорбентов. Именно эти актуальные задачи решаются в данной работе.

Экспериментальная часть

Реагенты и аппаратура. Сульфат меди $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($c = 1 \cdot 10^{-3}$ М); органический реагент ПАР (4-(2-пиридилазо) резорцин ($c = 1 \cdot 10^{-3}$ М)); дистиллированная вода; сорбенты (СВ-1-АЛ, СВ-1-АЛ2); фотоэлектроколориметр ПЭ5400В; центрифуга;

сорбента. В качестве осадителя был выбран раствор аммиака, так как объем микропор в этом случае выше, чем при осаждении гидроксидом натрия, вследствие разрыхляющего действия аммиака. Влажный порошок сорбента высушивают при температуре 100–105 °С, постоянно перемешивая [2, 6].

Изучение основных адсорбционно-структурных и физико-химических характеристик сорбентов. С использованием стандартных методик были изучены основные характеристики полученных сорбентов: *физико-химические* – пористость сорбента по ацетону, суммарный объем пор сорбента по воде ($V_{\text{сум}}$), содержание влаги в сорбенте и рН водной суспензии сорбента; *адсорбционно-структурные* – удельная поверхность сорбента, насыпная плотность. Результаты определений представлены в табл. 1 [2, 3].

Таблица 1

Основные физико-химические и адсорбционно-структурные характеристики сорбентов

| Сорбент | Диаметр частиц, мм | Пористость по ацетону, % | $V_{\text{сум}}$ пор по воде $\cdot 10^3$, $\text{м}^3/\text{кг}$ | Содержание влаги, % | рН водной суспензии | Насыпная плотность, $\text{г}/\text{см}^3$ | Удел. поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$ |
|----------|--------------------|--------------------------|--|---------------------|---------------------|--|--|
| СВ-1-АЛ | 2,5–4,0 | 40 | 0,93 | 2,0 | 7,0 | 0,79 | 819 |
| СВ-1-АЛ2 | 4,0 | 35 | 0,70 | 2,0 | 7,0 | 0,92 | 700 |

лабораторное оборудование (колбы, цилиндры, пробирки, пипетки, центрифужные пробирки и т.д.).

Способ получения сорбента СВ-1-АЛ.

К навеске опок Астраханской области (Т) с размерами частиц около 2,5 мм в поперечнике добавляли раствор (Ж) сульфата алюминия в соотношении 1:10, затем перемешивали 15 мин и доводили рН до определенного значения раствором аммиака. Природа осадителя гидроксида алюминия отражается на величине объема макропор сорбента. В качестве осадителя был выбран раствор аммиака, так как объем микропор в этом случае выше, чем при осаждении гидроксидом натрия, вследствие разрыхляющего действия аммиака. Влажный порошок сорбента высушивают при температуре 100–105 °С, постоянно перемешивая [2, 6].

Способ получения сорбента СВ-1-АЛ2.

К навеске опок Астраханской области (Т) с размерами частиц около 4,0 мм в поперечнике добавляли раствор (Ж) сульфата алюминия в соотношении 1:10, затем перемешивали 15 мин и доводили рН до определенного значения раствором аммиака. Природа осадителя гидроксида алюминия отражается на величине объема макропор

На основании представленных значений возможно представить возможный механизм взаимодействия ионов алюминия с поверхностью опок, содержащих в структуре кристаллической решетки атомы кремния и алюминия, соединенных атомами кислорода. При модифицировании атомы алюминия внедряются в кристаллическую решетку опок, кроме того, происходит изоморфное замещение атомов кремния в кристаллической решетке атомами алюминия. Необходимо отметить, что замещение Si^{4+} на Al^{3+} неравноценно с точки зрения электронной нейтральности, кристаллическая решетка при этом становится заряженной отрицательно, что увеличивает сорбционную активность модифицированного сорбента. Обработка опок солью алюминия приводит к тому, что происходит образование гидроксида алюминия по реакции взаимодействия между гидролизованной катионами $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ и гидроксидом аммония NH_4OH : $\text{Al}(\text{OH})^{2+} + \text{NH}_4\text{OH} = \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{NH}_4^+$. При термообработке компонента происходит дегидратация гидроксида алюминия с образованием на поверхности вещества активных кислотных центров, увеличивающих сорбционную активность сорбента. В связи

с чем можно предположить, что неорганические и органические вещества в растворе присутствуют в растворенном виде, а также в виде прямой эмульсии. Модифицирование солью алюминия обеспечивает размер пор, задерживающий капли эмульсии, а гидроксильные группы увеличат сорбционную способность по отношению к полярным органическим веществам. Поэтому одной из целей нашего исследования стало создание сорбентов, обладающих высокой поглощательной способностью. Полученные результаты определения основных параметров рассматриваемых сорбентов говорят о достаточно высоких характеристиках полученных материалов. Они обладают большой удельной поверхностью, высокими значениями пористости, что позволяет сделать предположение об использовании сорбентов при сорбции компонентов, относящихся к различным классам веществ. При этом значения насыпной плотности частиц свидетельствуют о том, что это прочные образования, сохраняющие свою форму и размеры при перемешивании и истирании.

Построение градуировочного графика. В серию из 10 пробирок объемом 20 см³ вносили 0; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 5,0 см³ раствора соли металла с концентрацией 1·10⁻³ М, к раствору прибавляли по 4 см³ раствора органического реагента ПАР (4-(2-пиридилазо)резорцина) концентрацией 1·10⁻³ М и доводили объемы растворов дистиллированной водой до 20 см³.

Полученные растворы перемешивали и измеряли оптические плотности растворов при 540 нм в кювете толщиной 0,5 см относительно воды. По результатам измерений строили градуировочный график (рис. 1) [3–6]. Уравнение прямой градуировочных графиков было выведено с помощью метода наименьших квадратов и имеет вид

$$y = 0,82546x + 0,1464.$$

Изучение адсорбции ионов меди на модифицированных сорбентах (СВ-1-А1 и СВ-1-А2). В серию из 10 пробирок объемом 10 см³ вносили 0; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 5,0 см³ раствора соли металла с концентрацией 1·10⁻³ М, прибавляли необходимое количество дистиллированной воды. В полученный раствор помещали по 1 г сорбента, встряхивали 3 мин, отстаивали, центрифугировали при 3000 об./мин в течение 10 минут. В осветленные растворы вносили по 4 см³ раствора органического реагента ПАР, перемешивали и определяли величины оптических плотностей

при λ = 540 нм с кюветой l = 0,5 см относительно воды при трех температурах. Основываясь на полученном градуировочном графике, определяли величины равновесных концентраций компонента, проводили построение изотерм сорбции в координатах «сорбция (Γ) – равновесная концентрация [с]». Расчет величины адсорбции проводили согласно следующему уравнению:

$$\Gamma = \frac{(C_0 - [C]) \cdot M \cdot V}{1000 \cdot m}, \quad (1)$$

где C₀ – исходная концентрация сорбата, моль/дм³; V – объем рассматриваемого раствора, см³; [C] – остаточная (равновесная) концентрация сорбата, моль/дм³; M – молярная (или атомная) масса сорбата, г/моль; m – масса сорбента, г.

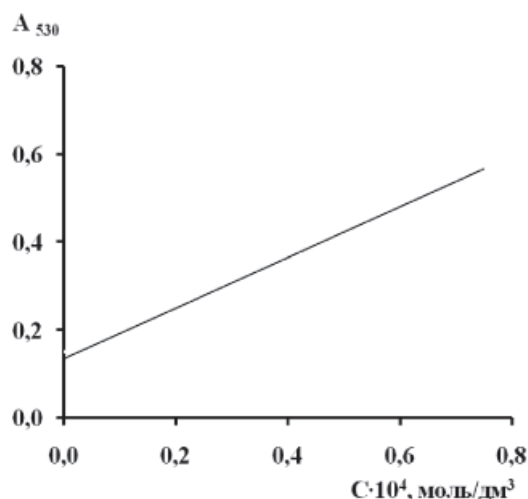


Рис. 1. Градуировочный график для определения концентрации меди

На рис. 2, 3 представлены полученные изотермы сорбции компонента на рассматриваемых сорбентах (СВ-1-А1 и СВ-1-А2).

Полученные изотермы сорбции пересчитывали в изотермы Ленгмюра, а также на их основании определяли величины констант сорбции (K), предельной сорбции (Γ_∞), а также основных термодинамических характеристик адсорбции (энтальпии (ΔH), энтропии (ΔS), изобарно-изотермического потенциала (ΔG)) процессов при трех температурах (2)–(4):

$$\Delta H = \frac{RT_i T_k \ln \frac{K_i}{K_k}}{T_i - T_k}; \quad (2)$$

$$\Delta G_i = -RT_i \ln K_i; \quad (3)$$

$$\Delta S_i = \frac{\Delta H - \Delta G_i}{T_i}. \quad (4)$$

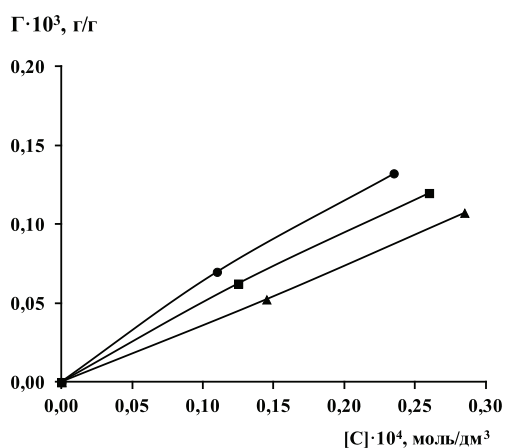


Рис. 2. Влияние температуры на адсорбцию меди (CB-1-AL):
 Δ – 277 K; \square – 298 K; \circ – 313 K

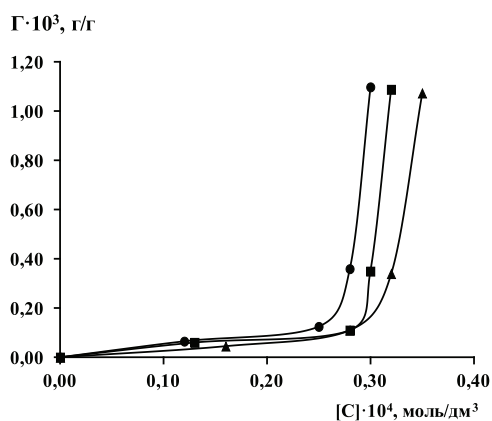


Рис. 3. Влияние температуры на адсорбцию меди (CB-1-AL2):
 Δ – 277 K; \square – 298 K; \circ – 313 K

Результаты расчетов, полученные опытным путем, приведены в табл. 2.

Полученные результаты исследований свидетельствуют о самопроизвольном процессе адсорбции, а также о образовании прочных адсорбционных комплексов. Емкость сорбентов по отношению к ионной меди достаточно весома, что говорит о высокой степени извлечения компонента из водных растворов.

Изучение кинетики сорбции ионов меди на модифицированных сорбентах (CB-1-AL и CB-1-AL2). В колбу на 500 см³ вносили 20 см³ раствора соли металла с концентрацией компонента $C = 1 \cdot 10^{-3}$ М, объем которого доводили дистиллированной водой. В раствор вносили 20 г мелкоизмельченного сорбента, включая при этом секундомер, перемешивали полученную смесь и проводили отбор проб через определенные промежутки времени, отфильтровывали их через стеклянный фильтр или центрифугировали их. Исследования кинетики сорбции проводили также при трех температурах. В осветленные растворы вносили по 4 см³ раствора ПАР с концентрацией $1 \cdot 10^{-3}$ М и проводили измерение оптических плотностей растворов при $\lambda = 540$ нм в кювете $l = 0,5$ см относительно воды. На основании полученных данных проводили построение изотерм кинетики сорбции в координатах «оптическая плотность (A) – время (τ)» (рис. 4, 5).

Таблица 2

Основные характеристики сорбции ионов меди на модифицированных сорбентах (CB-1-AL, CB-1-AL2) ($n = 6$, $P = 0,95$, $t_p = 2,57$)

| Определяемая характеристика | Температура, К | Металл | |
|--|----------------|-----------------|------------------|
| | | Сорбент CB-1-AL | Сорбент CB-1-AL2 |
| Константы сорбции $\cdot 10^{-2}$ | 277 | 5,00 ± 0,50 | 4,84 ± 0,50 |
| | 298 | 5,22 ± 0,50 | 5,00 ± 0,50 |
| | 313 | 5,56 ± 0,50 | 7,41 ± 0,70 |
| $-\Delta G$, кДж/моль | 277 | 32,96 ± 3,10 | 32,79 ± 3,00 |
| | 298 | 35,70 ± 3,50 | 35,46 ± 3,50 |
| | 313 | 37,87 ± 3,70 | 39,60 ± 4,00 |
| $-\Delta H$, кДж/моль | | 1,66 ± 0,20 | 2,49 ± 0,30 |
| ΔS , Дж·моль/К | 277 | 112,98 ± 11,00 | 109,70 ± 10,00 |
| | 298 | 114,21 ± 11,00 | 110,90 ± 10,00 |
| | 313 | 115,68 ± 11,00 | 118,80 ± 10,00 |
| Емкость сорбента (Γ_{∞}), мг/г | 277 | 5,88 ± 0,50 | 5,00 ± 0,50 |
| | 298 | 8,33 ± 0,80 | 6,25 ± 0,60 |
| | 313 | 10,00 ± 1,00 | 7,14 ± 0,70 |

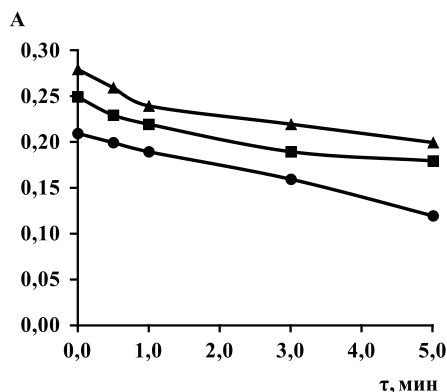


Рис. 4. Изотермы кинетики сорбции ионов меди сорбентом CB-1-AL: Δ – 277 K; \square – 298 K; \circ – 313 K

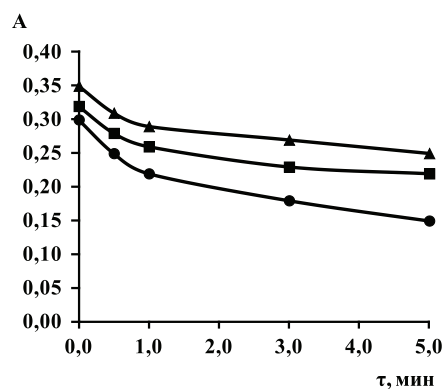


Рис. 5. Изотермы кинетики сорбции ионов меди сорбентом CB-1-AL2: Δ – 277 K; \square – 298 K; \circ – 313 K

Таблица 3

Термодинамические характеристики кинетики сорбции ионов меди на модифицированных сорбентах (CB-1-AL, CB-1-AL2) ($n = 6, P = 0,95, t_p = 2,57$)

| Определяемая характеристика | Температура, К | Металл | |
|--|----------------------------|------------------|------------------|
| | | Сорбент CB-1-AL | Сорбент CB-1-AL2 |
| Константы скоростей $K \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ при температурах, К | 277 | $11,25 \pm 1,30$ | $14,61 \pm 1,50$ |
| | 298 | $11,30 \pm 1,30$ | $16,49 \pm 1,70$ |
| | 313 | $13,34 \pm 1,30$ | $24,59 \pm 2,50$ |
| $E_{\text{акт}}$, кДж/моль | В пределах от 277 до 313 К | $2,16 \pm 0,20$ | $3,87 \pm 0,40$ |
| $-\Delta S^\ddagger$, Дж/моль · К | 277 | $2,16 \pm 0,20$ | $2,09 \pm 0,20$ |
| | 298 | $2,17 \pm 0,20$ | $2,10 \pm 0,20$ |
| | 313 | $2,18 \pm 0,20$ | $2,11 \pm 0,20$ |

Время установления сорбционного равновесия позволяет охарактеризовать равновесные процессы, а полученная величина энтропии активации для описания механизма сорбционных процессов. Данные величины были рассчитаны при трех температурах согласно выражению

$$K = \frac{1}{\tau} \ln \frac{A_0}{A_t}, \quad (5)$$

где A_0 – исходная оптическая плотность раствора; A_t – оптическая плотность раствора в момент времени τ ; τ – время, с.

Основываясь на полученных графиках Аррениуса, определяли величины энергии активации и энтропии образования сорбционных комплексов:

$$\ln PZ_0 = 10,36 + \ln T + \frac{\Delta S^\ddagger}{R}, \quad (6)$$

где PZ_0 – предэкспоненциальный фактор; ΔS^\ddagger – изменение энтропии активации формирования активированного комплекса; R – универсальная газовая постоянная; T – температура.

Полученные результаты рассматриваемых величин представлены в табл. 3.

В описанном исследовании сорбционные процессы рассматривали в течение трех минут, что свидетельствует о том, что сорбат

(ионы меди) почти целиком поглощаются рассматриваемыми сорбентами. На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что рассматриваемые сорбенты можно использовать для сорбционной очистки воды от тяжелых токсичных металлов, таких как медь. Необходимо отметить, что величина эффективности очистки от ионов меди данными модифицированными сорбентами со степенью очистки до 93%.

Список литературы

1. Климов Е.С., Бузаева М.В. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод. – Ульяновск: УлГУ. – 2011. – 201 с.
2. Шачнева Е.Ю. Изучение сорбционных свойств гранулированного модифицированного сорбента (CB-1-AL) // Водоподготовка. Водоочистка. Водоснабжение. – М., 2014. – № 12 (84). – С. 4–5.
3. Шачнева Е.Ю. Сорбционное концентрирование тяжелых токсичных металлов. – Герм.: Изд-во «Lambert. Academic Publishing», 2014. – 101 с.
4. Шачнева Е.Ю. Физико-химия адсорбции флокулянтов и синтетических поверхностно-активных веществ на сорбенте CB-1-A: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04. – Махачкала, 2011. – 139 с.
5. Шачнева Е.Ю., Арчибасова Д.Е., Зухайраева А.С., Магомедова Э.М. Извлечение меди, цинка и кадмия из водных растворов нефтяных месторождений сорбентом, полученном на основе опок Астраханской области // Геол., геогр. и глобальная энергия. – 2014. – № 2(53). – С. 93–104.
6. Шачнева Е.Ю., Поляков О.А. Сорбционно-фотометрическое определение свинца и кадмия в промышленных объектах // Вестник КемГУ. – Астрахань, 2015. – № 2 (62). – Т. 5. – С. 172–176.

УДК 630*228.1: 630*531:630*907

СТРОЕНИЕ КРОН РЕКРЕАЦИОННЫХ СОСНЯКОВ КАЗАХСКОГО МЕЛКОСОПОЧНИКА (НА ПРИМЕРЕ ГНПП «БУРАБАЙ»)¹Данчева А.В., ²Залесов С.В.¹*Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, Щучинск, e-mail: a.dancheva@mail.ru;*²*Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, e-mail: kaly88@mail.ru*

В работе представлены результаты исследований строения крон сосновых древостоев Казахского мелкосопочника (на примере ГНПП «Бурабай»). Объектом исследований являлись естественные сосняки VI класса возраста, произрастающие в очень сухих (тип леса С₁) и свежих (тип леса С₂) лесорастительных условиях и относящиеся к различным по рекреационной нагрузке функциональным зонам (ФЗ). В качестве показателей строения кроны использовали их протяженность и диаметр. Отмечено, что наибольшими средними значениями рассматриваемых показателей характеризуются сосняки в зоне умеренного (ФЗ-II) и слабого посещения (ФЗ-III). Проведен анализ степени изменения значения диаметра и протяженности кроны в зависимости от категорий жизненного состояния. Установлено, что наименьшими значениями рассматриваемых показателей характеризуются деревья с оценкой жизненного состояния «сильно ослабленные», наибольшими – «здоровые» деревья. Доказано, что на значение диаметра кроны (D_{кр}) исследуемых древостоев в большей степени влияние оказывает диаметр деревьев на высоте 1,3 м и густота произрастания, нежели фактор рекреации. Установлена тесная взаимосвязь диаметра кроны деревьев сосны с показателем жизненного состояния, которая аппроксимируется уравнением линейной функции и функцией полинома 2 степени. В результате проведенных исследований установлено, что диаметр на высоте 1,3 м и протяженность кроны деревьев сосны в естественных перестойных сосняках рекреационного назначения может быть использован в качестве одного из диагностических признаков их состояния.

Ключевые слова: рекреационные сосняки, показатель жизненного состояния, ассимиляционный аппарат, диаметр и протяженность кроны

CROWN STRUCTURE OF RECREATIONAL PINE FORESTS OF THE KAZAKH UPLAND (FOR EXAMPLE, SNPP «BURABAY»)¹Dancheva A.V., ²Zalesov S.V.¹*Kazakh Scientific Research Institute of Forestry and Agroforestry, Schuchinsk, e-mail: a.dancheva@mail.ru;*²*Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, e-mail: kaly88@mail.ru*

In the result of conducted researches studied of state of assimilation apparatus of natural pine forests in belt pine forests of the Priirtyshye. Object of research are high-density middle-aged pine forests which grow in dry forest conditions (forest type C₁) in the state forest natural fenced reserve «Semey ormany», located in the North-Kazakhstan region. Studies were conducted on 4 plots which planted for study the impact of different intensities of silvicultural operation on the biological stability, fire resistance and recreational appeal of pine forests of the East Kazakhstan region (belt pine forests of the Priirtyshye). The studies found that the vital status of the pine forest stands is rated as «weakened». It found that the degree of changing in the vital state depended on stage thickness trees. It was found that the with increasing stage of thickness marked decrease in the share «weak», «greatly weakened» and «dying» of trees and increase the share of trees, which are characterized as «healthy». It found that the relationship of index of vital status of pine forests with fineness of trees approximated by polynomial function. Has been considered distribution of the volume of growing stock, belonging to different categories of vital status according to stage thickness. It was found that the decrease of biological stability of study pine forests contributes to presence of large quantity of fine trees that characterized as «greatly weakened» and «dying». Removal of such trees from the stand composition will not influenced on strong change of total volume of growing stock, however, may be impacted on increasing of index vital status of all forest stand and, as a consequence, to increase its biological stability, fire resistance and recreational appeal.

Keywords: recreational pine forest, index of vital status, assimilation apparatus, crown diameter, crown length

В настоящее время в лесной науке неслаженно мало уделяется внимания развитию ассимиляционной массы деревьев [1]. Изучение закономерностей строения крон деревьев имеет важное практическое значение с точки зрения оптимизации строения фитоценозов по густоте и максимального повышения динамики их роста и продуктивности, а следовательно, устойчивости

лесной экосистемы к внешним факторам воздействия. Именно показатели строения кроны, будучи в большей степени динамическими, по сравнению с диаметром ствола на высоте 1,3 м и высотой дерева, лучше отражают его состояние [2, 3].

В условиях нарастающих темпов лесозаготовки сосновых насаждений Казахстана сохранение и повышение их

устойчивости предполагает успешное лесовосстановление, формирование ландшафтов, охрану лесов от пожаров, защиту от вредителей и болезней, принятие мер по снижению загрязнения окружающей среды.

Материалы и методы исследований

Объектом исследований являлись сосняки государственного национального природного парка (ГНПП) «Бурабай», расположенного в Акмолинской области Республики Казахстан и относящегося к северо-западной части Казахского мелкосопочника.

Площадь парка на 01.01.2012 г. составляет 129935 га, из них покрытых лесом угодий – 79291 га, или 61,0%. Основную долю занимают сосновые насаждения – 65,5%. Наибольшая площадь лесных угодий парка сосредоточена в подзоне регулируемого рекреационного использования – 52%.

Изучение строения крон сосновых древостоев проводилось на постоянных пробных площадях (ППП), заложенных сотрудниками ТОО КазНИИЛХА на территории ГНПП «Бурабай» в сосновых насаждениях очень сухих (тип леса – С₁) и свежих (тип леса –

Результаты исследований и их обсуждение

Насаждения ППП представлены чистыми по составу одновозрастными сосняками. Исследуемые древостои относятся к VI классу возраста. Класс бонитета – IV–V. Исследуемые сосняки относятся к высокополнотным со средним значением полноты 1,0. Полнота древостоя на ППП-4к – 0,8.

В табл. 2 представлены данные среднестатистических значений основных показателей кроны сосновых древостоев на исследуемых ППП. Данные табл. 2 свидетельствуют, что наибольшими значениями диаметра кроны ($D_{кр}$) и ее протяженности ($L_{кр}$) характеризуются сосняки на ППП-1 и 4к, относящиеся к зоне умеренного посещения (ФЗ-II) и зоне контроля (ФЗ-III) соответственно.

Таблица 1

Таксационная характеристика сосновых древостоев в ГНПП «Бурабай»

| Номер ППП | Состав | Тип леса | Класс возраста | Средние | | Густота, экз./га | Полнота | Запас, м ³ /га | Класс бонитета | Класс Крафта |
|-----------|--------|----------------|----------------|-----------|-------------|------------------|---------|---------------------------|----------------|--------------|
| | | | | высота, м | диаметр, см | | | | | |
| 2 | 10С | С ₁ | VI | 16,0 | 24,4 | 867 | 1,1 | 321,5 | V | II,3 |
| 1 | 10С | С ₁ | VI | 16,7 | 22,1 | 950 | 1,0 | 292,0 | IV | I,8 |
| 3к | 10С | С ₁ | VI | 15,7 | 19,9 | 1117 | 1,0 | 260,7 | V | II,0 |
| 5 | 10СедБ | С ₃ | VI | 17,9 | 24,2 | 850 | 1,0 | 326,2 | IV | II,4 |
| 4к | 9С1Б | С ₃ | VI | 18,8 | 24,9 | 625 | 0,77 | 255,3 | IV | I,9 |

С₃) условий произрастания в трех функциональных зонах (ФЗ): ППП-2 и 5 – зона активного посещения (ФЗ-I); ППП-1 – зона умеренного посещения (II ФЗ) и ППП-3к и 4к – зона слабого посещения (условно контроль III ФЗ) [4].

Для определения лесотаксационных параметров исследуемых сосновых древостоев применялся метод сплошных пересчетов, традиционный для исследовательских работ на ППП [5].

Диаметр кроны определялся с точностью до 10 см рулеткой по проекции кроны на поверхность почвы. Высота до первой живой ветви устанавливалась деревянным складным шестом с соответствующими делениями.

Определение жизненного состояния древостоя в целом и каждого дерева в отдельности проводилось по методике В.А. Алексеева [6]. При показателе 100–80% жизненное состояние как всего древостоя, так и отдельных деревьев оценивается как «здоровое», при 79–50% древостой считается поврежденным (ослабленным), при 49–20% – сильно поврежденным (сильно ослабленным), при 19% и ниже – полностью разрушенным.

Данные обработаны статистически с помощью компьютерной программы Excel.

Следует отметить, что прошедший в 2008 году ветровал и проведенные в связи с этим лесохозяйственные мероприятия повлекли за собой снижение полноты древостоя на ППП-4к до 0,77, что, в свою очередь, привело к увеличению средних значений основных таксационных показателей и послужило одной из причин увеличения средних значений показателей кроны древостоя на данном участке.

Наименьшие значения рассматриваемых показателей отмечаются у древостоев на ППП-2 и 5, относящихся к зоне активного посещения (ФЗ-I), а также на ППП-3к (зона контроля ФЗ-III). Одной из причин снижения значений параметров кроны ($D_{кр}$, $S_{кр}$ и $V_{кр}$) древостоев на ППП-3к в зоне контроля (ФЗ-III) является высокая, в сравнении с другими ППП, густота произрастания и наименьшие средние значения диаметра на высоте 1,3 м и высоты (табл. 1). В отличие от ППП-3к, древостой на ППП-2 и 5

(зона активного посещения ФЗ-1) характеризуется наименьшим значением густоты произрастания и наибольшим диаметром и высотой, следовательно, можно предположить, что снижению средних значений показателей кроны на данных участках способствует ряд других причин.

Следует отметить, что показатель жизненного состояния древостоев на ППП-1, 3к и 4к (зона умеренного и слабого посещения), выше в сравнении с ППП-2 и 5 (зона активного посещения). Различия показателя жизненного состояния древостоев сравниваемых функциональных зон достоверны и подтверждаются рассчитанным значением t-критерия Стьюдента $t_s = 3,3-6,6$ при $t_{0,05} = 1,96-1,97$. Достоверные различия сравниваемых по функциональным зонам значений показателя диаметра кроны ($D_{кр}$) отсутствуют в очень сухих условиях произрастания (ППП-1, 2 и 3к) ($t_s = 0,0-1,6$ при $t_{0,05} = 1,96-1,97$) и присутствуют в свежих типах лесорастительных условий (ППП-4к и 5) ($t_s = 2,2$ при $t_{0,05} = 1,97$). Существенные различия в показателе протяженности кроны ($L_{кр}$), подтвержденные рассчитанным

t-критерием Стьюдента, отмечаются между ППП-1 и 2 и ППП-4к и 5 ($t_s = 5,3$ и $2,1$ при $t_{0,05} = 1,96$ и $1,97$ соответственно).

Для более точного анализа состояния размера крон сосняков нами было проведено распределение значений протяженности ($L_{кр}$) и диаметра кроны ($D_{кр}$) деревьев сосны на исследуемых ППП по категориям жизненного состояния (табл. 3). По данным табл. 3, на всех ППП отмечается зависимость показателей протяженности ($L_{кр}$) и диаметра ($D_{кр}$) кроны от категорий жизненного состояния деревьев. С ухудшением состояния наблюдается снижение значений рассматриваемых показателей. Различия значений протяженности кроны ($L_{кр}$) при сравнении всех категорий жизненного состояния достоверны, что подтверждается рассчитанным значением t-критерия Стьюдента $t_s = 2,3-17,4$ при $t_{0,05} = 1,98-2,0$. Различия значений диаметра кроны ($D_{кр}$) достоверны при сравнении ослабленных и сильно ослабленных, а также сильно ослабленных и здоровых деревьев ($t_s = 2,6-13,1$ при $t_{0,05} = 1,98-2,0$).

Таблица 2

Среднестатистические показатели размера крон сосновых древостоев ГНПП «Бурабай»

| Номер ППП | Показатель жизненного состояния, % | Протяженность кроны ($L_{кр}$), м | Диаметр кроны ($D_{кр}$), см |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| 2 | $58,4 \pm 2,4$ | $7,4 \pm 0,2$ | $328,5 \pm 9,5$ |
| 1 | $76,1 \pm 1,2$ | $8,9 \pm 0,2$ | $334,1 \pm 8,2$ |
| 3к | $69,4 \pm 1,6$ | $7,6 \pm 0,1$ | $328,6 \pm 7,9$ |
| 5 | $63,9 \pm 1,8$ | $8,2 \pm 0,3$ | $325,8 \pm 11,8$ |
| 4к | $71,9 \pm 1,6$ | $9,1 \pm 0,3$ | $363,6 \pm 12,1$ |

Таблица 3

Распределение протяженности ($L_{кр}$) и диаметра кроны ($D_{кр}$) деревьев сосны на ППП по категориям жизненного состояния, см

| Номер ППП | Здоровые | Ослабленные | Сильно ослабленные | Отмирающие |
|-----------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| 2 | $8,7 \pm 0,3$ $345,9 \pm 17,2$ | $7,6 \pm 0,2$ $341,4 \pm 10,2$ | $4,6 \pm 0,5$ $222,7 \pm 12,1$ | 4,7 170,0 |
| 1 | $9,4 \pm 0,2$ $359,7 \pm 11,6$ | $8,5 \pm 0,2$ $308,4 \pm 10,4$ | $6,6 \pm 0,8$ $220,0 \pm 40,0$ | – |
| 3к | $8,4 \pm 0,3$ $337,5 \pm 10,9$ | $7,6 \pm 0,2$ $340,8 \pm 9,7$ | $3,7 \pm 0,1$ $182,2 \pm 7,2$ | 4,8 160,0 |
| 5 | $10,1 \pm 0,5$ $370,8 \pm 18,5$ | $8,0 \pm 0,3$ $328,7 \pm 15,4$ | $4,5 \pm 0,5$ $223,3 \pm 22,6$ | – |
| 4к | $10,0 \pm 0,3$ $397,2 \pm 18,9$ | $8,8 \pm 0,3$ $353,6 \pm 15,9$ | $5,1 \pm 0,5$ $268,0 \pm 28,7$ | – |

Примечание. В числителе – протяженность, в знаменателе – диаметр кроны.

Наибольшими значениями диаметра кроны ($D_{кр}$) во всех категориях жизненного состояния характеризуются древостой на ППП-4к (зона контроля ФЗ-III в свежих сосняках). Наименьшими значениями – древостой на ППП-3к (зона контроля ФЗ-III в сухих сосняках). Сравнение значений показателя $D_{кр}$ древостоев, произрастающих в зоне активного посещения (ФЗ-I) на ППП-2 и 5 и древостоев в зоне контроля (ФЗ-III) на ППП-3к и 4к, не предоставляется возможным из-за значительного его варьирования в каждой их рассматриваемых категорий состояния. Другими словами, отсутствует четкая зависимость диаметра кроны от фактора рекреации (функциональных зон).

При сравнительном анализе данных распределения диаметров деревьев на высоте 1,3 м (табл. 4) и диаметра кроны ($D_{кр}$) (табл. 3) по категориям жизненного состояния, можно отметить взаимосвязь данных показателей. Так, в категории состояния «здоровые» наибольшими диаметрами на высоте 1,3 м характеризуются древостой свежих условий произрастания на ППП-5 (зона активного посещения ФЗ-I) и 4к (зона контроля ФЗ-III) – $26,1 \pm 1,9$ и $27,3 \pm 1,3$ см соответственно (табл. 4). По данным табл. 3 древостой на данных ППП характеризуются и наибольшими значениями диаметра кроны ($D_{кр}$) – $370,8 \pm 18,5$ и $397,2 \pm 18,9$ см соответственно. Наименьшие значения диаметра деревьев отмечаются на ППП-3к (зона контроля ФЗ-III) очень сухих условий произрастания – $19,1 \pm 0,7$ см (табл. 4), и этот же древостой характеризуется наименьшим средним значением диаметра кроны ($D_{кр}$) (табл. 3) – $337,5 \pm 10,9$ см.

По данным табл. 3 и 4 в категории состояния «ослабленные» наибольшими значениями диаметра деревьев и диаметра кроны ($D_{кр}$) характеризуется древостой на ППП-2 (зона активного посещения ФЗ-I), а наименьшими значениями – древостой на ППП-1 (зона умеренного посещения ФЗ-II) и 3к (зона контроля ФЗ-III).

В категории жизненного состояния «сильно ослабленные» сравнение рассматриваемых показателей не представляется возможным из-за большого варьирования их значений на каждой ППП.

В результате проведенного сравнительного анализа можно сделать вывод о том, что на показатель диаметра кроны ($D_{кр}$) в большей степени оказывает влияние диаметр деревьев и густота произрастания, нежели фактор рекреации.

По данным рис. 1 и 2 в перестойных сосняках очень сухих и свежих условий произрастания с увеличением показателя жизненного состояния отмечается увеличение диаметра кроны деревьев ($D_{кр}$).

В результате проведенного анализа данных выявлена тесная взаимосвязь диаметра кроны деревьев ($D_{кр}$) с показателем жизненного состояния, которая в очень сухих сосняках (тип леса C_1) аппроксимируется уравнением полинома 2 степени (рис. 1) и подтверждается достаточно высокими коэффициентами достоверности (R^2).

В свежих сосняках (тип леса C_3) (рис. 2) взаимосвязь диаметра кроны с показателем жизненного состояния на ППП-5 (ФЗ-I) описывается уравнением полинома 3 степени, на ППП-4к – уравнением линейной регрессии и подтверждаются высоким значением коэффициента аппроксимации (R^2).

Выводы

1. Наибольшими средними значениями диаметра кроны и ее протяженности характеризуются сосняки в зоне умеренного (ФЗ-II) и слабого посещения (ФЗ-III), наименьшими – в зоне активного посещения (ФЗ-I).

2. Наименьшими значениями показателей диаметра и протяженности кроны характеризуются деревья с оценкой жизненного состояния «сильно ослабленные», наибольшими – «здоровые» деревья.

Таблица 4

Распределение средних значений диаметра на высоте 1,3 м по категориям жизненного состояния в сосняках ГНПП «Бурабай», см

| Номер ППП | Категории жизненного состояния | | | |
|-----------|--------------------------------|----------------|--------------------|------------|
| | здоровые | ослабленные | сильно ослабленные | отмирающие |
| 2 | $24,2 \pm 1,4$ | $25,9 \pm 0,9$ | $15,0 \pm 1,2$ | 9,8 |
| 1 | $22,6 \pm 0,5$ | $21,2 \pm 0,7$ | $20,6 \pm 5,9$ | – |
| 3к | $19,1 \pm 0,7$ | $20,7 \pm 0,5$ | $10,3 \pm 0,5$ | 8,0 |
| 5 | $26,1 \pm 1,9$ | $23,1 \pm 1,3$ | $13,3 \pm 1,8$ | – |
| 4к | $27,3 \pm 1,3$ | $22,5 \pm 1,1$ | $17,4 \pm 1,9$ | – |

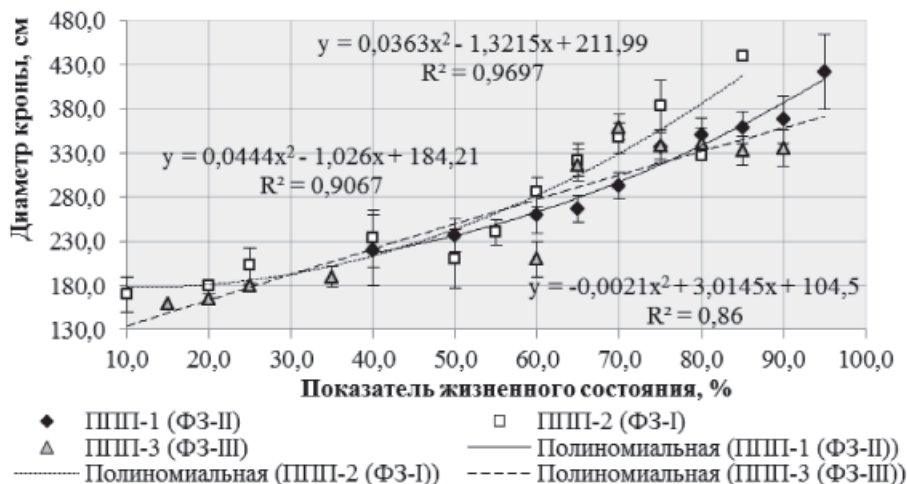


Рис. 1. Взаимосвязь диаметра кроны ($D_{кр}$) с показателем жизненного состояния в очень сухих сосняках ГНПП «Бурабай»

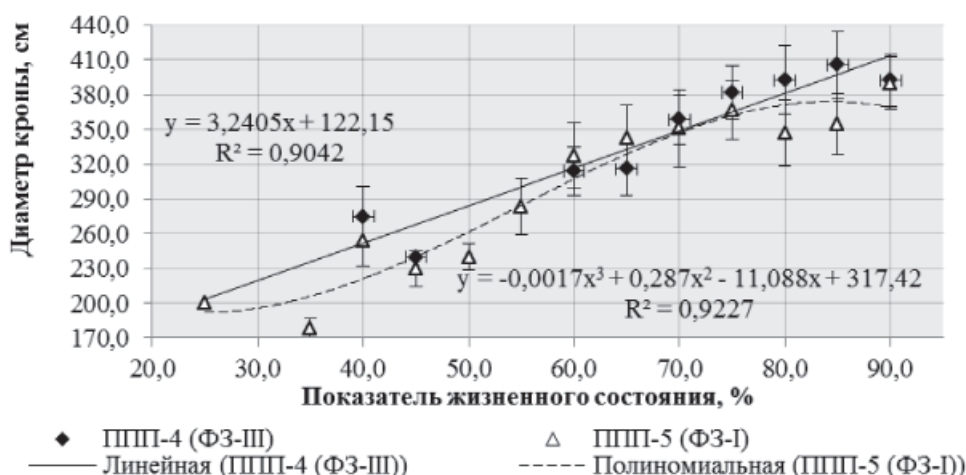


Рис. 2. Взаимосвязь диаметра кроны ($D_{кр}$) с показателем жизненного состояния в свежих сосняках ГНПП «Бурабай»

3. На значение диаметра кроны ($D_{кр}$) в большей степени оказывает влияние диаметр деревьев и густота произрастания, нежели фактор рекреации.

4. Установлена тесная взаимосвязь диаметра кроны деревьев сосны с показателем жизненного состояния, которая аппроксимируется уравнением линейной функции и функцией полинома 2 степени.

5. Диаметр и протяженность крон деревьев в естественных перестойных сосняках рекреационного назначения могут быть использованы в качестве диагностических признаков их состояния.

Список литературы

1. Алексеев В.А. Диагностика повреждений деревьев и древостоев при атмосферном загрязнении и оценка их жизненного состояния // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. – Л.: Наука, 1990. – С. 38–53.

2. Данчева А.В., Залесов С.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения: учебное пособие. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. – 152 с.

3. Данчева А.В., Залесов С.В., Муканов Б.М. Влияние рекреационных нагрузок на состояние и устойчивость сосновых насаждений Казахского мелкосопочника: монография. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. – 195 с.

4. Тиходеева М.Ю., Лебедева В.Х., Ипатов В.С. Оценка влияния древостоя на развитие кроны дерева // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2010. – Сер. 3. – Вып. 1. – С. 15–21.

5. Шульга В.Д., Терехина Д.К., Густова А.И., Кузнецко А.Н. Роль интенсивных рубок ухода в реализации потенциальных возможностей древесной породы // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2012. – № 3 (27). – С. 1–5.

6. Nakajima H., Kume A., Ishida M., Ohmiya T., Mizoue N. Evaluation of estimates of crown condition in forest monitoring: comparison between visual estimation and automated crown image analysis. *Annals of Forest Science*. – 2011. – Vol. 68. – Issue 8. – P. 1333–1340.

УДК 630*2

ВЕКОВАЯ ДИНАМИКА ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛИСТВЕННИЧНЫХ РЕДКОЛЕСИЙ У СЕВЕРНОЙ ГРАНИЦЫ АРЕАЛА НА ОСТРОВЕ ТИТ-АРЫ (НИЗОВЬЯ РЕКИ ЛЕНЫ)

^{1,2}Исаев А.П., ^{1,2}Габышева Л.П., ¹Михалёва Л.Г.

¹ФГБУН «Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН»,
Якутск, e-mail: llp77@yandex.ru;

²ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск

В статье рассмотрена вековая динамика таксационных показателей древостоев лиственничных лесов на острове Тит-Ары в дельте р. Лены. Это лесное насаждение является одним из самых северных лесных массивов на северо-востоке России. Первые научные исследования лесов острова Тит-Ары проведены в 1901 г. финским ученым А.К. Каяндером. Современные лесоводственные исследования лесного массива проведены в 2009–2014 гг. Растительный покров в районе исследования представлен притундровыми редкостойными лиственничными редколесьями и тундровыми сообществами. После сплошной рубки леса в 1940-х годах новое поколение деревьев практически достигло показателей высоты (3–5 м) древостоя, описанного А.К. Каяндером (1903), а по толщине стволов уступает показателям начала XX века. За последние 60 лет густота стояния деревьев постепенно снизилась с 1,5 до 0,7 тыс. экз./га. Основная часть современного поколения древостоя появилась в 1960–1980-х годах. Климатические условия начала нынешнего столетия благоприятствуют росту и развитию лиственницы на северном пределе ее распространения.

Ключевые слова: дельта р. Лены, остров Тит-Ары, таксационные показатели, притундровые лиственничные редколесья, лиственница Каяндера

CENTURY'S DYNAMICS OF INVENTORY INDICES OF SPARSE LARCH FORESTS NEAR NORTH TREE LINE ON THE TIT-ARY ISLAND (THE DELTA OF THE LENA RIVER)

^{1,2}Isaev A.P., ^{1,2}Gabyшева L.P., ¹Mikhaleova L.G.

¹Institute for biological problems of cryolithozone SB RAS, Yakutsk, e-mail: llp77@yandex.ru;

²North-Eastern Federal University, Yakutsk

We studied the dynamics of the age-old stands of larch forests in Tit-Ary island in the delta of the Lena River. This forest is one of the most northern forests in the North-East of Russia. The first scientific study of forests of Tit-Ary Island begins in 1901 by the Finnish scientist A.K. Cajander. Our study of this forest conducted in the 2009–2014 period. The vegetation cover in the study area is represented by sparse pretundra larch forests and tundra communities. After continuous harvest of stands in the 1940s a new generation of trees is almost reached the height indicators (3–5) of the stand described A.K. Cajander (1903), and the thickness of the trunks inferior performance of the early 20th century. Over the past 60 years, stem density of larch gradually decreased from 1.5 to 0.7 thousand trees per hectare. The main part of the current generation of stand appeared in 1960–1980-ies. The climatic conditions favor the beginning of this century the growth and development of larch on the northern limit of its distribution.

Keywords: delta of the Lena River, Tit-Ary island, inventory indices, pretundra larch forests, *Larix cajanderi*

Остров Тит-Ары является одним из самых северных крупных массивов лесной растительности на северо-востоке России. История изучения растительных экосистем этого острова и сопредельной территории имеет более чем вековую историю. Первые упоминания об острове можно найти в дневниках Бунге [9], а также в работах финского ученого А.К. Каяндера [10]. В момент посещения последним острова в 1901 г. лесная растительность занимала лишь центральную, несколько повышенную часть острова, т.е. высокую надпойменную террасу. Сомкнутость древостоя А.К. Каяндера оценил равной 0,4, высоту деревьев 3–5 м, деревья были сильно искривленными с неправильным развитием кроны. Из-

вестно, что этот лес был полностью вырублен в 1942–1943 гг. По оставшимся после сплошной рубки пням Б.А. Тихомиров и В.С. Штепа (1956) установили, что возраст деревьев составлял 300–400 лет.

Более или менее регулярные исследования лиственничных редколесий на острове Тит-Ары начались в 1955 г. Результатом исследований явился ряд работ [1–8].

По данным И.П. Щербакова [8], посетившего остров в 1962 г., лесом была занята не только вторая надпойменная терраса, но и первая. На 1 га Щербаков насчитал от 100 до 1500 экз. лиственницы в зависимости от террасы. Средняя высота 0,9 м, максимальная – 2,0 м. Всходов не было, весь подрост появился через 1–2 года после рубки.

Исследования по изучению динамики самого северного лесного массива в дельте р. Лены возобновлены на территории Булунского района на о. Тит-Ары в 2009–2014 гг. в рамках комплексной экспедиции Института биологических проблем криолитозоны СО РАН.

В настоящее время лесной массив сформирован на увале второй надпойменной террасы в центральной части острова на всем его протяжении, на первой надпойменной террасе в западной части острова в виде групповых лиственниц, единичные лиственницы встречаются на второй пойменной террасе на валиках полигонально-кустарничково-моховой, кассиопово-моховой, голубично-багульниково-моховой, багульниково-лиственничных редколесий.

Таксационные показатели древостоев. На всех пробных площадях деревья большей частью далеко отстоят друг от

друга, сомкнутость всегда ниже 0,3. Количество деревьев на 1 га достаточно высокое – от 700 до 2750 стволов при средней высоте 1,45–3,15 м и среднем диаметре – 1,66–6,17 см. Максимальные показатели высоты – 6,5 м, диаметра – 12 см (табл. 1).

Стволы многих деревьев искривленные, наблюдается многовершинность и многоствольность. Наиболее благоприятные условия для роста деревьев наблюдаются на южном склоне увала на юге острова, где деревья характеризуются более крупными размерами и сбежистыми широкими кронами. Для сравнения приводим данные об основных таксационных показателях древостоев в вековом измерении (табл. 2). Как видно из нее, с 1955 года густота стояния деревьев постепенно снизилась с 1,5 до 0,7 тыс. экз./га. По показателям высоты (3–5 м) деревья практически достигли, по толщине значительно уступают показателям дорубочного насаждения.

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев в лиственничных редколесьях, о. Тит-Ары, Булунский район Республики Саха (Якутия)

| Номер описания | Тип лиственничных редколесий | Количество стволов, экз./га | | Высота, м | | Диаметр, см | | Средний возраст, лет |
|----------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|--------------|-------------|--------------|----------------------|
| | | Всего | в т.ч. выше 1,3 м | средняя | максимальная | средний | максимальный | |
| 5 | Кустарничково-моховое | 2300 | 850 | 1,45 | 2,9 | 2,03 | 5,5 | 39,5 |
| 10 | Кассиопово-моховое | 1150 | 800 | 2,73 | 5,3 | 6,17 | 12 | 42,6 |
| 6 | Голубично-багульниково-моховое | 4400 | 2250 | 2,11 | 3,4 | 1,74 | 4,1 | 44,3 |
| 9 | Багульниковое | 3200 | 2750 | 3,15 | 6 | 3,4 | 8,8 | 62,2 |
| 13 | Пушицево-моховое | 1350 | 700 | 2,15 | 3,55 | 2,06 | 4,7 | 41,3 |
| X-4 | Багульниково-лишайниково-моховое | 3000 | 900 | 1,91 | 2,6 | 1,66 | 2,8 | 33,4 |

Таблица 2

Динамика основных таксационных показателей лиственничного редколесья пушицево-мохового за 110 лет

| Годы наблюдений | <i>N</i> , тыс. экз./га | <i>H</i> , м | DBH, см |
|-----------------|-------------------------|---------------|------------|
| 1901 | нет данных | 3–5 | нет данных |
| 1942 | нет данных | до 5 | 10–15 |
| 1942–1943 | был вырублен | | |
| 1955 | 1,5 | нет данных | нет данных |
| 1962 | 1,5 | нет данных | 1–4 |
| 1984 | 1,5 | 0,3–1,6 (2,5) | нет данных |
| 1988 | нет данных | 0,3–3,0 | 2 (4) |
| 1989 | 0,8 | 1,9–2,8 | 1,5 (3,5) |
| 2009–2014 | 0,7 | 2,15 (4, 5) | 2,06 (4,7) |

Примечания: число стволов – *N*, господствующая высота – *H*, господствующий диаметр – DBH.

И.П. Щербаков [8] на первой надпойменной террасе острова описал так называемое «кольцевое» размещение лиственниц. В настоящее время эти «кустарниковые» лиственницы также произрастают на острове, кроны их постоянно объедаются зайцами, сами «кусты» постоянно заносятся песком, что, на наш взгляд, и является причиной формирования «кольцевых» лиственниц: стволы в этом кольце являются на самом деле ответвлениями одного стелющегося ствола, засыпанного песком.

Возрастная структура древостоев. В древостоях доминируют 4 поколения лиственницы – старше 80, 40–50, 25–30, менее 20 лет (рис. 1). Это свидетельствует о том,

что 4,35–46,88% всех деревьев появились до сплошной рубки леса в годы Великой Отечественной войны и представляли собой низкорослый подрост, невостребованный даже в военные годы в условиях острейшего дефицита дров. После войны отмечено три основных волны возобновления – младшие поколения деревьев появились соответственно в 60-е, 70-е и 80-е годы XX века.

Динамика роста древостоев. Установлено, что в последние годы (2002–2013 гг.) отмечается резкое увеличение приростов лиственницы Каяндера старшего поколения (рис. 2), что в определенной мере является отражением изменения климатических показателей в эти годы.

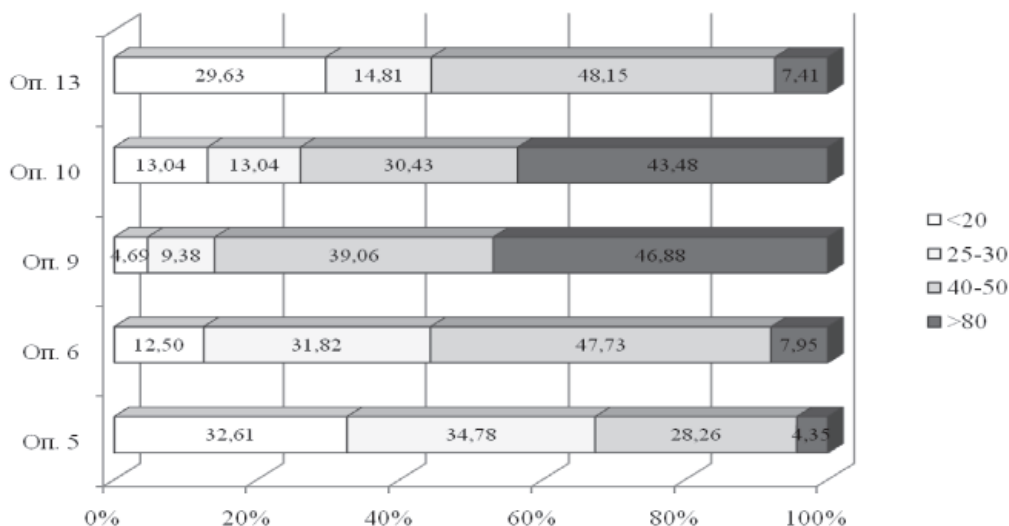


Рис. 1. Возрастная структура лиственничных древостоев на острове Тит-Ары: Оп. 5 – лиственничное редколесье кустарничково-моховое; Оп. 6 – лиственничное редколесье каспиово-моховое; Оп. 9 – лиственничное редколесье голубично-багульниково-моховое; Оп. 10 – лиственничное редколесье багульниковое; Оп. 13 – лиственничное редколесье пушицево-моховое

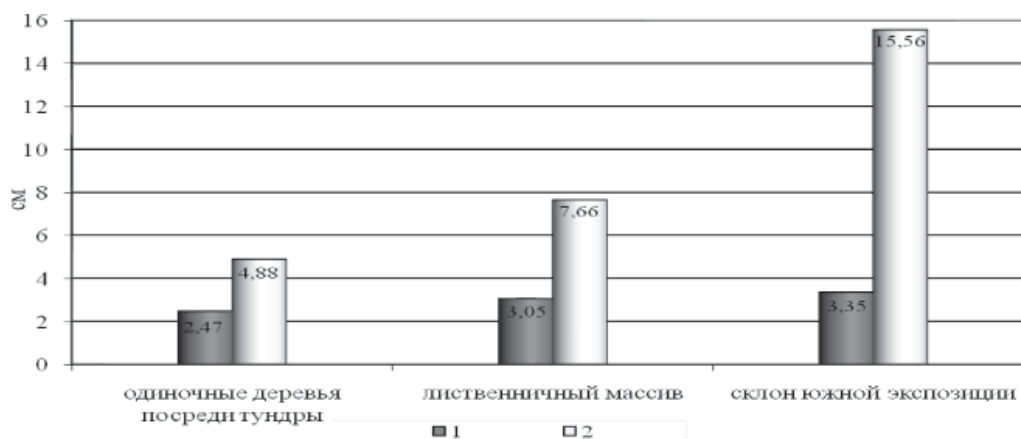


Рис. 2. Средние приросты осевых побегов лиственницы Каяндера на острове Тит-Ары: 1 – до 2001 года; 2 – после 2001 года

Если у лиственниц, произраставших внутри лиственничного массива, средние приросты осевых побегов за предыдущие годы составляли в среднем 3,05 см, то в последние годы они повысились более чем в 2 раза и достигли 7,66 см. У лиственниц, произрастающих на склонах южной экспозиции, эти показатели составили соответственно 3,35 и 15,6 см, а у одиночных лиственниц, произрастающих в тундре, – 2,47 и 4,88 см.

Выявлены также различия реакции лиственниц, произрастающих в разных усло-

виях, на климатические показатели. Если у одиночных деревьев среди тундры и деревьев, произрастающих на вершине террасы, низка вариативность осевых приростов, то у деревьев, произрастающих на склоне южной экспозиции, осевые приросты заметно различаются по годам (рис. 3).

При этом выявлено, что все деревья весьма чувствительны к температурным условиям года, а осадки играют важную роль в изменении ростовых процессов только у одиночных деревьев, произрастающих на повышениях полигонально-валиковой тундры (табл. 3).

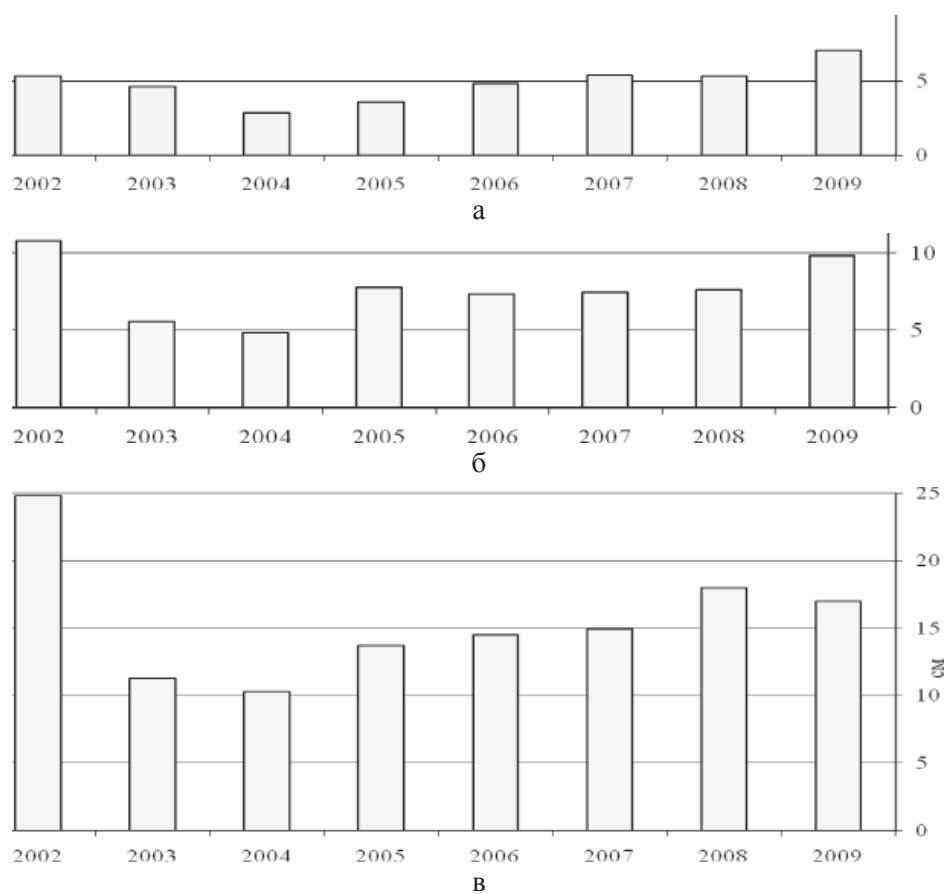


Рис. 3. Осевые приросты лиственниц из разных экотопов острова Тит-Ары: а – одиночные деревья среди тундры; б – лиственничное редколесье на вершине увала; в – лиственничное редколесье на склоне южной экспозиции увала

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между показателями осевого прироста лиственницы и некоторыми климатическими показателями

| Климатические характеристики | Осевые приросты | |
|--------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| | отдельные деревья среди тундры | деревья в лиственничном редколесье |
| Осадки за вегетационный сезон | 0,60 | 0,14 |
| Сумма осадков за год | 0,52 | 0,20 |
| Средняя температура за летние месяцы | 0,66 | 0,63 |
| Средняя температура за год | 0,59 | 0,82 |

Наряду с таксационными характеристиками лесов были изучены некоторые особенности семеношения лиственницы за последние 4 года – 2006–2009 гг. (табл. 4). Высокая сохранность шишек разных лет и хорошая возможность дифференциации старых шишек по «возрастам» позволила провести ретроспективную оценку урожайности. Выявлено, что за исследуемый период самым урожайным был 2006 год, когда в среднем на модельной ветке насчитывалось до 20,82 экз. шишек или 239,43 – на 1 дереве. 2009 год был самым малоурожайным – 3,18 и 35,58 экз. шишек соответственно. При этом отмечена следующая закономерность. Чем выше урожай шишек, тем меньше их линейные размеры (табл. 5). Так в самый урожайный год средняя высота и ширина шишек были наименьшими (1,22 и 1,32 соответственно), а в 2009 г., когда отмечалась низкая урожайность, наивысшими (1,38 и 1,61 см соответственно). Это подтверждается также значениями коэффициента корреляции между показателями: коэффициент корреляции (r) между количеством шишек и их средней высотой равен $-0,8068$, между количеством шишек и их шириной – $0,8514$.

Таким образом, исследования лесного массива о. Тит-Ары показали, что леса представлены притундровыми лиственничными редкостойными лесами. Выявлено, что основное поколение лесного массива острова появилось в 60–80-е годы XX столетия. За последние 60 лет густота стояния деревьев постепенно снизилась с 1,5 до 0,7 тыс. экз./га. После рубки леса в 1940-х годах показатели высоты (3–5 м) деревьев практически достигли, а по толщине уступают показателям до рубочного насаждения. Исследования показали, что климатические условия начала нынешнего столетия благоприятствуют росту и развитию лиственницы на северном пределе ее распространения, что отражается на увеличении осевых приростов лиственницы в последние 10–14 лет. Выявлено различие реакции на изменение климатических показателей деревьев (по осевым приростам), произрастающих посреди тундры и в массиве, а также роль в ростовых процессах температурного режима и отсутствие связи с режимом осадков прироста деревьев, произрастающих в массиве.

Таблица 4

Оценка урожайности *Larix cajanderi* в 2006–2009 гг. на острове Тит-Ары, низовья р. Лены

| Год | Балл урожайности по Капперу | Общее количество модельных веток, шт. | Общее количество исследованных шишек, шт. | Количество шишек на модельной ветке, шт. | | | | Количество шишек, шт. в среднем на 1 дерево |
|------|-----------------------------|---------------------------------------|---|--|-----|-----|---------|---|
| | | | | $M \pm m$ | max | min | $V, \%$ | |
| 2006 | 5 | 11 | 229 | $20,82 \pm 13,44$ | 51 | 4 | 78,9 | 239,43 |
| 2007 | 5 | 11 | 194 | $17,64 \pm 6,76$ | 31 | 3 | 19,2 | 202,85 |
| 2008 | 1 | 11 | 41 | $3,73 \pm 2,43$ | 10 | 0 | 84,9 | 42,90 |
| 2009 | 1 | 11 | 35 | $3,18 \pm 1,72$ | 10 | 1 | 81,7 | 36,58 |

Таблица 5

Морфометрические показатели шишек *Larix cajanderi* урожаев 2006–2009 гг. остров Тит-Ары, низовья р. Лены

| Год | Высота шишек, см | | | | Ширина шишек, см | | | | Отношение ширины к высоте |
|------|------------------|-----|-----|---------|------------------|-----|-----|---------|---------------------------|
| | $M \pm m$ | max | min | $V, \%$ | $M \pm m$ | max | min | $V, \%$ | |
| 2006 | $1,22 \pm 0,02$ | 1,9 | 0,6 | 22,7 | $1,32 \pm 0,02$ | 2,7 | 0,7 | 20,5 | 0,9218 |
| 2007 | $1,36 \pm 0,01$ | 1,9 | 0,7 | 13,6 | $1,55 \pm 0,01$ | 2,1 | 1,0 | 12,1 | 0,8750 |
| 2008 | $1,50 \pm 0,04$ | 2,2 | 1,0 | 17,4 | $1,71 \pm 0,03$ | 2,2 | 1,2 | 12,5 | 0,8814 |
| 2009 | $1,38 \pm 0,04$ | 1,9 | 0,9 | 17,0 | $1,61 \pm 0,03$ | 2,8 | 1,1 | 14,0 | 0,8768 |

Работа выполнена в рамках проектов VI.52.2.8 и II.2П/VI.52-3 программ фундаментальных исследований Президиума РАН.

Список литературы

1. Андреев В.Н. Заселение тундры лесов в современную эпоху // Растительность Крайнего Севера и ее освоение. – Вып. 1. – М.-Л., 1956. – С. 27–45.
2. Андреев В.Н. Растительность и районы восточной части Большеземельской тундры // Тр. Полярной комиссии. Вып. 22. – Л.: Изд-во АН СССР, 1975. – 97 с.
3. Егорова Г.Н. Природные условия дельты реки Лены и севера Хараулахских гор в пределах проектируемого заповедника // Природа Якутии и ее охрана. – Якутск, 1965. – С. 174–189.
4. Перфильева В.И., Тетерина Л.В., Карпов Н.С. Растительный покров тундровой зоны Якутии. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1991. – 194 с.
5. Полозова Т.Г. О самых северных местонахождениях лиственницы (*Larix dahurica* Turcz.) и кустарной ольхи (*Alnaster fruticosus* Ldb.) в низовьях реки Лены // Материалы по растительности Якутии. – Л., 1961. – С. 291–294.
6. Растительный и животный мир дельты реки Лены / Лабутин Ю.В., Перфильева В.И., Ревин Ю.В. и др. – Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1985. – 140 с.
7. Тихомиров Б.А., Штепа В.С. К характеристике лесных форпостов в низовьях р. Лены // Ботан. журн. – 1956. – Т. 41. – № 8 – С. 1107–1122.
8. Щербаков И.П. О восстановлении лесной растительности на крайнем северном пределе в Евразии. // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. и медицин. наук. – 1965. – № 8. – Вып. 2. – С. 54–61.
9. Bunge A.A. Naturhistorische Beobachtungen u. Fahrten in d. Lena-Delta // Melanges biologiques, tires du Bulletin de l'Academie imperiale des sciences de St. Petersburg, v. XII, 1888.
10. Cajander A.K. Studien uber die Vegetation des Urwaldes am Lena-Fluss // Acta Soc. Sci. Fennical. – Helsingfors. 1904. – Т. 32. – № 3.

УДК 502.7+581.5

**ПЛЮСОВЫЕ ДЕРЕВЬЯ QUERCUS ROBUR L.
В ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВАХ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ
И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЛЕСОСЕМЕННОЙ БАЗЫ
НА ГЕНЕТИКО-СЕЛЕКЦИОННОЙ ОСНОВЕ**

¹Любимов В.Б., ¹Мельников И.В., ¹Москаленко И.В., ¹Подлас С.В., ²Солдатова В.В.

¹ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»,
Брянск, e-mail: lubimov-v@mail.ru;

²Балашовский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет
им. Н.Г. Чернышевского», Балашов, e-mail: valeria.soldatova@yandex.ru

Наблюдения за естественным возобновлением дуба в Брянской и Саратовской областях, позволяют сделать заключение о том, что причиной ухудшения состояния дубовых лесов является, прежде всего, антропогенный прессинг, сопровождающийся уничтожением молодого, хозяйственно ценного семенного потомства. Повышение продуктивности дубовых лесов в регионе, прежде всего, зависит от наличия постоянной лесосеменной базы, созданной семенами (желудями), собранными с плюсовых деревьев, что является важнейшим условием для развития семеноводства, создания лесных культур, обладающих высокой продуктивностью. В работе приведены результаты поиска в лесных сообществах Брянской области плюсовых деревьев *Quercus robur* L. для развития семеноводства и селекции, создания высокопродуктивной лесосеменной базы на генетико-селекционной основе. Приведено описание найденных особей, которые характеризуются высокой продуктивностью, габитусом, желудями, отличающимися по массе, длине и диаметру от показателей, характерных для средне-статистических особей. Дан анализ экспериментальных исследований в Брянской и Саратовской областях по выращиванию посадочного материала *Q. robur* L. с использованием прогрессивных технологий, направленных на сокращение сроков содержания растений в питомниках.

Ключевые слова: продуктивность, устойчивость, популяция, дуб, желуди, размножение, плюсовые деревья

**PLUS TREES QUERCUS ROBUR L. IN FOREST COMMUNITIES BRYANSK
REGION AND THEIR USE FOR THE DEVELOPMENT SEED BASE
ON THE GENETIC BASIS OF SELECTION**

¹Lyubimov V.B., ¹Melnikov I.V., ¹Moskalenko I.V., ¹Podlas S.V., ²Soldatova V.V.

¹Bryansk State University behalf Academician I.G. Petrovsky,
Bryansk, e-mail: lubimov-v@mail.ru;

²Balashovsky Institute (branch) Saratov State University behalf N.G. Chernyshevsky,
Balashov, e-mail: valeria.soldatova@yandex.ru

Observation of the natural resumption of oak in Bryansk and Saratov region, allows to conclude that the cause of the deterioration of oak forests is primarily the anthropogenic pressure, accompanied by the destruction of young, commercially valuable seed progeny. Increasing the productivity of oak forests in the region primarily depends on the availability of permanent forest seed base created by the seeds (acorns) collected from plus trees, which is an essential condition for the development of seed production, establishment of forest crops with high productivity. The paper presents the search results in forest communities of the Bryansk region plus trees of *Quercus robur* L. for the development of seed industry and plant breeding, creation of highly productive forest seed base on genetic-selective basis. The description of the specimens found, which are characterized by high productivity, habitus, acorns differing in weight, length and diameter from those observed for average individuals. The analysis of experimental researches in Bryansk and Saratov region for the cultivation of the seedlings of *Q. robur* L. using progressive technologies aimed at reducing the time of maintenance of plants in nurseries.

Keywords: productivity, sustainability, population, oak, acorns, reproduction, plus trees

В нашей стране накоплен значительный объем исследований по вопросам семеноведения и семеноводства, размножению и выращиванию посадочного материала. Однако и сегодня актуальны исследования, направленные на разработку современных методов отбора и размножения ценных форм древесных пород на основе лесной генетики, селекции и элитного семеноводства, обеспечивающих повышение продуктивности создаваемых насаждений различного целевого назначения. Успех широкого

введения в культуру новых высоко-продуктивных форм деревьев и кустарников во многом зависит от уровня организации семенного дела, степени изученности вопросов, связанных с репродукцией растений, качества посевного и посадочного материала. Особый интерес представляют работы по изучению и внедрению прогрессивных технологий выращивания посадочного материала. Повышение эффективности и качества постоянной лесосеменной базы, путем активизации поиска и регистрации

плюсовых деревьев, использования для создания лесосеменных плантаций собранных с плюсовых деревьев семян является важнейшим условием для развития семеноводства, сохранения и восстановления продуктивности лесных экосистем на генетико-селекционной основе [3, 10].

Дуб черешчатый относится к роду дуб (*Quercus* L.) из сем. Буковых (Fagaceae Dum.). Латинское название его (*Quercus robur* L.) в переводе означает «красивое, крепкое дерево». В Древней Греции и Риме разные виды древесных растений посвящались божествам. Дуб как самое красивое и мощное дерево был удостоен особой почести и посвящен Юпитеру – верховному богу неба, громовержцу. Символом могущества и силы издавна считался дубовый венок, служивший наградой за героизм и отвагу в гражданских и военных подвигах. Дубу принадлежит особое место в жизни человеческого общества. Он защищал людей в непогоду, согревал зимой, давал строительный материал для жилья, крепостных частоколов, оружия, посуды, домашней утвари. У многих европейских народов с давних времен дуб считался священным деревом, символом непоколебимой силы. Не случайно древнеславянское слово «древо» означало «дуб», а группа племен, обитавших в дубовых лесах на территории современной Украины, Белоруссии и запада России, именовалась «древлянами» [2]. Поражают громадные размеры деревьев *Q. robur*, достигающих 40-метровой высоты и диаметра ствола более двух метров. Чрезвычайно высока способность дуба противостоять снегопадам и ветровалу. Стержневой корень уходит на глубину до десяти и более метров. Живет дуб до 1000, а отдельные особи и более 1000 лет. Например, в Литовском природном парке особь дуба «Стелмужский старик» имеет возраст по разным источникам до 2000 лет. По своей устойчивости к экологическим факторам в пределах ареала *Q. robur* L. превосходит все окружающие его виды высокоствольных древесных растений. В условиях достаточного увлажнения он характеризуется солеустойчивостью и долголетием, что очень важно в межвидовой конкуренции, а также мощностью развития корневой системы, что позволяет ему использовать влагу из глубоких слоев почвы и обеспечивать ею надземную часть. Перечисленные биологические и экологические особенности *Q. robur* L., сформировавшиеся в процессе эволюции вида, позволили занять ему до-

минирующее положение и стать эдификатором в биоценозах лесных экосистем. Высокую толерантность *Q. robur* L. к абиотическим факторам отмечали выдающиеся ученые России, такие как В.Н. Сукачев, В.В. Огиевский, А.А. Шахов, Е.С. Мигунова, И.А. Смирнов и др. [4, 6]. Чрезвычайно высокую устойчивость *Q. robur* L. к экстремальным температурам, атмосферной и почвенной засухе, напряженному ветровому режиму, засоленности почв мы наблюдали в течение двух десятилетий в пустыне полуострова Мангышлак [4].

В настоящее время часто поднимается вопрос о том, что состояние дубрав в России ухудшается. Одни исследователи причиной ухудшения состояния дубовых лесов считают изменение климата, ведущее к смене доминирующего в лесных экосистемах *Q. robur* L. сопутствующими породами, что бездоказательно, другие – антропогенный прессинг. Анализ накопленного фактического материала, а также многолетние экспериментальные исследования, проведенные нами в Северном Казахстане, на полуострове Мангышлак, в Саратовской и Липецкой областях, подтверждают высокую устойчивость *Q. robur* L. и перспективность широкого введения этого вида в культуру. Наблюдения за естественным возобновлением дуба в Брянской и Саратовской областях позволяют сделать заключение о том, что причиной ухудшения состояния дубовых лесов является, прежде всего, антропогенный прессинг, сопровождающийся уничтожением молодого, хозяйственно ценного семенного потомства. Как отмечают Ю.Ф. Арефьев и Е.В. Малюкова, семенные дубравы в отличие от порослевых дубрав характеризуются более высокой жизнеспособностью, продуктивностью и устойчивостью к вредным организмам [1]. Н.А. Харченко, А.А. Харченко и С.В. Калугина пишут, что порослевое возобновление дуба ведет к нарушению коэволюции дубрав [9]. Исследователи отмечают также то, что *Q. robur* L., возобновляясь порослевым методом, сохраняет изначальный уровень адаптации к окружающей среде многовековой давности, тогда как другие элементы дубравной экосистемы, всякий раз восстанавливаясь генеративным путем, соответствуют современному ее состоянию. Порослевой путь возобновления ведет к неизбежному снижению устойчивости дуба. Плюсовое дерево это наилучшее дерево, отбираемое для целей семеноводства и дальнейшей селекции по одному или комплексу хозяйственно ценных признаков.

Цель исследований – определение в лесных биоценозах территории Брянской и Саратовской областях плюсовых деревьев *Quercus robur* L. для развития семеноводства и создания высокопродуктивной лесосеменной базы на генетико-селекционной основе и разработка эффективных методов массового генеративного размножения высокопродуктивных форм с применением прогрессивных технологий, успешно апробированных в разных природных зонах.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований являются дубовые леса Брянской области, их состояние и методы, направленные на восстановление лесов, повышение продуктивности лесных культур. Обследование дубовых лесов с целью выявления особей генеративного происхождения, характеризующихся большим возрастом, высотой, прямостоятельностью, малой сбежестью ствола, мощностью кроны, устойчивостью к мучнистой росе, другими хозяйственно ценными признаками, то есть плюсовых деревьев, проводилось маршрутным методом. С плюсовых деревьев и среднестатистических особей отдельно для сравнительного статистического анализа собирались желуди. Методами математической статистики и компьютерных программ определялись средние арифметические значения массы, длины и диаметра желудей, ошибка среднего арифметического значения, дисперсия, показатель точности опыта, коэффициент варьирования и критерий Стьюдента. В результате оценивалась степень достоверности превышения средних арифметических значений, полученных для желудей, собранных с плюсовых деревьев, над показателями, характерными для желудей, собранных со среднестатистических особей [5]. Проводился многолетний эксперимент по выращиванию посадочного материала *Quercus robur* L. из желудей, собранных с плюсовых деревьев (опыт), и желудей, собранных со среднестатистических особей (контроль). Эксперимент позволяет выявить отличительные хозяйственно-ценные признаки, характерные для растений, выращиваемых из желудей, заготовленных с плюсовых деревьев, а также энергию роста, форму кроны, устойчивость к вредителям и болезням и разработать эффективные приемы генеративного размножения *Quercus robur* L. на основе применения прогрессивных технологий.

Результаты исследования и их обсуждение

В 2013 году в Навлинском районе (с. Глинное) Брянской области одной из особей *Q. robur* L. (дуб партизанской славы) был присвоен статус «Дерево – памятник живой природы». Исследования позволили также выдвинуть гипотезу о том, что эта особь отличается от среднестатистических особей этого вида в регионе и обладает рядом ценных признаков, в том числе габитусом, размерами желудей, устойчивостью к мучнистой росе и долголетием. Плюсовые деревья *Q. robur* L. были отобраны нами

также в Навлинском районе – на территории памятника природы «Болото Рыжуха», в Дятьковском районе (учебно-опытный участок ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», в районе ООПТ роща «Соловьи» (г. Брянск). Кроме того, в 2015 г. были отобраны два плюсовых дерева в Клинцовском районе – в с. Мизиричи, в 70 м от реки Ельни и на территории г. Клинцы (пересечение ул. Жукова и ул. Декабристов). Все отобранные особи в 2013 и 2015 гг. успешно плодоносили, что позволило получить желуди для изучения их морфологии и разработки прогрессивных технологий размножения и выращивания посадочного материала. В таблице отражена сравнительная характеристика желудей, собранных с плюсовых деревьев *Q. robur* L. и со среднестатистических особей этого вида.

Полученные параметры вполне заслуживают доверия на 95% доверительном уровне ввиду большой достоверности средних арифметических значений (критерий Стьюдента $t > 3$) и значений показателей точности опыта $P < 5\%$. Желуди, собранные с особи *Q. robur* L. в Брянской области, Навлинском районе (с. Глинное) «Дерево – Памятник живой природы», 2013 г., и особи, произрастающей в Навлинском районе – на территории памятника природы «Болото Рыжуха», а также на территории учебно-опытного участка (БГИТУ) (Дятьковский район), в районе ООПТ «Роща соловьи» (г. Брянск) и в Клинцовском районе (2015 г.) отличаются по массе и длине от желудей, которые собраны со среднестатистической особи в районе ООПТ «Роща соловьи». Плюсовые деревья значительно отличаются по высоте и диаметру ствола, кроны от среднестатистических особей в популяции. По данным В.Д. Новосельцева и В.В. Огиевского, средняя масса 1000 желудей для вида *Q. robur* L. составляет от 3000 до 4000 г, что значительно меньше массы желудей, собранных с плюсовых деревьев в Брянской, а ранее и в Саратовской области [7, 8]. Культуры дуба необходимо создавать преимущественно посевом желудей. При посеве желудей быстро развивается стержневой корень, обеспечивающий растение влагой. При выращивании дуба в засушливых условиях следует стремиться к раннему получению всходов, что может быть достигнуто ранним весенним посевом или посевом желудей осенью. Для весеннего посева желуди хранят в подвалах, траншеях или в снежных кучах. Норма высева желудей

Некоторые морфологические признаки, характерные для желудей, собранных с плюсовых деревьев и со среднестатистической особи в 2013 и 2015 гг.

| Показатели | $M \pm m$ | σ | C_v | P | t |
|---|-------------------|----------|-------|-------|--------|
| Плюсовое дерево <i>Q. robur</i> L. (Брянская обл., Навлинский р-он, с. Глинное, «Дерево – Памятник живой природы», 2013 г.) | | | | | |
| Масса 1 желудя, г | $7,10 \pm 0,15$ | 0,74 | 10,4 | 2,11 | 47,3 |
| Длина желудя, см | $2,87 \pm 0,03$ | 0,13 | 4,5 | 0,01 | 95,6 |
| Диаметр желудя, см | $1,93 \pm 0,0028$ | 0,07 | 3,6 | 0,001 | 69 |
| Плюсовое дерево <i>Q. robur</i> L. (Брянская обл., Навлинский р-он, памятник природы «Болото Рыжуха», 2013 г.) | | | | | |
| Масса 1 желудя, г | $5,1 \pm 0,17$ | 0,84 | 16,5 | 3,33 | 30 |
| Длина желудя, см | $3,2 \pm 0,038$ | 0,19 | 5,9 | 1,18 | 84 |
| Диаметр желудя, см | $1,5 \pm 0,018$ | 0,09 | 6 | 1,2 | 83 |
| Плюсовое дерево <i>Q. robur</i> L. (БГИТУ – учебно-опытный участок, 2013 г.) | | | | | |
| Масса 1 желудя, г | $7,2 \pm 0,22$ | 1,1 | 15,3 | 3,05 | 32 |
| Длина желудя, см | $3,2 \pm 0,034$ | 0,17 | 5,3 | 1,06 | 94 |
| Диаметр желудя, см | $1,8 \pm 0,022$ | 0,11 | 6,1 | 1,2 | 81 |
| Плюсовое дерево <i>Q. robur</i> L. – в районе ООПТ «Роща соловьи», 2013 г. | | | | | |
| Масса 1 желудя, г | $6,00 \pm 0,13$ | 0,64 | 10,6 | 2,13 | 47,2 |
| Длина желудя, см | $3,03 \pm 0,03$ | 0,15 | 4,9 | 1,4 | 101,0 |
| Диаметр желудя, см | $1,62 \pm 0,02$ | 0,11 | 7,17 | 1,4 | 69,7 |
| Плюсовое дерево <i>Q. robur</i> L. – в районе г. Клинцы ул. Жукова / ул. Декабристов, 2015 г. | | | | | |
| Масса 1 желудя, г | $6,08 \pm 0,186$ | 1,086 | 17,9 | 3,1 | 32,69 |
| Длина желудя, см | $3,29 \pm 0,031$ | 0,179 | 5,4 | 0,9 | 106,13 |
| Диаметр желудя, см | $1,77 \pm 0,028$ | 0,131 | 7,4 | 1,6 | 63,21 |
| Плюсовое дерево <i>Q. robur</i> L. в Клинцовском районе, с. Мизиричи в 70 м от реки Ельни, 2015 г. | | | | | |
| Масса 1 желудя, г | $5,3 \pm 0,18$ | 0,86 | 16,2 | 3,4 | 29,4 |
| Длина желудя, см | $3,19 \pm 0,05$ | 0,24 | 7,7 | 1,6 | 63,9 |
| Диаметр желудя, см | $1,74 \pm 0,03$ | 0,17 | 9,7 | 1,7 | 58 |
| Среднестатистическая особь <i>Q. robur</i> L. – в районе ООПТ роща «Соловьи», 2015 г. | | | | | |
| Масса 1 желудя, г | $3,6 \pm 0,13$ | 0,75 | 20 | 3,6 | 27 |
| Длина желудя, см | $2,5 \pm 0,03$ | 0,17 | 6,8 | 1,2 | 83 |
| Диаметр желудя, см | $1,52 \pm 0,02$ | 0,12 | 7,8 | 1,3 | 76 |

из расчета на один погонный метр составляет 125 г, глубина их заделки 5–7 см. При однострочном посеве желудей с шириной междурядья 0,75 м норма высева составляет 1667 кг/га. Здесь следует отметить, что при осеннем посеве всходы дуба появляются раньше и дружнее, растения крупнее, а корневая система глубже уходит в почву. Трудоемкость хранения желудей и большой процент их гибели вызвали необходимость проведения исследований по определению эффективности осеннего посева. Эксперимент нами был осуществлен в ряде регионов: Северный Казахстан, полуостров Мангышлак, Липецкая, Брянская и Саратовская области [3–8]. Анализ результатов показал, что посев желудей поздней осенью, перед морозами, по сравнению с весенним посевом экономичнее не только при выращивании посадочного материала в питомниках, но и при создании лесных культур.

Традиционно для создания лесных культур используются 2–3-летние сеянцы дуба. Однако корневые системы у посадочного материала при его выкопке из посевного отделения питомника повреждаются. Особенность дуба – медленное восстановление поврежденных корневых систем и практически отсутствие прироста в период их восстановления, что на лесокультурных площадях в год посадки сеянцев сопровождается зарастанием культур сорной растительностью, которая затеняет дубки, а, как известно, «дуб любит быть в шубе, но без шапки». Растения дуба в лесных культурах, создаваемых посевом желудей, растут значительно быстрее, уже в первый год после посадки. Для озеленительных целей посадочный материал содержится в питомниках в течение 8–12 лет. Растения высаживаются на постоянное место с хорошо сформированной корневой системой и кроной.

Следует отметить, что медленный рост растений является одной из важных причин, ограничивающих использование *Q. robur* L. и других видов и форм в озеленении и защитном лесоразведении. Второй причиной является медленное восстановление поврежденных при выкопке корневых систем, что в значительной степени также отрицательно влияет на интенсивность роста растений. В одновозрастных посадках в первые годы дуб с поврежденными корневыми системами отстает в росте от большинства других видов древесных растений. Молодые растения дуба затеняются особями других видов, обладающими более интенсивным ростом, что может вызвать существенное прекращение роста дуба и привести к снижению декоративного эффекта насаждений. Третья причина, ограничивающая использование дуба, это создание насаждений без учета биологической особенности дуба, развивающего мощные корневые системы и условий создания насаждений: мощности почв, их плодородия, глубины залегания материнских пород и грунтовых вод, что часто приводит к угнетению молодых растений и нередко к их гибели. Однако причины, ограничивающие возможность широкого введения представителей рода *Quercus* L. в культуру, вполне устранимы. Решается проблема за счет внедрения научно обоснованной технологии выращивания посадочного материала, в том числе и в контейнерных питомниках. Контейнеры для выращивания посадочного материала дуба должны быть значительно большего объема и высоты, по сравнению с контейнерами, рекомендованными для выращивания большинства других видов древесных и кустарниковых растений. В каждом конкретном случае при создании насаждений необходимо моделирование приемлемых условий для роста и развития растений.

Заключение

При устранении отрицательного антропогенного влияния на лесные экосистемы, активизации деятельности по содействию естественному семенному возобновлению, интенсификации создания культур дуба не посадкой семян, а посевом желудей, дубовые леса в России восстановят свою былую мощь. Следует интенсифицировать ра-

боту по отбору хозяйственно-ценных форм в природной флоре Брянской и Саратовской областей, форм, устойчивых к мучнистой росе и созданию семенных плантаций. В результате анализа экологического метода интродукции и размножения растений, основанном на моделировании оптимальных для роста и развития условий, определено, что большой эффект дает размножение дуба в двойных контейнерах с перфорацией внутреннего контейнера в закрытом грунте. Такой способ позволяет сократить на один год выращивание посадочного материала и значительно повысить приживаемость растений при создании лесных культур. При этом значительно сокращается объем трудоемких работ, повышается выход стандартного посадочного материала с единицы площади. Такие контейнерные питомники можно создавать на бросовых землях, сохраняя земельные ресурсы. Плюсовые особи *Q. robur* L. могут являться источником получения генетически ценного семенного материала (желудей) для создания лесосеменных плантаций и выращивания посадочного материала.

Список литературы

1. Арефьев Ю.Ф., Малоюкова Е.В. Имитационная модель жизнеспособности порослевых и семенных древостоев дуба черешчатого в байрачных лесах Среднего Подонья // Наука и образование на службе лесного комплекса (к 75-летию ВГЛТА): материалы международной научно-практической конференции. – Воронеж: ВГЛТА, 2005. – С. 34–37.
2. Бессчетнов П.П., Мальцев С.Н. Редкие и ценные деревья Казахстана. – Алма-Ата: Кайнар, 1981. – С. 128–136.
3. Ерусалимский В.И. Как сохранить дубравы // Лесное хозяйство. – 2000. – № 5. – С. 13–15.
4. Любимов В.Б. Опыт интродукции представителей рода дуб на полуострове Мангышлак. – М.: Наука, 1986. – С. 27–31.
5. Любимов В.Б., Балина К.В., Мельников И.В. Математические методы в экологии. – Брянск: БГУ, 2013. – 224 с.
6. Мигунова Е.С. Лесонасаждения на засоленных почвах. – М.: Лесная промышленность, 1978. – С. 12–143.
7. Новосельцев В.Д., Сеницын С.Г., Киселёв Г.М. Справочник лесничего. – М.: Лесная промышленность, 1980. – С. 55.
8. Огиевский В.В., Родин А.Р., Рубцов Н.И. Лесные культуры и мелиорация. – М.: Лесная промышленность, 1974. – С. 90.
9. Харченко Н.А., Харченко А.А., Кулагина С.В. Грибы – доминанты на различных этапах деградационного процесса в порослевых дубравах // Наука и образование на службе лесного комплекса (к 75-летию ВГЛТА): материалы международной научно-практической конференции. – Воронеж: ВГЛТА, 2005. – С. 211–215.
10. Яркин В.П. Долгосрочная программа создания постоянной лесосеменной базы на селекционной основе // Лесное хозяйство. – 1990. – № 11. – С. 34–36.

УДК 631.6(633.1;635-15)

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ И ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОДНОГО И ТЕПЛООВОГО РЕЖИМОВ

Поддубский А.А., Шуравилин А.В.

Российский университет дружбы народов, Москва,
e-mail: a.poddubsky@mail.ru, stanislavpiven@mail.ru

Изложены результаты исследований по обоснованию продуктивности сельскохозяйственных культур в Московской области биоклиматическим методом с использованием математической модели В.В. Шабанова. Относительная продуктивность определялась в зависимости от лимитирующих факторов – продуктивных запасов влаги в активном слое почвы и температуры воздуха. Было установлено, что для получения высокой относительной продуктивности яровой пшеницы оптимальный диапазон продуктивных влагозапасов в слое почвы 0,5 м должен находиться в пределах 53–89 мм, а температура воздуха – 16,5–21,6 °С. Для столовой свеклы эти показатели соответственно составляли 69–103 мм и 16,5–23,2 °С. При возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах вероятность проведения осушения низкая, а орошения – средняя. При выращивании яровой пшеницы вероятность проведения орошения составляет 19% и осушения 10%, а столовой свеклы соответственно 22 и 8%.

Ключевые слова: яровая пшеница, столовая свекла, Московская область, продуктивные влагозапасы, температура воздуха, относительная продуктивность, вероятность

THE PRODUCTIVITY OF CEREALS AND VEGETABLES IN THE MOSCOW REGION DEPENDING ON WATER AND HEAT REGIMES

Poddubskiy A.A., Shuravilin A.V.

People's Friendship University of Russia, Moscow,
e-mail: a.poddubsky@mail.ru, stanislavpiven@mail.ru

The results of researches on substantiation of crop productivity in the Moscow region bioclimatic method using the mathematical model V.V. Shabanova. Relative productivity was determined based on limiting factors-productive stocks in the active layer of moisture and soil temperature. It was found that for high relative spring wheat productivity productive was optimal range in the soil layer of 0,5 meters should be in the range 53–89 mm and the temperature air- 16,5–21,6 °C. To these figures were, respectively, beet 69–103 mm and 16,5–23,2 °C. The cultivation of crops on sod-podzolic soils low likelihood of drainage and irrigation average. When growing the likelihood of the spring wheat of 19% irrigation and drainage of 10%, and red beets, respectively 22 and 8%.

Keywords: spring wheat, beetroot, Moscow region, productive moisture reserves, air temperature, relative productivity, the probability

В Московской области основной культурой среди зерновых является яровая пшеница, а среди овощных культур видное место занимает столовая свекла. По этим культурам нами определялась относительная продуктивность в зависимости от продуктивных влагозапасов с использованием методики В.В. Шабанова [9].

Вегетационный период яровой пшеницы по средним многолетним данным продолжается с 1 мая по 20 августа или 112 дней, столовой свеклы с 11 мая по 10 сентября, что составляет 123 дня.

Основные показатели, характеризующие агроклиматические ресурсы вегетационного яровой пшеницы (табл. 1), проводились и по продуктивным влагозапасам и температуре воздуха.

Атмосферные осадки, температура воздуха и дефицит влажности воздуха для яровой пшеницы и столовой свеклы принимались в среднем по декадам вегетационного периода с 1966 по 2012 гг. (47 лет) по метео-

станции ВДНХ. Водопотребление этих культур определяли по сумме дефицитов влажности воздуха по формуле А.М. Алпатьева:

$$E = K \cdot \sum D,$$

где E – водопотребление яровой пшеницы по декадам вегетации, мм; K – биоклиматический коэффициент в среднем за вегетационный период яровой пшеницы, принятый равным 0,45 [2, 3]; $\sum D$ – сумма дефицитов влажности воздуха за каждую декаду, мб (средняя за 1966–2012 гг.).

Продуктивные влагозапасы в слое почвы 0–50 см на начало вегетации яровой пшеницы устанавливали с учетом высоты снежного покрова, продолжительности его таяния, а также продолжительности периода от завершения снеготаяния до начала посева, коэффициента насыщения почвой влагой перед посевом и справочных материалов [1, 4, 5, 7]. Эта величина по средне-многолетним данным составила 107 мм ($W_n = 107$ мм). Продуктивные влагозапасы

Таблица 1

Агроклиматические показатели вегетационного периода яровой пшеницы

| Показатели | Май | | | Июнь | | | Июль | | | Август | | Среднее или сумма |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | |
| Атмосферные осадки, мм | 13,04 | 16,90 | 21,40 | 23,80 | 26,31 | 24,46 | 29,73 | 28,69 | 28,63 | 21,51 | 28,06 | 262,51 |
| Температура воздуха, °С | 12,03 | 13,00 | 14,77 | 16,00 | 17,25 | 18,00 | 18,53 | 19,27 | 19,06 | 18,47 | 17,00 | 16,67 |
| Дефицит влажности воздуха, мб | 62,64 | 62,12 | 72,18 | 68,26 | 66,28 | 71,78 | 67,90 | 71,70 | 77,31 | 66,33 | 53,55 | 740,06 |
| Водопотребление, мм | 28,19 | 27,95 | 32,48 | 30,72 | 29,83 | 32,30 | 30,55 | 32,27 | 34,79 | 29,85 | 24,10 | 333,03 |
| Продуктивные влагозапасы, мм | 99,85 | 88,79 | 77,71 | 70,79 | 67,28 | 59,44 | 58,61 | 55,03 | 48,87 | 40,53 | 44,49 | 64,67 |

в слое почвы 0–50 см за каждую декаду вегетации определялись по уравнению водного баланса:

$$W_k = W_n + Oc - E, \quad (1)$$

где W_k – продуктивные запасы влаги на конец декады, мм; W_n – продуктивные запасы влаги на начало декады, мм; Oc – атмосферные осадки, выпавшие за декаду, мм; E – водопотребление яровой пшеницы за декаду, мм.

В расчетах поступление влаги в почву от грунтовых вод при глубоком их залегании принималось равным нулю. Требования растений яровой пшеницы устанавливались по водно-термическим условиям – почвенным влагозапасам и температуре воздуха. Необходимость регулирования почвенных влагозапасов описывается моделью В.В. Шабанова:

$$S_w = \left(\frac{W^*}{W_{opt}^*} \right)^{\gamma_w \cdot W_{opt}^*} \cdot \left(\frac{1 - W^*}{1 - W_{opt}^*} \right)^{\gamma_w \cdot (1 - W_{opt}^*)};$$

$$S_w = \frac{U}{U_{max}}, \quad (2)$$

где S_w – относительная продуктивность растений; U, U_{max} – соответственно фактическая и максимально возможная в конкретных условиях урожайность, ц/га;

$$W^* = \frac{W - W_{B3}}{W_{ПВ} - W_{B3}}, \Rightarrow W = W^* \cdot (W_{ПВ} - W_{B3}) + W_{B3}; \quad (3)$$

здесь W^* – относительные продуктивные влагозапасы почвы; W – фактические влагозапасы почвы, мм; $W_{ПВ}, W_{B3}$ – соответственно полная влагоемкость и влагоемкость, соответствующая влажности завядания растений, мм.

$$0 \leq W^* \leq 1;$$

W_{opt}^* – оптимальное значение относительных продуктивных влагозапасов почвы, при которых достигается максимальная урожайность; γ_w – параметр, учитывающий саморегуляцию растений к водному режиму почв.

Относительная продуктивность яровой пшеницы определялась в зависимости от почвенных влагозапасов в целом за вегетационный период. В расчетах использовались значения параметров $W_{opt}^* = 0,54 \cdot ПВ$; $\gamma_w = 5,6$ [8, 10];

$$W_{opt}^* = 0,54 \cdot ПВ = 0,54 \cdot 130 = 70,2 \text{ мм},$$

где ПВ – продуктивные запасы влаги при полной влагоемкости в слое почвы 0–50 см – 130 мм (для среднесуглинистых дерново-подзолистых почв).

По полученным расчетным путем данным устанавливаем зависимость относительной продуктивности яровой пшеницы от продуктивных влагозапасов в слое почвы 0–50 см. Требования яровой пшеницы к водному режиму приведены на рис. 1.

Функция продуктивности яровой пшеницы от продуктивных влагозапасов в слое почвы 0–50 см описывается куполообразной кривой. При уровне плановой продуктивности $S_{пл} = 0,8$ определяем пределы оптимального диапазона регулирования продуктивных влагозапасов, которые изменяются от 53 до 89 мм при оптимальном значении 70,2 мм. В критические периоды развитие яровой пшеницы (кущение, трубкование-колошение) продуктивные запасы влаги в почве в основном обеспечивали требования растений к водному режиму, за исключением фазы налива зерна, когда их содержание в третью декаду июля опустилось до 48,9 мм.

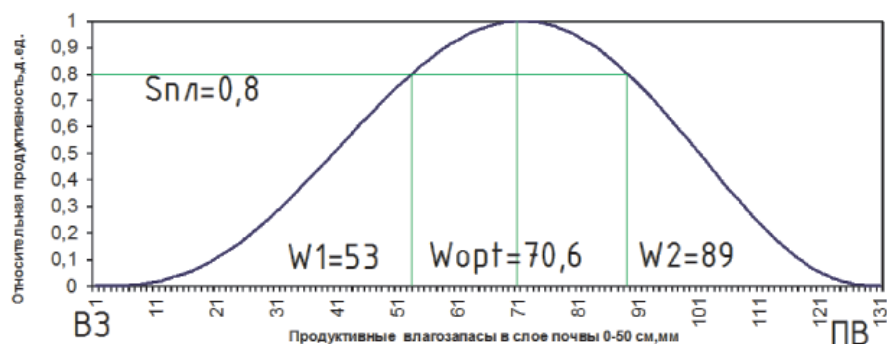


Рис. 1. Требования яровой пшеницы к водному режиму почвы в среднем за вегетационный период (слой почвы 0–50 см)

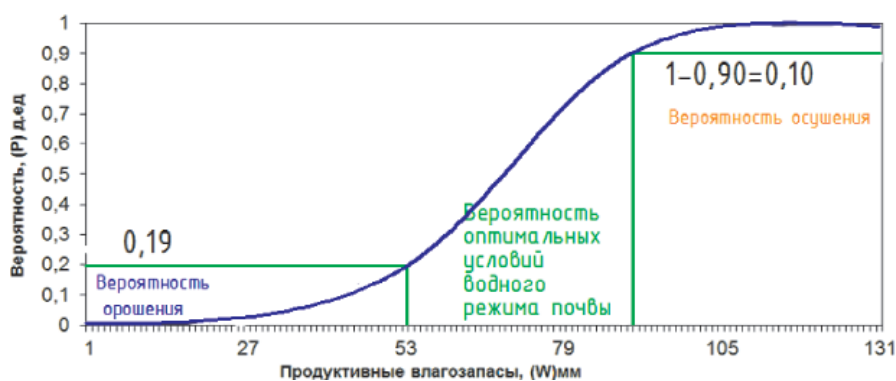


Рис. 2. Интегральная кривая изменения вероятности необходимости водной мелиорации в условиях Московской области при возделывании яровой пшеницы

Для установления вероятности необходимости проведения водных мелиораций строится интегральная кривая (рис. 2), представляющая собой функцию нормального распределения, по которой выделяются зоны орошения и осушения. При минимальном уровне оптимальных продуктивных влагозапасов для возделывания яровой пшеницы вероятность орошения составляет 0,19, а при максимальных значениях оптимального диапазона более 89 мм вероятность осушительных мелиораций дерново-подзолистых почв составляет 0,10 или 10%.

Наряду с водным режимом температурный режим является одним из основных факторов, влияющих на развитие растений. Поэтому нами проводится оценка требований растений к температурному режиму. Функция продуктивности растений картофеля от температуры воздуха имеет форму куполообразной кривой и может быть представлена уравнением вида

$$S_t = \left(\frac{\theta}{\theta_{opt}} \right)^{\gamma_i \cdot \theta_{opt}} \cdot \left(\frac{1 - \theta}{1 - \theta_{opt}} \right)^{\gamma_i \cdot (1 - \theta_{opt})};$$

$$S_t = \frac{U}{U_{max}}, \quad (4)$$

где S_t – относительная продуктивность; θ – относительная фактическая температура; γ_i – коэффициент саморегуляции растений к температурным условиям; t_{opt} – оптимальное значение относительной температуры, °C; θ – относительная температура

$$\theta = \frac{t - t_{min}}{t_{max} - t_{min}}, \Rightarrow t = \theta \times (t_{max} - t_{min}) + t_{min};$$

$$0 \leq \theta \leq 1;$$

$$t_{min} \leq t \leq t_{max};$$

$$\theta_{opt} = \frac{t_{opt} - t_{min}}{t_{max} - t_{min}}. \quad (5)$$

Функция относительной продуктивности (S_t) показывает, что при некоторых экстремальных температурных условиях (t_{min} , t_{max}) продуктивность растений равно нулю, так как становится слишком холодно, и биохимические процессы в растениях практически приостанавливаются, или слишком жарко, и, например, происходит разрыв сплошности потока воды в почве,

притекающей к растению, из-за увеличивающейся скорости транспирации, при ограниченной скорости передвижения влаги в почве. В диапазоне от минимальной температуры до ее оптимального значения продуктивность растений лимитируется недостатком тепла. В диапазоне температур от оптимального значения до максимального развитие растений ограничивается необходимостью траты большого количества энергии на охлаждение, при этом меньше энергии идет на увеличение продуктивности. При оптимальных температурах растение затрачивает минимум энергии на борьбу с неблагоприятными температурными условиями, что сопровождается достижением максимального урожая. Для построения зависимости средней продуктивности растений от температуры воздуха для яровой пшеницы принимались следующие значения параметров $t_{\min} = 9^{\circ}\text{C}$; $t_{\max} = 28^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{opt}} = 19,2^{\circ}\text{C}$; $\gamma_t = 0,40$. Функция продуктивности яровой пшеницы от температуры

воздуха описывается куполообразной кривой (рис. 3). Согласно этой зависимости диапазон оптимальной температуры воздуха при плановой продуктивности яровой пшеницы $S_{\text{пл}} = 0,8$ находится в пределах $16,5\text{--}21,6^{\circ}\text{C}$ при оптимальном значении температуры $19,2^{\circ}\text{C}$. Полученные данные температурного режима следует учитывать при обосновании относительной продуктивности яровой пшеницы в среднем за вегетационный период.

В качестве овощной культуры использована столовая свекла. Она наиболее требовательна к водному, питательному режимам и к почвам. Корневая система столовой свеклы в основном сосредоточена в пахотном и частично в подпахотном слоях почвы, проникая вглубь и в стороны.

Оценка агроклиматических условий вегетационного периода столовой свеклы (табл. 2) осуществлялась по продуктивным запасам влаги в слое почвы 0,5 м и температуре воздуха.

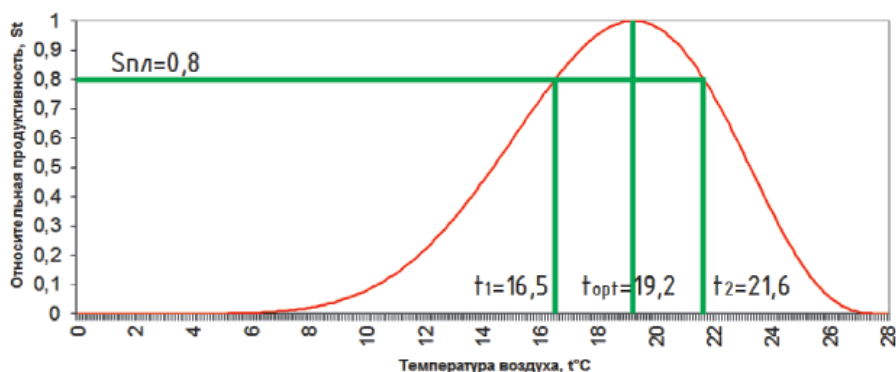


Рис. 3. Требования яровой пшеницы к температуре воздуха за вегетационный период

Таблица 2

Основные агроклиматические ресурсы вегетационного периода столовой свеклы

| Показатели | Май | | Июнь | | | Июль | | | Август | | | Сентябрь |
|-------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|----------|
| | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 |
| Атмосферные осадки, мм | 16,90 | 21,40 | 23,80 | 26,31 | 24,46 | 29,73 | 28,69 | 28,63 | 21,51 | 28,06 | 29,53 | 24,36 |
| Температура воздуха, °C | 13,00 | 14,77 | 16,00 | 17,25 | 18,00 | 18,53 | 19,27 | 19,06 | 18,47 | 17,00 | 15,31 | 13,32 |
| Дефицит влажности воздуха, мб | 62,12 | 72,18 | 68,26 | 66,28 | 71,78 | 67,90 | 71,70 | 77,31 | 66,33 | 53,55 | 49,59 | 37,69 |
| Водопотребление, мм | 27,95 | 32,48 | 30,72 | 29,83 | 32,30 | 30,55 | 32,27 | 34,79 | 29,85 | 24,10 | 22,32 | 16,96 |
| Продуктивные влагозапасы, мм | 103,94 | 92,86 | 85,95 | 82,43 | 74,59 | 73,76 | 70,18 | 64,03 | 55,68 | 59,64 | 66,86 | 74,26 |

Продуктивные влагозапасы в слое почвы 0–50 см на начало вегетации столовой свеклы по среднемноголетним данным равнялись 115 мм, $W_n = 115$ [4, 5, 9]. За каждую декаду вегетации они определялись по уравнению водного баланса, как и для яровой пшеницы. Относительная продуктивность столовой свеклы по декадам вегетации определялась по модели В.В. Шабанова (формулы (2), (3)). В расчетах использовались параметры: $W_{opt}^* = 0,67 \cdot ПВ$; $\gamma_w = 5,3$, где W_{opt}^* – оптимальное значение относительных продуктивных влагозапасов почвы, при которых достигается максимальная урожайность; γ_w – параметр, учитывающий саморегуляцию растений к водному режиму почв.

$$W_{opt}^* = 0,67 \cdot ПВ = 0,67 \cdot 130 = 87,1 \text{ мм},$$

где ПВ – продуктивные запасы влаги при полной влагоемкости в слое почвы 0–50 см – 130 мм. По полученным расчетным данным определена зависимость относительной продуктивности столовой свеклы от продуктивных влагозапасов в слое

почвы 0–50 см (рис. 4). При уровне плановой продуктивности $S_{пл} = 0,8$ были определены пределы оптимального диапазона регулирования продуктивных влагозапасов, которые изменяются от 69 до 103 мм при оптимальном значении 87,1 мм. Требования столовой свеклы к водному режиму заметно изменяются по фазам развития.

Так, для прорастания семян требуется 70 % влаги от ее массы. В повышенной влажности почвы столовая свекла нуждается после появления всходов. Наиболее требовательна к водному режиму столовая свекла со второй декады июня (фаза третий лист) и до пучковой спелости до первой декады августа. При этом критическим периодом столовой свеклы к влажности почвы являются утолщение корня и пучковая спелость. Естественное увлажнение в этот период недостаточно, и дополнительное увлажнение требуется с третьей декады июля до конца августа. Вероятность необходимости водных мелиораций наглядно просматривается по интегральной кривой (рис. 5), которая

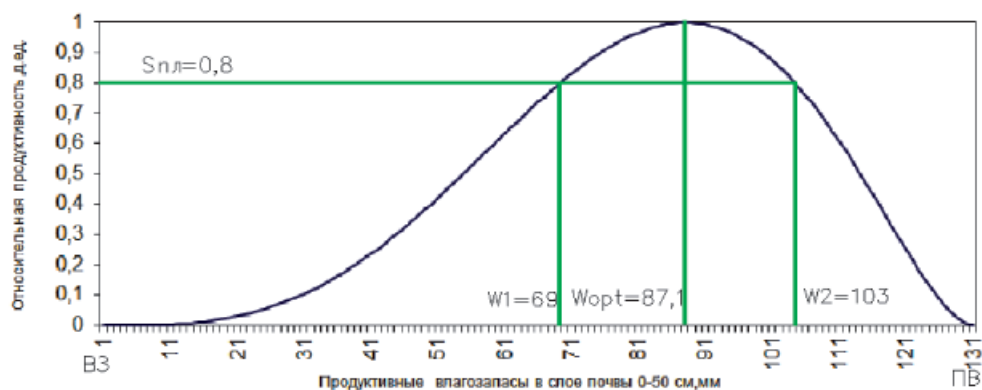


Рис. 4. Требования столовой свеклы к водному режиму почвы в среднем за вегетационный период (слой почвы 0–50 см)

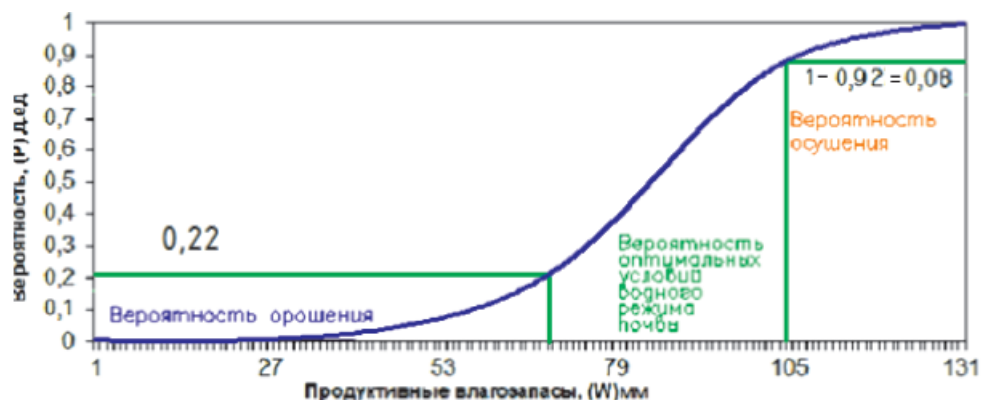


Рис. 5. Интегральная кривая изменения вероятности необходимости водной мелиорации в условиях Московской области при выращивании столовой свеклы

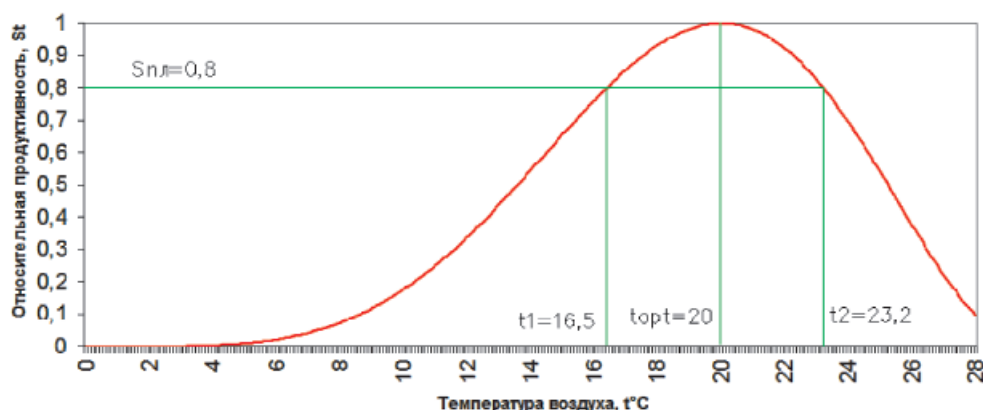


Рис. 6. Требования столовой свеклы к температуре воздуха за вегетационный период

представляет собой функцию нормального распределения. При минимальном уровне оптимальных продуктивных влагозапасов для возделывания столовой свеклы (69 мм) и плановой продуктивности 0,8 вероятность орошения составляет 0,22, а при максимальных значениях оптимального диапазона более 103 мм вероятность осушительных мелиораций дерново-подзолистых почв составляет 0,08 или 8%.

Требования растений столовой свеклы к температурному режиму определялись аналогично яровой пшенице. Для установления требований зависимости средней продуктивности растений от температуры воздуха для столовой свеклы принимались следующие значения параметров $t_{\min} = 16,5^\circ\text{C}$; $t_{\max} = 20^\circ\text{C}$; $t_{\text{opt}} = 23,2^\circ\text{C}$; $\gamma_t = 0,25$ [10]. Относительная продуктивность столовой свеклы определялась по формуле (4), а значения относительных температур воздуха переводили в абсолютные величины по формуле (5).

Функция продуктивности столовой свеклы от температуры воздуха описывается кривой (рис. 6). При плановой относительной продуктивности столовой свеклы $S_{\text{пл}} = 0,8$ диапазон оптимальной температуры воздуха лежит в пределах от 16,5 до 23,2°C. Выявленный температурный режим столовой свеклы необходимо предусматривать при планировании относительной продуктивности столовой свеклы в течение вегетационного периода.

Таким образом, для получения высокой относительной продуктивности яровой пшеницы оптимальный диапазон продуктивных влагозапасов в слое почвы 0,5 м должен составлять от 53 до 89 мм. Вероятность потребности в орошении яровой пшеницы составляет 19%, а осушении – 10. Температурный режим воздуха в среднем за

вегетационный период следует поддерживать в пределах 16,5–21,6°C.

Для получения относительной продуктивности столовой свеклы на уровне не ниже 0,8 от максимальной оптимальный диапазон продуктивных влагозапасов должен находиться в пределах от 69 до 103 мм. При этом вероятность потребности в орошении столовой свеклы составляет 22%, а в осушении 8%. В целях получения высокой продуктивности температура воздуха в вегетационный период столовой свеклы должна находиться в пределах 16,5–23,2°C.

Список литературы

1. Агроклиматический справочник по Московской области. – Л.: Гидрометеиздат, 1964.
2. Алпатов А.М. Влагооборот культурных растений. – Л.: Гидрометеиздат, 1954.
3. Алпатов А.М. Влагообороты в природе и их преобразование. Тираж 2350 экз. – Л.: Гидрометеиздат 1969. – 324 с.
4. Варчева С.Е. Метод расчета динамики влагозапасов почвы для системы круглогодичного агрометеорологического мониторинга // Известия Самарского научного центра РАН. – 2009. – Т. 11. – № 1 (7). – С. 1642–1648.
5. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Вып. 08. Москва и Московская область. – Л.: Гидрометеиздат. 1990. – 256 с.
6. Поддубский А.А. Оценка природной влагообеспеченности Московской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2015. – № 2. – С. 45–50.
7. Поддубский А.А., Шуравилин А.В. Прогноз урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от природной влагообеспеченности в условиях Московской области. – Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2015. – № 2 (23). – С. 15–17.
8. Поддубский А.А., Шуравилин А.В. Оценка естественной влагообеспеченности Московской области и ее учет при землеустройстве мелиоративно неблагоприятных земель // Науки о земле. – 2015. – № 2. – С. 100–113.
9. Шабанов В.В. Биоклиматическое обоснование мелиораций. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 292 с.
10. Шабанов В.В., Орлов И.С., Оценка природно-хозяйственного риска в условиях изменения климата (на примере сельскохозяйственной деятельности): учебное пособие. – М., 2003.

УДК 582.47: 630*232.1: 630*165: 630*5 (470.53)

СТАРАЯ И НОВАЯ ПАРАДИГМЫ В ЛЕСОВОДСТВЕ И ЛЕСНОЙ СЕЛЕКЦИИ

Рогозин М.В.

Естественнонаучный институт ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, e-mail: rog-mikhail@yandex.ru

Исследования проведены в Пермском крае. Использованы 349 площадей таксации и испытания семей 1435 деревьев сосны и ели до возраста 23 лет, с измерениями 80 тыс. растений. Новая парадигма лесоводства основывается на двух новых законах развития лесных насаждений: закона роста деревьев в молодняках Е.Л. Маслакова и общего закона развития одноярусных древостоев Г.С. Разина. Они имеют математико-статистическое обоснование и множество следствий в практическом плане. Обнаружены константы массы хвои и объема кроны древостоя, а его развитие предложено разделить на фазу прогресса и фазу регресса. Для них нужны разные принципы рубок ухода: активный принцип для фазы прогресса и пассивный – для фазы регресса. Меняется парадигма лесной селекции, в которой отбор плюс-деревьев осуществляют точно в таких же условиях, в каких будут выращивать дочерние насаждения, а тип роста потомства определяют по началу тренда его развития в 10–20 лет, при этом условия развития программируют по начальной густоте в тест-культурах. Далее густоту корректируют в соответствии с развивающимся типом роста. Некоторые положения новой парадигмы не бесспорны и должны уточняться для других пород. Появились и новые рабочие гипотезы: о правых и левых изомерах у деревьев внутри популяций, о биогруппах и геоактивных зонах, о физиологии хвои и химических маркерах быстрого роста. Они характеризуют потенциал и эвристичность новой парадигмы.

Ключевые слова: лесоводство, лесные культуры, лесная селекция, типы роста, моделирование, развитие древостоев

OLD AND THE NEW PARADIGM THE FORESTRY AND FOREST BREEDING

Rogozin M.V.

*Natural Sciences Institute Perm State National Research University,
Perm, e-mail: rog-mikhail@yandex.ru*

Studies conducted in the Perm region. Used 349 space inventory and testing of families in 1435 pine trees and ate until the age of 23 years, with measurements of 80 thousand plants. The new forestry paradigm based on two new laws forest plantations development: the growth of trees in young stands law by E.L. Maslakov and the general law of the development of single storey stands by G.S. Razin. They are mathematical and statistical reasoning and set of consequences in practical terms. Needles were found constant weight and volume of the stand crowns, and its development is proposed to be divided into the phase of progress and regression phase. They need different principles thinning: an active principle for the progress of phase and passive – for the regression phase. It is changing the paradigm of forest selection, in which the selection of plus trees is carried out in exactly the same conditions in which the child will grow crops and progeny growth type is determined by the beginning of the trend of its development in 10–20 years, with the development of the conditions programmed by the initial density in test cultures. Then adjust the density according to the type of growth to developing. Some provisions of the new paradigm are not indisputable and must be specified for other breeds. There were also new working hypotheses: on the right and left isomers of trees within populations of biogroups and geo-active zones of needles physiology and chemical markers of rapid growth. They characterize the potential and the heuristic of a new paradigm.

Keywords: forestry, forest plantations, forest breeding, growth types, modeling, development of stands

Развитие науки происходит по своим законам и появляется новая парадигма, т.е. некоторое сочетание новых закономерностей, теорий, подходов и методов решения научных и практических задач. В недрах традиционного лесоводства ныне появились отличные от него плантационное, пригородное, хронолесоводство и даже нетрадиционное лесоводство. То есть вполне в духе Т. Куна [2] в лесоводстве начался кризис – появились альтернативные теории и противоборствующие научные школы. Причины их появления мы рассмотрели в ряде наших работ, и данная статья представляет собой их краткий анализ.

Целью данной работы является сжатое изложение основных положений новой парадигмы на примере сосны обыкновенной и ели финской.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования были результаты наших работ [7–11], и в статье проведен их интегральный обзор. В них за период в 35 лет изучался ход роста ели на 349 пробных площадях таксации, а также подводились итоги испытаний семей 1435 деревьев сосны и ели в возрасте потомства 23 лет. Всего было заложено 17 опытов по испытаниям потомства на площади 33 га, с измерениями 80 тыс. растений [7, с. 11]. Результаты обобщены в монографиях [8, 9] и в статье [10], где мы проанализировали новые модели хода роста древостоев, тенденции искусственного

и естественного отбора в их потомствах, а также десятки диссертаций и крупных работ отечественных таксаторов, лесоводов и селекционеров. Методом исследования является логический анализ некоторых из этих работ и итогов собственных исследований.

Результаты исследования и их обсуждение

Зарождение новой парадигмы можно отнести в 1970-е годы, когда в моделировании хода роста в качестве нового фактора начали использовать начальную густоту [5]. При старом подходе учитывали только условия местопрорастания, причем их идентичность проверяли по модельным деревьям и их рост соотносили со шкалой классов бонитета, и именно по ней составлялось множество таблиц. Эти таблицы сыграли выдающуюся роль в выяснении характеристик максимально продуктивных древостоев в разных регионах. Однако таблицы хода роста не давали ответа на вопрос, из каких начальных состояний формируются такие полные (нормальные) древостои. По существу, в них моделировали состояния древостоев в статике, выхваченные из биологического времени, и драма развития реальных древостоев оставалась неизученной. Мы написали ряд критических статей, вызвали дискуссию на эту тему и ответили на замечания оппонентов, которые приведены в монографии [9].

Отметим, что речь идет о развитии самых простых лесных экосистем, а именно насаждений и древостоев из одной породы, одновозрастных и одноярусных. К настоящему времени известны три закона, описывающие их развитие: ранговый закон роста деревьев в молодняках Е.Л. Маслакова [3], закон морфогенеза простых древостоев Г.С. Разина [5] и общий закон развития одноярусных древостоев, также разработанный Г.С. Разиным [9, 10]. При этом последний закон включает в себя предыдущий, и поэтому законов остается всего два. Поразительна их судьба. За истекшие 35 лет они так и не вошли в учебники, и причины такого небрежения глубоко символичны. Во-первых, были просто поражены, когда выяснили, что даже крупные ученые иногда не знают (или не учитывают) достижения других ученых в близких науках. Во-вторых, и это главное, новые законы буквально выбивают почву из-под ног у адептов «коммерческих» рубок ухода, лишая их постулата о том, что увеличение площади питания дерева *должно приводить* к увеличению его прироста в *любом* возрасте. Это оказалось не так [9], и постулат не был

верифицирован в средневозрастных древостоях, где проводили и проводят столь прибыльные прореживания и проходные рубки. Об этом С.Н. Сеннов осторожно упоминал еще в 1980-е годы [12], а далее подтвердил еще раз невозможность повышения прироста у древостоев рубками ухода (прореживаниями и проходными рубками) спустя 60 лет [13].

Из общего закона развития одноярусных древостоев Г.С. Разина [9] следует, что древостой лишь один раз достигает максимума ежегодной производительности, измеряемой текущим приростом. Это известно, в общем, давно, и в типичных условиях у хвойных пород максимум прироста наступает в среднем в 40–45 лет. Но именно Г.С. Разин впервые на моделях развития еловых древостоев доказал, что максимум этот подвижен: в изначально густых ельниках он наступает уже в 25 лет, тогда как в редких он отодвинут к 40 годам.

Кроме того, за истекшие 35 лет лесоводы, почти не используя законы Е.Л. Маслакова и Г.С. Разина, не обнаружили в насаждениях и проявление более общих законов экологии: закона популяционного максимума Ю. Одума, теорию лимитов популяционной численности Х. Андресварты – Л. Бирча и теорию биоценотической регуляции численности популяции К. Фридрихса, описание которых приводит Н.Ф. Реймерс [6]. По-видимому, дело было в том, что таксаторы моделировали рост древостоя, опираясь на данные модельных деревьев. Однако у древостоя, как у целого, есть свойства и показатели, которых нет у его частей-деревьев. Это биомасса листьев и объем кроны на единице территории, их сомкнутость и, как результат их работы, текущий прирост древесины. Если оценивать развитие любого сообщества, в том числе и фитоценоза, то в нем выделяется восходящая линия (увеличение прироста, прогресс) и нисходящий тренд (падение прироста, регресс).

Наличие фазы прогресса и регресса влечет за собой совершенно разные подходы к управлению развитием древостоя: активное вмешательство в фазе прогресса и пассивное – в фазе регресса. Отсюда и принципиальное отличие для рубок ухода: их высокая интенсивность в молодняках и низкая, с уборкой только отставших в росте деревьев, в среднем и старшем возрасте. Казалось бы, все просто и ясно, однако Правила ухода за лесом [4] никак их не выделяют – там вообще нет понятий прогресса и регресса, и рубки ухода начинают при полноте

0,8 и более и заканчивают за один класс до возраста спелости. Этот рецепт приводит к тому, что после прореживаний и прокладки технологических коридоров, шириной 5 м и занимающих до 15% общей площади, нарушается ветровая устойчивость ценоза, и через 10–15 лет он вырубается санитарными рубками целиком. Поэтому и проверить (верифицировать) эти Правила никак не получалось. По-видимому, неслучайно и новые Правила ухода за лесом никак не удается разработать, а их последний вариант [4] фактически повторяет идеи и параметры таких рубок по правилам еще 1980-х годов.

Отметим, что в наших моделях развития еловых древостоев были найдены важные биологические константы – суммарный объем крон в возрасте 45–110 лет в редких по начальной густоте моделях. На основе этих моделей как раз и был открыт общий закон развития одноярусных древостоев Г.С. Разина, из которого вытекает множество следствий, в том числе новые принципы выращивания леса, включающие применение достаточно универсальной формулы оптимальной густоты [9, с. 211].

Положения законов Е.Л. Маслакова [3] и Г.С. Разина [9, 10] отражены в пунктах 4

и 8–13 в табл. 1, в которую мы свели основные отличия новой парадигмы (табл. 1).

Следствия из этих законов меняют и парадигму лесной селекции, для которой мы составили отдельную сравнительную таблицу (табл. 2).

Предложенный выше перечень новых утверждений меняет методические аспекты решения множества научных задач. Отметим главное. Если обнаружены константы и предельные показатели в развитии древостоев (суммарный объем крон, масса хвои), то моделирование их развития находит свою точку отсчета, свой «опорный экспериментальный факт» [1, с. 4], и лесоводство становится точной наукой, где текущее состояние ценоза можно оценивать с помощью аналоговых моделей и рассчитывать оптимальную траекторию их развития с помощью формулы оптимальной текущей густоты. Некоторые утверждения (пункты 8, 9) должны уточняться для других пород. Появились и новые гипотезы: о правых и левых изомерах деревьев с противоположной адаптацией к конкуренции, о деревьях-лидерах, биогруппах и геоактивных зонах, о различиях в концентрациях химических элементов в хвое, маркирующих скорость роста дерева.

Таблица 1

Основные утверждения новой и старой парадигмы лесоводства о развитии одноярусных простых древостоев в одинаковых и оптимальных условиях

| № п/п | Старая парадигма | Новая парадигма |
|-------|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 1. | Естественное изреживание (регуляция густоты) закономерное и своевременное | Естественное изреживание запаздывает и древостой теряет производительность |
| 2. | Высота древостоев мало зависит от их густоты. Ход роста (развитие) древостоя зависит от класса бонитета | Высота и развитие древостоев зависит от их начальной густоты, и менее густые ценозы с возрастом становятся более высокими |
| 3. | Класс бонитета у древостоя постоянен и с возрастом меняется незначительно | Класс бонитета с возрастом меняется у большинства древостоев |
| 4. | Дифференциация деревьев проявляется в полной мере в возрасте 30–40 лет | Деревья-лидеры проявляют себя уже в возрасте 8–10 лет |
| 5. | В структуре древостоя имеет место случайное размещение деревьев, но с возрастом оно стремится к равномерному | Структура древостоя включает в себя биогруппы, и в них растет 28–57% деревьев. Они являются атрибутом древостоя |
| 6. | В биогруппах растения мешают друг другу и они подлежат разреживанию | Деревья-лидеры и биогруппы растут на геоактивных зонах и являются центрами, где накапливается запас древостоя. Их оставляют при разреживаниях |
| 7. | Уход за густотой следует начинать в жердняках, в возрасте 21–40 лет | Уход за густотой следует начинать до смыкания крон не позднее возраста 13 лет |
| 8. | Максимум массы хвои наблюдается в среднем и старшем возрасте при оптимальной густоте | Есть константы и максимумы для массы хвои и объема крон. В ельниках при их развитии от начальной густоты 1,0–1,65 тыс. шт./га константы достигаются в возрасте 45 лет |

Окончание табл. 1

| 1 | 2 | 3 |
|-----|--|--|
| 9. | Максимум текущего прироста древесины в ельниках приходится в среднем на возраст 40–45 лет | Максимум текущего прироста в ельниках наблюдается при их развитии от минимальной густоты и приходится на 40 лет, а в изначально густых – на 25 лет, где он ниже в 2 раза |
| 10. | Тип <i>хода роста</i> древостоя определяет класс бонитета, географическое и ландшафтное положение, а также тип леса | Тип <i>развития</i> древостоя определяет возраст, в котором достигается предел (максимум) сомкнутости крон и полога |
| 11. | В развитии древостоя выделяют молодняки, средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные насаждения | Развитие древостоя делят на фазы прогресса и регресса (периоды до и после максимума прироста) |
| 12. | Регуляцию густоты проводят вплоть до приспевающего возраста | Регуляцию густоты проводят только в фазе прогресса |
| 13. | Регрессом считается распад и усыхание древостоя, а также возраст, когда объем отпада становится больше текущего прироста | Регресс начинается уже в среднем возрасте и длится десятилетия; в нем проводят пассивные рубки отставших в росте деревьев |

Таблица 2

Некоторые положения новой и старой парадигмы лесной селекции в России при выведении целевых сортов для плантационного выращивания

| № п/п | Старая парадигма | Новая парадигма |
|-------|--|---|
| 1. | Не все потомства наследуют скорость роста своих родителей; коэффициент наследуемости зависит от превышения плюс-деревя над среднепопуляционной высотой и диаметром деревьев | Связь между размерами родителей и их потомствами слабая и криволинейная. Потомство крупных деревьев оказывается таким же, как и средних родителей; только у отстающих деревьев потомство оказывается растущим достоверно хуже |
| 2. | Коэффициент наследуемости скорости роста зависит от множества причин и служит лишь неким ориентиром для выбора системы селекции. При малых значениях наследуемости массовый отбор неэффективен | Коэффициент наследуемости <i>эпигенетичен</i> и зависит от истории густоты в материнской популяции, с одной стороны, и густоты в дочерних культурах, с другой; потомство густых ценозов растет лучше в густых, а потомство редких – в редких тест-культурах |
| 3. | Отбор плюсовых деревьев проводят в насаждениях высших классов бонитета | Отбор плюсовых деревьев осуществляют в насаждениях-аналогах плантационных культур, т.е. точно в таких же условиях, в каких будут выращивать дочерние насаждения |
| 4. | Тип роста потомства имеет, вероятно, генетические причины и его можно определить только при достижении потомством возраста рубки, поэтому желательно выращивать тест-культуры как можно дольше | Тип роста потомства определяют лесорастительные и конкурентные условия в тест-культурах. Тип роста определяют для каждого потомства индивидуально по началу тренда его развития в возрасте 10–20 лет, а густоту в модели развития задают изначально |
| 5. | Испытания потомства закладывают в разных условиях тремя урожаями семян. Оценивают запас древесины в возрасте не менее 1/2 возраста рубки, т.е. в 30–35 лет | Испытания проводят в 3–4 этапа. Первые тест-культуры измеряют в 4–8 лет, далее сокращают число вариантов и закладывают вторые испытания, далее третьи и т.д. |
| 6. | Концентрации химических элементов у разных популяций, у быстро- и медленно растущих потомств не изучались | Популяции и их потомства имеют различия в физиологии, что приводит к разным концентрациям химических элементов в их хвое, и они могут быть маркерами роста |
| 7. | Оценивают гетерозиготность и составляют генетический паспорт клоновой семенной плантации | Оценивают устойчивость роста потомств в густых и редких тест-культурах и составляют «химический» портрет лучших семей |
| 8. | Левые и правые изомеры у деревьев в популяциях были известны в 1980 г., но их использование в лесном деле не рассматривалось | При отборе плюс-деревьев для выращивания их потомства в сухих или влажных условиях учитывают изомеры деревьев: правые и левые формы и не допускают снижения частоты любой из них ниже 38% (соблюдение правила Золотой пропорции) |

Развитие простых древостоев на не покрытых лесом территориях начинается с появления самосева. Различия в начальной густоте, например, на гари или старой пашне бывают просто огромны – от нескольких сотен деревьев на 1 га и до десятков тысяч. К спелости их остается не более 500–700 шт./га. Тысячи деревьев погибают при самоизреживании. Напротив, динамика и структура девственных лесов совершенно другая. Они не стареют и не молодеют; это самая разнообразная мозаика площадей и куртин подроста, деревьев среднего и спелого возраста. Таким лесам человек не нужен. Проблемы в них начинаются в результате их трансформации после рубок, пожаров, сведения лесов и вновь их появления на старых пашнях, сенокосах и пастбищах. Структура таких одновозрастных лесов упрощена, начальная густота их бывает как низкой, так и очень высокой, часто они нуждаются в разреживаниях с самого раннего возраста. И таких лесов много. Сейчас всего лишь 3% лесов в европейской части России сохранились в девственном состоянии.

Старая парадигма во многом была основана на изучении опытов по выращиванию и уходу за лесом именно в простых одноярусных древостоях. В самом деле, необходимо вначале понять простую модель, а затем уже приниматься за более сложные модели лесных экосистем. Однако этого не происходит; современные аэрокосмические методы таксации стремительно развиваются, и возникает, как нам кажется, некое иное понимание развития лесных экосистем, под которым понимают, например, мониторинг их структуры и площадей, т.е. их динамику во времени. Но для моделирования развития насаждений нужно охватить весь период их жизни, и даже 30 лет с промежуточными наблюдениями будет недостаточно.

Вместе с тем аэрокосмические методы позволили бы верифицировать идеи и теории старой парадигмы, например через мониторинг последствий прореживаний и проходных рубок, и проверить давно декларируемый для таких рубок ухода постулат (увеличение площади питания у деревьев должно приводить к увеличению их прироста и прироста всего древостоя). Вопрос только в том и состоит, захотят ли сторонники коммерческих рубок ухода проверить эти давние теории. Мы сильно сомневаемся в их желании. Безусловно, новая парадигма будет востребована, когда изменится лесная политика и ее сильнейший крен в сторону экстенсивного использования лесов как источника древесины будет сбалансирован увеличением затрат на их восстановление продуктивными и ценными

породами. Нужна национальная программа повышения продуктивности лесов России, в которой новые знания о развитии лесных экосистем получат свое воплощение и развитие.

Заключение

Новая парадигма лесоводства основывается на двух новых законах развития лесных насаждений: закона роста деревьев в молодняках Е.Л. Маслакова и общего закона развития одноярусных древостоев Г.С. Разина. Эти законы имеют математико-статистическое обоснование и множество следствий в практическом плане. Меняется методика моделирования хода роста и принципы рубок ухода: активный принцип для фазы прогресса и пассивный – для фазы регресса в развитии древостоя. Меняется и парадигма лесной селекции при выведении целевых сортов для плантационного выращивания. Положения новой парадигмы получены на основе изучения древостоев и потомства сосны и ели, и необходима их проверка на других породах.

Работа выполнена при финансовой поддержке задания 2014/153 государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части госзадания Минобрнауки России (проект 144.№ гос. рег. 01201461915).

Список литературы

1. Кофман Г. Б. Рост и форма деревьев. – Новосибирск: Наука, 1986. – 211 с.
2. Кун Т. Структура научных революций. – М.: АСТ, 2009. – 320 с.
3. Маслаков Е.А. Эколого-ценотические факторы возобновления и формирования (организации) насаждений сосны: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Свердловск, 1981. – 50 с.
4. Правила ухода за лесом. – М.: МПР РФ, 2007. – 89 с.
5. Разин Г.С. Способ формирования одноярусных древостоев. Описание изобретения к а.с. SU 1464970 А1.15.03.1989 // Бюлл. Госкомизобретений СССР. – 1989. – № 10. – С. 29.
6. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Россия молодая, 1994. – 367 с.
7. Рогозин М.В. Изменение параметров ценопопуляций *Pinus sylvestris* L. и *Picea fennica* (Regel) Kom. в онтогенезе при искусственном и естественном отборе: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Пермь: ПГНИУ, 2013. – 47 с.
8. Рогозин М.В. Селекция сосны обыкновенной для плантационного выращивания [Электронный ресурс]: монография. – Пермь: ПГНИУ, 2013. – 200 с. (2,02 Мб). – URL: <http://elibrary.ru> (дата обращения: 20.11.13).
9. Рогозин М.В., Разин Г.С. Развитие древостоев. Модели, законы, гипотезы [Электронный ресурс]: монография / под ред. М.В. Рогозина. – Пермь: ПГНИУ, 2015. – 277 с. (11 Мб). URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24420793> (дата обращения: 25.11.15).
10. Рогозин М.В., Разин Г.С. Модели динамики и моделирование развития древостоев // Сибирский лесной журнал. – 2015. – № 2. – С. 55–70.
11. Рогозин М.В., Жекина Н.В., Комаров С.С., Кувшинская Л.В. Химические элементы хвои в потомстве культуры и естественных популяций ели финской // Вестник Пермского университета. Серия «Биология». – 2014. – № 3. – С. 44–50.
12. Сеннов С.Н. Уход за лесом: экологические основы. – М.: Лесная пром-ть, 1984. – 127 с.
13. Сеннов С.Н. Итоги 60-летних наблюдений за естественной динамикой леса. – СПб.: СПбНИИЛХ, 1999. – 98 с.

УДК 581.0.11: 634.93

**ЗАЩИТНЫЕ ЛЕСНЫЕ НАСАЖДЕНИЯ:
АНАЛИЗ ВИДОВОГО СОСТАВА И НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ
ПОВЫШЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ ДЕНДРОФЛОРЫ**

¹Семенютина А.В., ²Терешкин А.В.

¹*Всероссийский научно-исследовательский агролесомелиоративный институт,
Волгоград, e-mail: vnialmi@yandex.ru;*

²*Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова,
Саратов, e-mail: vnialmi@yandex.ru*

Дано обоснование, что защитное лесоразведение, получившее широкий размах в степной и полупустынной зонах следует рассматривать как крупный эксперимент по введению древесных растений на территории засушливого пояса России. По материалам исследований установлена экологическая специфика повышения биоразнообразия дендрофлоры защитных лесных насаждений различного целевого назначения в малолесных регионах Нижнего Поволжья, где режимы экотопов, засухи, высокие температуры проявляют себя как стрессоры. Инвентаризация защитных лесных насаждений выявила, что в настоящее время здесь применяются 78 видов, гибридов и форм деревьев и кустарников, относящихся к 22 семействам и 45 родам. Наибольшее распространение получили 8 видов деревьев и 6 видов кустарников. Показаны закономерности роста и развития древесных видов в зависимости от типа почв, количества осадков, суммы активных температур. Но в целом рост и состояние защитных лесных насаждений нельзя признать удовлетворительным. Основными причинами этого явились ошибки в подборе видов, несоответствие их биологических требований условиям среды, а также нерациональное использование экологического и биологического потенциала жизненных форм, видов, экотипов. В современных условиях преобладающими становятся несформированные древостои, которые не могут предоставить дополнительные ниши для многочисленных «полезных» ценобионтов. Во многих существующих насаждениях наблюдается неполноценность дендроэкосистем. Получены данные, которые подтверждают актуальность повышения биоразнообразия генофонда древесных растений путем введения их в защитные полосы, овражно-балочные, пастбище-мелиоративные, рекреационно-озеленительные насаждения. Теоретически и экспериментально доказана взаимосвязь принципов и механизмов обогащения дендрофлоры деградированных пастбищ кустарниками и полукустарниками, базирующаяся на мобилизации ресурсов хозяйственно ценных растений.

Ключевые слова: деревья, кустарники, защитные лесные насаждения, биоразнообразие, обогащение дендрофлоры, мобилизация растительных ресурсов

**PROTECTIVE AFFORESTATION: ANALYSIS OF THE COMPOSITION
AND THE SCIENTIFIC BASIS OF INCREASING BIODIVERSITY DENDROFLORA**

¹Semenyutina A.V., ²Tereshkin A.V.

¹*All-Russian Research Institute of agroforestry, Volgograd, e-mail: vnialmi@yandex.ru;*

²*Saratov State Agrarian University named N.I. Vavilov, Saratov, e-mail: vnialmi@yandex.ru*

The substantiation of that protective afforestation, has received widespread in the steppe and semi-desert areas should be seen as a major experiment on the introduction of woody plants in the territory of Russia arid zone. Based on materials research established ecological specificity enhance biodiversity dendroflora protective forest plantations for various purposes in sparsely wooded regions of the Lower Volga region, where ecotypes regimes, drought, high temperatures behave as stressors. Inventory of protective forest plantations revealed that at present there are used 78 species, hybrids and forms of trees and shrubs belonging to 22 families and 45 genera. The most widely used 8 species of trees and 6 species of shrubs. Showing patterns of growth and development of woody species depending on the type of soil, the amount of precipitation, the amount of active temperatures. But overall growth and condition of protective forest plantations can not be considered satisfactory. The main reasons for this were the errors in the selection of species, the disparity of their biological requirements of environmental conditions, as well as inefficient use of environmental and biological potential life forms, species, ecotypes. In modern conditions prevailing are unformed stands, that can not provide additional niches for many «useful» tsenobiontov. In many existing plantations there are not complete dendroekosistem.

Keywords: trees, bushes, protective forest plantations, biodiversity enrichment dendroflora, immobilization of plant resources

Ксеротермический режим климата Нижнего Поволжья определяет аридную направленность формирования растительности. Район исследований располагается в пределах сухостепной, полупустынной и пустынной зон, где климатические условия далеко не равноценны [1, 5, 6]. Для рационализации природопользования всех

типов защитных лесонасаждений (полезащитных, противозерозионных, пастбище-мелиоративных, рекреационных и др.), используемых при хозяйственном освоении деградированных территорий с низкой лесистостью, одной из ключевых проблем является состав их дендрофлоры и разработка теоретических основ мобилизации

исходного материала. Количественное и качественное расширение разнообразия древесных видов и формирование защитных лесонасаждений разного целевого назначения оптимизирует их экологическую и антропогенную пластичность [10, 11].

Материалы и методы исследований

Комплексность почвенного покрова совместно с рельефом местности обуславливает разделение территории на экотопы с различными лесорастительными условиями, причём различия в режимах экотопов определяются в основном почвенными условиями, так как климат более или менее однороден на обширных территориях. А изменения мезо- и микрорельефа местности предопределяют перераспределение осадков и тем самым формирование строго определённых типов почв. Таким образом, рельеф местности может служить индикатором экотопов с различными режимами и, следовательно, с различными лесорастительными условиями. Районы исследований различаются по типу почв, количеству осадков, континентальности, сумме активных температур (табл. 1).

та; осуществлять специальные эксперименты на модельных объектах в различных экологических условиях; обобщать и глубоко анализировать всю поступающую информацию [10].

Основным методом обогащения дендрофлоры является создание искусственных ценозов путем введения в культуру хозяйственно-ценных деревьев и кустарников, формирования из них лесонасаждений различных типов – озеленительных, полезащитных, овражно-балочных, пастбищезащитных и др. [3, 8, 9]. Обогащение дендрофлоры при ландшафтном обустройстве проводят расширением биологического и генетического разнообразия во времени и пространстве; созданием многоярусной структуры; чередованием комплексов (лесополоса, поле – водоем, луг и т.д.); дифференцированным подбором экономически выгодных деревьев и кустарников. Подбор растений определяет целевое назначение насаждений: рекреационные, почвозащитные, почвоулучшающие, санитарно-гигиенические, ремизные и другие, – которое регламентирует почвенно-климатические условия, совокупность ценных признаков и свойств растений и особенности природоохранных мероприятий.

Таблица 1

Абиотические показатели природных районов

| Район | Почвы | Сумма осадков, мм | Сумма эффективных температур, °С | Амплитуда температур, °С | Коэффициент | | |
|------------------------------|--|-------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------------|--|------------|
| | | | | | континентальности | климатический индекс биопродуктивности | увлажнения |
| Волго-Донской | Темно-каштановые, каштановые | 250–350 | 2750–3600 | -35 +40 | 208 | 68 | 0,33–0,44 |
| Ергенинско-Сарпинский | Светло-каштановые в комплексе с солонцами | 240–300 | 2800–3600 | -35 +41 | 215 | 39 | 0,11–0,33 |
| Волго-Уральский | Светло-каштановые в комплексе с солонцами, солончаками, темноцветные | 130–300 | 2800–3600 | -35 +44 | 215 | 39 | 0,11–0,33 |
| Черноземельско-Прикаспийский | Бурые, солонцевато-пустынные, солончаково-пустынные, солончаковые | 100–250 | 3600–4000 | -35 +44 | 223 | 10 | 0,11 |

Распределение лесов неравномерно по лесомелиоративным районам: лесистость Волго-Донского сухостепного района 5,0–5,8%, Волго-Уральского сухостепного 3,4–5,0, Ергенинско-Сарпинского полупустынного 3,2–0,22, Черноземельско-Прикаспийского пустынного 0,2. В рамках Федеральной программы развития агролесомелиоративных работ России необходимо довести лесистость региона до 20% [1, 2, 3, 9]. Для преодоления принципиальных разногласий и разработки объективных воззрений на проблему следует дифференцировать обогащение дендрофлоры с учетом лимитирующих факторов роста и развития растений и эколого-экономического эффек-

Результаты исследования и их обсуждение

Начало защитного лесоразведения в Нижнем Поволжье относится к 50-м годам XIX столетия. Первый проект облесения Калмыцких степей был составлен в 1845 г. Астраханской палатой Государственных имуществ. В этот период были созданы Элистинская, Яшкульская, Тингутинская дачи на Ергенях, Козловская, Торопатинская дачи на водораздельных сыртах.

Большое внимание уделялось закреплению песков. Были созданы сосновые массивы в Арчеде, Обливской, г. Камышине (Волгоградская обл.). В 30-х годах XX в. широкий размах получило защитное лесоразведение в степной зоне, а за последние годы оно распространилось и в районы сухой степи и полупустыни. В настоящее время в Нижнем Поволжье в защитных насаждениях различных типов применяются 78 видов, гибридов и форм деревьев и кустарников, относящихся к 22 семействам и 45 родам. По жизненным формам они распределяются следующим образом: 45 видов деревьев и 33 вида кустарников (табл. 2).

silvestris L., Pinus pallasiana D. Don, Pinus ponderosa Dougl., Tamarix ramosissima Ledeb., Tamarix laxa Willd., Calligonum aphyllum (Pall.) Gueze, Salix caspica Pall., Rosa canina L., Populus nigra L.). В зоне полупустыни на светло-каштановых и бурьих почвах в полосах встречаются те же виды, что и в сухой степи. Количество их значительное (37), причем 21 вид и кустарника.

Наибольшее количество видов происходит из лесных и лесостепных районов Евразийского континента и Северо-Американского материка – Acer negundo L., Acer platanoides L., Betula pendula Roth., Fraxinus excelsior L., Fraxinus lanceolata Borkh.,

Таблица 2

Коллекционный фонд деревьев и кустарников в защитных насаждениях Нижнего Поволжья

| Почвы | Семейства | Роды | Виды | Формы и гибриды | Из них | | Всего видов, форм и гибридов |
|---|-----------|------|------|-----------------|----------|-------------|------------------------------|
| | | | | | деревьев | кустарников | |
| Южные черноземы, темно-каштановые, каштановые | 19 | 39 | 59 | 1 | 29 | 30 | 60 |
| Светло-каштановые, бурые | 17 | 31 | 41 | – | 18 | 23 | 41 |
| Каштановые и светло-каштановые: на орошении на песках | 14 | 29 | 42 | 8 | 26 | 15 | 50 |
| | 6 | 7 | 9 | – | 3 | 6 | 9 |
| Общее количество встречающихся таксонов | 22 | 45 | 70 | 8 | 45 | 33 | 78 |

Наибольшее распространение получили 8 видов деревьев (*Quercus robur L., Fraxinus lanceolata Borkh., Robinia pseudoacacia L., Betula pendula Roth, Acer platanoides L., Acer negundo L., Ulmus pumila L., Elaeagnus angustifolia L.*) и 6 видов кустарников (*Ribes aureum Pursh, Lonicera tatarica L., Caragana arborescens Lat., Amorpha fruticosa L., Cotinus coggygia Scop., Sambucus racemosa L.*). Самое большое количество видов (44) сосредоточено в полезащитных, садозащитных полосах в зоне сухих степей на южных черноземах, темно-каштановых почвах и на орошаемых землях, т.е. на лучших в лесо-растительном отношении. В овражно-балочных насаждениях на этих же почвах встречается 32 вида (*Armeniaca vulgaris Lam., Acer tataricum L., Ulmus laevis Pall., Ulmus carpinifolia Rupp. Ex Suckow, Cerasus fruticosa Pall., Malus sylvestris (L.) Mill., Prunus divaricata Ledeb., Pyrus communis L.* и др.). На песках и песчаных почвах произрастает 9 видов (*Pinus*

Larix sibiricaa Ledeb., Pinus silvestris L., Quercus robur L., Tilia cordata L., Ulmus carpinifolia Rupp. Ex G., Ulmus laevis Pall. и др.). Эти виды могут расти в условиях богары на темно-каштановых, погребенных почвах, но лучше всего на орошаемых почвах. Из горных районов Средней Азии, США, Кавказа происходит 23% видов (*Gleditsia triacanthos L., Juniperus virginiana L., Robinia pseudoacacia L., Ribes aureum Pursh., Amorpha fruticosa L., Grataegus korolkowii L. Henry.*); 11% – из степных, сухостепных и полупустынных районов Евразийского континента (*Calligonum aphyllum Pall, Haloxylon aphyllum Bunge, Caragana arborescens L., Tamarix ramosissima L.* и др.). При анализе роста и состояния деревьев и кустарников, наиболее часто встречающихся в защитных насаждениях, было отмечено, что все они характеризуются быстрым ростом и развитием в молодом возрасте, очень ранним вступлением в стадию плодоношения (3–5 лет), быстрым старением.

Предельный возраст большинства пород на зональных почвах в сухой степи (южные черноземы, темно-каштановые, каштановые почвы) 30–40 лет. До 50 лет доживают единичные экземпляры. В местах с дополнительным увлажнением некоторые виды – *Quercus robur*, *Acer platanoides*, *Fraxinus excelsior*, *Pinus sylvestris* – живут до 60–70 лет (Козловская дача, Камышинский опорный пункт). Но в этом возрасте *Quercus robur* суховершинит, а у *Fraxinus excelsior* и *Acer platanoides* почти прекращается прирост. В полупустыне на светло-каштановых почвах долговечность этих же видов значительно снижается. Максимальный их возраст не превышает 20–30 лет. Даже при близком уровне грунтовых вод в возрасте 45–55 лет у всех видов наблюдается расстройство крон, суховершинность. Интродукция деревьев и кустарников для защитных лесных насаждений разного целевого назначения позволяет решать конкретные задачи агроэкологического регламента, связанные с проблемой опустынивания и деградации почв [6, 10, 11]. Столетний опыт интродукции в аридном поясе России показал, что из нескольких тысяч испытанных деревьев и кустарников здесь способны успешно произрастать чуть более 300 видов. Среди них есть виды, дающие лекарственное и техническое сырье, кормовые, плодовые, медоносные, фитонцидные растения, немало лесомелиоративных пород.

Со временем некоторые интродуцированные виды стали плодоносить, давать корневые отпрыски. Размножение интродуцентов без помощи человека привело к инвазии, т.е. самовольному распространению, образованию новых растительных сообществ с участием экзотов, внедрению их в местные фитоценозы, а в некоторых случаях даже вытеснению аборигенов. Неконтролируемый процесс натурализации может привести к значительным нарушениям в местных фитоценозах, особенно это характерно для травянистой растительности. Деревья и кустарники размножаются медленно, и их самопроизвольное распространение можно приостановить. Поэтому одной из современных задач обогащения дендрофлоры аридных территорий является регламентация работ по интродукции и внедрению растений экономически важных групп, которые не засоряют территорий [7, 9].

С другой стороны, интродукция обеспечивает биоразнообразие и является важнейшим способом повышения продуктивности деградированных агроэкосистем.

Роль интродукции деревьев и кустарников для лесомелиоративных целей несомненна. В Нижнем Поволжье широко используется возможность введения в культуру новых кормовых растений. За последние годы здесь было испытано большое количество кормовых растений из природной флоры [1, 8]. С целью мобилизации растений для пастбищного лесоразведения на деградированных землях изыскивали высокоурожайные виды и формы кормовых растений, обладающих широкими приспособительными возможностями в новых условиях, отличающихся устойчивым урожаем кормовой массы, хорошей поедаемостью, быстрым отрастанием весной и после стравливания, равномерностью созревания семян, дружностью их прорастания [5, 6, 8]. Представители семейств Euphorbiaceae, Polygonaceae, Chenopodiaceae прошли длинный путь эволюции и адаптации к экстремальным условиям аридной зоны и являются перспективными и солеустойчивыми растениями (табл. 3). При переносе растений в новые районы граница их успешной интродукции обусловлена сухостью (влажностью) и температурой воздуха, количеством осадков и другими факторами в различные периоды вегетации.

Для успешной мобилизации ресурсов проводился анализ ареалов полукустарниковых и кустарниковых видов семейства *Chenopodiaceae*. Эти виды распространены в пределах Голарктического царства, в Ирано-Туранской и южной части Циркумбореальной областей, преимущественно в полупустынных и пустынных районах (табл. 4). Минимальные температуры в ареале распространения видов семейства –30...–35 °С, максимальные 40...50 °С. Почвы варьируют от средне- и легкосуглинистых слабо- и среднесоленых с количеством осадков 200–400 мм до песчаных и супесчаных с количеством осадков 110–160 мм. *Kochia prostrata* и *Camphorosma lessingii* занимают более северные районы. *Salsola richteri*, *S. paletzkiana*, *Haloxyton persicum*, *S. orientalis* имеют более широкую амплитуду и распространены как в центральной, так и в северной частях Ирано-Туранской области.

Анализ географической среды и экологии видов позволяет прогнозировать особенности роста и развития, которые необходимы как основа для введения растений в культуру. Подбор видов для практического использования следует проводить с учетом экологических законов, на основании которых функционируют искусственно созданные экосистемы в засушливых условиях (рисунки).

Таблица 3

Характеристика кустарников и полукустарников, перспективных для осенне-зимних пастбищ юго-востока России

| Вид | Жизненная форма | Область естественного распространения |
|--|------------------------------|---|
| <i>Ephedraceae Dumort</i> | | |
| <i>Ephedra strobilacea</i> Bunge | Кустарник до 2 м | Кызылкумы, Каракумы, Копетдаг, Северный Иран |
| <i>Polygonaceae Juss.</i> | | |
| <i>Calligonum aphyllum</i> (Pall.) Guerke | Кустарник до 1–2 м | Прикаспийская низменность, Казахстан |
| <i>Calligonum caput-medusae</i> Schrenk | Кустарник 2–3 м | Кызылкумы, Муюнкум, Мангышлак |
| <i>Chenopodiaceae Vent.</i> | | |
| <i>Aellenia subaphylla</i> (C.A. Mey.) | Кустарник 2,5–3,0 м | Средняя Азия, Иран, Афганистан |
| <i>Camphorosma lessingii</i> Litv. | Полукустарник 0,3–0,8 м | Нижнее Поволжье, Закавказье, Арало-Каспий, Прибалхашье |
| <i>Camphorosma monspeliaca</i> L. | Полукустарник 0,3–0,7 м | Нижнее Поволжье, Арало-Каспий |
| <i>Ceratoides papposa</i> Botsch. et Ikonn. | Полукустарник до 1,5 (2,0) м | Среднее и Нижнее Поволжье, Крым, Кавказ, Дагестан, Западная Сибирь, Казахстан |
| <i>Haloxylon ammodendron</i> (C.A. Mey.) Bunge | Дерево 1–4 (7) м | Казахстан, Кызылкумы, Каракумы, Иран, Афганистан, Монголия |
| <i>Kochia prostrata</i> (L.) Schrad. (<i>villosissima</i> , <i>v. virescens</i> , <i>v. canescens</i>) | Полукустарник 0,3–0,8 м | Крым, Среднее и Нижнее Поволжье, Дагестан, Закавказье, Арало-Каспий, Казахстан, Алтай |
| <i>Salsola orientalis</i> S.G. Gmel. | Полукустарник | Прибалхашье, Кызылкумы, Каракумы, горная Туркмения |
| <i>Salsola paletziana</i> Litv. | Кустарник 3–4 м | Прибалхашье, Кызылкумы, Каракумы |
| <i>Compositae Giseke (Asteraceae Dumort.)</i> | | |
| <i>Artemisia kemrudica</i> Krasch. | Полукустарник 0,5–0,8 м | Прибалхашье, Арало-Каспий |
| <i>Artemisia kelleri</i> Krasch. | Полукустарник 0,8–1,5 м | Средняя Азия, Дагестан, пустыни Средней Азии, Прибалхашье, Малая Азия |

Таблица 4

Почвенно-климатическая характеристика районов интродукции и ареалов кормовых растений

| Местоположение | Температура воздуха, °С | | | Кол-во осадков, мм | Суммарная радиация, ккал/см ² -год | Почвы |
|----------------------------------|-------------------------|--------------|-------------|--------------------|---|--|
| | средняя | максимальная | минимальная | | | |
| Волгоград | 7,6 | 43 | –35 | 350 | 105 | Светло-каштановые суплинистые |
| Астраханская обл., Харабали | 8,5 | 42 | –36 | 217 | ПО | Бурые супесчаные |
| Ставропольский край, Ачикулак | 10,2 | 42 | –35 | 324 | 110–120 | Светло-каштановые карбонатные супесчаные |
| Мангышлакская обл., Ералиево | 9,6 | 45 | –30 | 125 | 120–130 | Светло-бурые солонцеватые щебенчатые |
| Республика Каракалпакстан, Нукус | 11,6 | 46 | –30 | 120 | 140-150 | Серо-бурые опесчаненные |
| Юго-Западные Кызылкумы, Газли | 15,0 | 48 | –30 | 100 | 150 | Серо-бурые легкосуглинистые гипсоносные |
| Юго-Восточные Каракумы, Чарджоу | 16,7 | 50 | –30 | 100 | 155 | Песчаные |

| |
|--|
| Предварительный анализ флоры с целью выявления видов, перспективных для лесной мелиорации |
| Организация сбора перспективных растений |
| Эколого-биологическое изучение в интродукционных питомниках, коллекциях и отбор адаптивных хозяйственно-ценных видов, форм, экотипов |
| Разработка первичной агротехники перспективных растений с учетом зональных особенностей |
| Размножение и введение хозяйственно-ценных растений в культуру |

Схема мобилизации ресурсов хозяйственно-ценных растений

Для формирования интродукционных ресурсов для целей защитного лесоразведения сбор исходного материала следует проводить в Ирано-Туранской и Циркумбореальной областях Голарктического флористического царства, где произрастают растения, обладающие хорошей адаптивностью к ксеротермическим условиям.

Заключение

Хозяйственное освоение территорий с низкой лесистостью и бедным видовым составом древесной флоры приводит к резкому снижению биоразнообразия, нарушению трофических связей. Наиболее приемлемым способом восстановления утраченных природных функций агроэкосистем является их лесомелиорация и обогащение дендрофлоры.

Природно-климатические условия засушливого пояса России малоблагоприятны для лесоразведения, поэтому необходимо обоснованно подходить к обогащению дендрофлоры региона. Актуальность повышения биоразнообразия дендрофлоры значительно возросла в связи с необходимостью рационализации природопользования, борьбы с засухой и опустыниванием.

В обогащении растительными ресурсами имеются нежелательные последствия экологического характера. В защитном лесоразведении накопилось достаточно фактов, свидетельствующих о том, что расселение растений часто приводит к нарушению естественного хода ценогенеза. Некоторые случайно занесенные виды ведут себя порой достаточно агрессивно. В связи с развитием стихийной интродукции отмечаются факты дичания завезенных растений. Трансформация ландшафтов с деградацией и обеднением растительности приводит к возрастанию числа адвентивных растений местной флоры. Мобилизация растительных ресурсов для защитных лесных насаждений, проводимая без достаточного научного обоснования, создает опасность появления новых агрессивных адвентивных видов, способных нарушать природную среду.

Расширение дендрофлоры аридных территорий решает комплекс биологических, при-

родоохранных и технологических задач, направленных на сохранение, восстановление, непрерывное использование компонентов биологического разнообразия, повышение ресурсного потенциала и формирование оптимальных условий для проживания населения.

Современные аридные экосистемы – это вторичные антропогенные образования, в которых продуктивность значительно понижена по сравнению с потенциальными ресурсами тепла, влаги, минерального питания и т.д. В связи с этим, рациональное природопользование основывается на:

- более полном использовании экологического и биологического потенциала жизненных форм, видов, экотипов растений;
- экологически разумных вложениях антропогенной энергии в технологии создания адаптивных культур фитоценозов.

Список литературы

1. Дендрофлора лесомелиоративных комплексов / А.В. Семенютина; под ред. И.П. Свинцова. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2013. – 266 с.
2. Кретинин В.М. Лесопригодность почв агролесомелиоративных районов // Лесомелиорация и ландшафт: сб. науч. тр. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1993. – Вып. 1(105). – С. 50–59.
3. Ландшафтное озеленение сельских территорий: учебно-методическое пособие / А.В. Семенютина и др. – Волгоград, 2014. – 144 с.
4. Методические указания по семеноведению древесных интродуцентов в условиях засушливой зоны / А.В. Семенютина и др. – М.: Россельхозакадемия, 2010. – 56 с.
5. Свинцов И.П. Лесомелиорация песчаных пустынь Туркменистана. – Ашхабад, 1988. – 158 с.
6. Свинцов И.П. Научные основы и технологии мелиорации песчаных пустынь // Опустынивание и деградация почв: материалы междунар. науч. конф. – М., 1999. – С. 452–462.
7. Семенютина А.В. Эколого-биологические особенности интродуцированных видов рода *Crataegus* L. и перспективы их использования в Нижнем Поволжье: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Ташкент, 1981. – 23 с.
8. Семенютина А.В., Острая Т.И., Долгих А.А., Шутылов В.А. Рекомендации по обогащению агролесомелиоративных комплексов кустарниками многоцелевого назначения / А.В. Семенютина, Т.И. Острая, А.А. Долгих, В.А. Шутылов; Россельхозакадемия. – М., 1999. – 63 с.
9. Семенютина А.В. Стратегия сохранения и непрерывного использования дендрологических ресурсов в Нижнем Поволжье // *Hortus botanicus*. – 2001. – № 1. – С. 110–111.
10. Семенютина А.В. Лесомелиорация и обогащение дендрофлоры аридных регионов России: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.04. – Волгоград, 2005. – 46 с.
11. Bioecological justification assortment of shrubs for landscaping urban landscapes / A.V. Semenyutina, S.M. Kostyukov. – Accent graphics communications. – Montreal, QC, Canada, 2013. – 164 p.

УДК 630* 231

ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ В ОСУШАЕМЫХ СОСНЯКАХ, ПРОЙДЕННЫХ КОМПЛЕКСНЫМИ РУБКАМИ

Смирнов А.П., Чыонг Ву Ван, Смирнов А.А.

ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
им. С.М. Кирова», Санкт-Петербург, e-mail: public@spbftu.ru

При проведении комплексных рубок в разновозрастных осушаемых сосняках на верховом болоте (17 лет после устройства каналов) численность подроста сосны на опытных и контрольных участках составляла 6–10 тыс. экземпляров на 1 га. В результате конкуренции со стороны древостоя, через 15 лет после проведения рубок густота подроста сосны уменьшилась до 0,5–3,5 тыс. экземпляров на 1 га. Ещё через 15 лет подрост сосны полностью отсутствовал на опыте и контроле. Место подроста сосны постепенно занял подрост берёзы. В год рубок он отсутствовал, а через 30 лет после проведения рубок его численность составляла 2,5–5,5 тыс. экземпляров на 1 га. Однако вследствие светолюбия берёзы лишь отдельные деревья в условиях высокой полноты древостоя впоследствии могут выйти в первый ярус (у каналов). При достижении осушаемыми сосняками возраста спелости и при отсутствии под их пологом подроста сосны, берёзы и малом количестве подроста ели (0,1–0,4 тыс. экз./га) целесообразно проведение сплошной рубки с расчётом на последующее естественное возобновление сосны.

Ключевые слова: осушаемые сосняки на верховых болотах, комплексные рубки, естественное возобновление леса

NATURAL REGENERATION IN PINE FORESTS OF DRAINED, PASSED COMPLETE LOGGING

Smirnov A.P., Truong Vu Van, Smirnov A.A.

St. Petersburg State Forestry University n.a. S.M. Kirov, St. Petersburg, e-mail: public@spbftu.ru

When conducting integrated logging in different plantations on drained oligotrophic bog (17 years after the device channels), the number of young pines on experienced and control plots was 6–10 thousand. on 1 ha. As a result of competition from the stand, through 15 years after felling undergrowth density pine decreased to 0,5–3,5 thous. instances on 1 ha. After another 15 years young pine completely absent on the experience and control. Place pine regrowth gradually took young birches. A year of felling he was absent, but after 30 years after logging his strength was 2,5–5,5 thous. instances on 1 ha. However, due to the demand of lightof birch trees only in conditions of high completeness of the stand may emerge in the first tier (channels). Upon reaching maturity age pine drainable, and in the absence of their canopy undergrowth of pine, birch and spruce undergrowth, small amounts (0,1–0,4 thous. instances on 1 ha), it is advisable to conduct continuous cuttings, with a view to subsequent natural pine regeneration.

Keywords: pine forests on drained bogs, complete logging, natural regeneration of forest

Площадь земель лесного фонда России с действующими осушительными системами, большая часть которых была построена в 1971–1980 гг., составляет около 3,5 млн га [10]. Одна из актуальных задач современного лесоводства – эффективное ведение лесного хозяйства на осушаемых землях, в которые вложены огромные трудовые затраты и денежные средства.

Лесорастительный потенциал осушаемых торфяных почв не проявляется в полной мере, если насаждения имеют высокий возраст или образуют разновозрастные, низкополнотные и малоценные древостои. Одним из первых на эту проблему обратил внимание Н.И. Пьявченко [5]. По его словам, часто осушаются площади, в которых старые деревья, не реагирующие на устройство каналов, будут стоять ещё десятилетия, угнетая молодняк и затрудняя возобновление. Поэтому, считает автор, одновременно с осуше-

нием разновозрастных древостоев или сразу после него необходимо удаление спелых и перестойных деревьев с целью устранения затенения и корневой конкуренции между старым и молодым поколениями леса.

Первоначальная реакция осушаемых сосновых древостоев и подроста на разреживание освещена в ряде публикаций [2, 4, 9, и др.]. Задачей настоящей работы является оценка естественного возобновления и его динамика после комплексных рубок (рубок омоложения) в разновозрастных сосняках кустарничково-сфагновых на осушаемом верховом болоте. Приводятся результаты длительных, 30-летних наблюдений на стационарных объектах.

Материалы и методы исследования

Опытные рубки проводились на Тосненском стационаре кафедры почвоведения и гидромелиорации Санкт-Петербургского лесотехнического университета. Стационар заложен в 1967 г. проф.

Б.В. Бабиковым для осуществления гидрологических исследований в условиях экспериментального осушения. Стационар расположен на осушаемой части верхового торфяника (Тосненский район Ленинградской области). Каналы глубиной 0,9–1,1 м проложены в целях эксперимента через 65, 130 и 205 м. Торфяная залежь на объекте – верховая, сложная. На момент осушительных работ (1967 г.) верхний слой залежи был представлен слаборазложившимся сфагновым торфом (очёсом) мощностью 0,4–0,7 м (степень разложения 0–10%, зольность 2–4%). Ниже располагался горизонт верхового торфа с высокой степенью разложения, подстилаемый далее переходным торфом. Общая мощность торфа варьировала от 1,0 до 2,2 м. До мелиорации на объекте произрастал разновозрастной сосновый древостой III–V классов возраста, Va класса бонитета, с полнотой 0,3–0,5. Средняя высота древостоя составляла 3–5 м, запас не превышал 30–50 м³/га. Тип леса до осушения – сосняк кустарничково-сфагновый [1].

В 1984 г., через 17 лет после лесомелиоративных работ, на интенсивно осушаемых участках с расстоянием между каналами 65 м и менее проводились экспериментальные рубки. Отдельные опытные участки расположены в местах впадения (под острым углом) осушителей в собиратели, что позволило проводить исследования при условных средних расстояниях между каналами 45 и 20.

Опытные участки (ОУ) распределены по двум сериям. В 1-й серии ОУ общая мощность торфяной залежи достигала 2,0 м, мощность сфагнового очёса составляла 0,4–0,5 м, горизонт переходного торфа залегал на глубине 1,3–1,8 м. На момент рубок рост молодых деревьев соответствовал здесь III классу бонитета. Бонитет определен по таблицам для осушаемых сосняков, задержанных в росте [7]. Во 2-й серии ОУ (серия А) лесорастительные условия были лучше. Мощность очёса составляла 0,3–0,4 м, слой переходного торфа залегал на глубине 0,8–1,0 м. На этих участках молодая сосна росла по II классу бонитета. Известно, что стратиграфия торфяной залежи верховых болот имеет для последующего роста осушаемых древостоев определяющее значение [6, 9 и др.].

Участки с рубками закладывались вдоль каналов, границей с контролем служила середина межканальных расстояний, контрольные участки располагались от этой середины до соседнего канала. Исключением являлись опытные участки, заложенные при среднем расстоянии между каналами 20 м. На них проводилась рубка, а условным контролем служили соседние контрольные участки на межканальных расстояниях 45 м.

Выборке подлежали деревья старшей возрастной группы (80–90 лет и более). В большей или меньшей степени разреживалась также молодая часть древостоя (возраст в среднем 30–40 лет) по низовому методу. Опытные рубки в целом носили характер комплексных. Интенсивность разреживаний по суммарному запасу варьировала от 23 до 77%. На одном из участков (ПП 1А-р, расстояние между каналами 20 м) одновременно с осушением в 1967 г. была проведена сплошная рубка.

Таксационные характеристики древостоев определены по методическим рекомендациям для осушаемых сосняков [7]. При проведении сплошных перечётов в год рубки (1984) выделялся один условный ярус, поскольку через 17 лет после устройства каналов молодые деревья сосны практически догнали по высоте старшее поколение, слабо отозвавшееся на

осушительные работы. В последующие сроки проведения таксации (1999 и 2014 гг.) было установлено, что прирост в высоту деревьев разных поколений на контрольных участках примерно одинаков. Старшее поколение с запозданием, но также отозвалось на осушение, – по-видимому, в результате потепления климата. Это позволило на контрольных участках вновь формировать один ярус, с представленностью в нём деревьев двух возрастных групп.

Подрост лесообразующих пород (сосна, ель, берёза) учитывался на круговых учётных площадках размером 10 м², равномерно распределённых по площади на каждом из вариантов опыта. Количество учётных площадок варьировало, в зависимости от площади проб, от 14 до 30. Подрост распределялся по высоте (мелкий до 0,5 м; средний 0,5–1,5 м; крупный – более 1,5 м). Определялась также встречаемость подроста, т.е. равномерность его размещения по площади [3].

Результаты исследований и их обсуждение

Динамика таксационных показателей осушаемых и разреженных сосняков представлена в табл. 1.

На участках рубок показатели 1984 г. характеризуют насаждения после проведения разреживаний.

Запас древостоев на половине разреженных участков уже за первые 15 лет приблизился к контрольным значениям. Заметно отставало накопление запаса от контроля на ПП 4-р, 2А-р и 5А-р, где выборка была наибольшей, соответственно 57; 55 и 77%. Во втором 15-летию запас лишь на ПП 2А-р и 5А-р всё ещё не достиг уровня контрольных площадей, на которых усиление роста старых деревьев произошло не только по высоте, но и по диаметру. На увеличение прироста спелых хвойных древостоев на минеральных почвах в результате потепления климата в последние десятилетия указывает С.Н. Сеннов [8].

Для всех экспериментальных участков на объекте важнейшим преимуществом, по сравнению с контрольными вариантами, является существенная однородность деревьев по возрасту, размерам и качеству стволов. На контрольных объектах старшие деревья, одновременно с увеличением линейных приростов в последние десятилетия, в подавляющем большинстве имеют «наследственные» закономерности, суковатость, наклон или изгиб ствола. На ПП 15-к (общий слабоосушенный контроль), расположенной в середине межканального расстояния 205 м в 1-й серии участков, рост деревьев старшего поколения практически не изменился. Более молодые лишь незначительно улучшили рост (с V до IV 1/2 класса бонитета).

Таблица 1

Динамика таксационных показателей осушаемых и разреженных сосняков за 30 лет опыта (1984–2014 гг.)

| Номер ПП, вариант | Год таксации | Состав яруса и средний возраст по элементам леса | H_{cp} , м | D_{cp} , см | G , м ² /га | Относительная полнота | Густота, дер./га | Запас, м ³ /га | Класс бонитета сосны |
|---|--------------|--|--------------|---------------|--------------------------|-----------------------|------------------|---------------------------|----------------------|
| Опытный участок I, расстояние между каналами 20 м (контроль ПП 2-к) | | | | | | | | | |
| 1-р, рубка (32%) | 1984 | 10C ₃₀ | 6,3 | 6,4 | 10,2 | 0,45 | 3185 | 41 | III |
| | 1999 | 10C ₄₅ | 10,5 | 10,0 | 23,5 | 0,79 | 3000 | 132 | II,5 |
| | 2014 | 10C ₆₀ | 14,5 | 13,3 | 32,9 | 0,99 | 2353 | 242 | II,5 |
| Опытный участок II, расстояние между каналами 45 м | | | | | | | | | |
| 2-к, контроль | 1984 | 7C ₃₀ 3C ₈₀ | 5,8 | 6,1 | 14,9 | 0,67 | 5117 | 50 | III,5 |
| | 1999 | 8C ₄₅ 2C ₉₅ | 10,2 | 8,8 | 24,1 | 0,82 | 3968 | 132 | III |
| | 2014 | 8C ₆₀ 2C ₁₁₀ | 14,0 | 12,9 | 30,0 | 0,91 | 2310 | 215 | III |
| 4-р, рубка (57%) | 1984 | 10C ₃₀ | 5,9 | 5,7 | 6,4 | 0,29 | 2518 | 24 | III,5 |
| | 1999 | 10C ₄₅ | 9,4 | 9,5 | 19,0 | 0,67 | 2691 | 96 | III |
| | 2014 | 10C ₆₀ | 14,8 | 13,3 | 28,6 | 0,85 | 2050 | 215 | III |
| Опытный участок III, расстояние между каналами 65 м | | | | | | | | | |
| 5-к, контроль | 1984 | 8C ₄₀ 2C ₈₀ | 7,1 | 7,0 | 10,7 | 0,44 | 2778 | 49 | III |
| | 1999 | 8C ₅₅ 2C ₉₅ | 11,2 | 10,6 | 24,1 | 0,79 | 2718 | 142 | II,5 |
| | 2014 | 7C ₇₀ 3C ₁₁₀ | 17,2 | 15,5 | 29,9 | 0,85 | 1587 | 256 | II,5 |
| 7-р, рубка (28%) | 1984 | 10C ₄₀ | 7,6 | 7,9 | 9,4 | 0,37 | 1940 | 38 | III |
| | 1999 | 10C ₅₅ | 12,4 | 12,3 | 23,0 | 0,73 | 1919 | 148 | II,5 |
| | 2014 | 10C ₇₀ | 17,8 | 16,4 | 30,0 | 0,86 | 1429 | 265 | II,5 |
| Опытный участок IA, расстояние между каналами 20 м (контроль 4A-к) | | | | | | | | | |
| 1A-р, рубка 100% | 1984 | 10C ₂₀ | 6,8 | 8,4 | 8,0 | 0,34 | 1431 | 37 | II |
| | 1999 | 10C ₃₅ | 11,4 | 12,9 | 21,7 | 0,72 | 1672 | 130 | II |
| | 2014 | 10C ₅₀ + Б ₄₀ ед E ₃₀ | 16,5 | 17,9 | 36,2 | 1,01 | 1447 | 299 | II |
| Опытный участок IIА, расстояние между каналами 45 м | | | | | | | | | |
| 4A-к, контроль | 1984 | 7,5C ₇₀ 2,5C ₃₀ | 8,2 | 9,3 | 12,0 | 0,45 | 1756 | 56 | III |
| | 1999 | 6C ₈₅ 4C ₄₅ | 11,3 | 11,6 | 23,1 | 0,75 | 2186 | 138 | II,5 |
| | 2014 | 5C ₁₀₀ 4C ₆₀ 1B ₄₀ | 16,3 | 16,7 | 31,3 | 0,91 | 1436 | 256 | II |
| 2A-р, рубка (52%) | 1984 | 10C ₃₀ | 7,0 | 7,6 | 6,2 | 0,25 | 1347 | 25 | II,5 |
| | 1999 | 10C ₄₅ | 12,4 | 12,7 | 19,9 | 0,63 | 1574 | 128 | II |
| | 2014 | 10C ₆₀ + Б ₄₀ ед E ₃₀ | 16,2 | 18,0 | 28,2 | 0,83 | 1111 | 229 | II |
| Опытный участок IIIА, расстояние между каналами 65 м | | | | | | | | | |
| 7A-к, контроль | 1984 | 8,5C ₇₀ 1,5C ₃₀ | 9,5 | 10,6 | 12,3 | 0,43 | 1377 | 65 | II |
| | 1999 | 7C ₈₅ 3C ₄₅ | 12,5 | 13,3 | 22,1 | 0,70 | 1600 | 143 | II |
| | 2014 | 6,5C ₁₀₀ 3,5C ₆₀ | 16,7 | 18,8 | 26,4 | 0,77 | 955 | 220 | II |
| 5A-р, рубка (77%) | 1984 | 10C ₃₀ | 7,0 | 8,0 | 3,9 | 0,16 | 780 | 17 | II |
| | 1999 | 10C ₄₅ | 10,1 | 11,5 | 14,8 | 0,51 | 1424 | 80 | II,5 |
| | 2014 | 10C ₆₀ + Б ₄₀ | 16,8 | 17,3 | 22,2 | 0,65 | 948 | 177 | II |
| Опытный участок V, середина межканального расстояния 205 м | | | | | | | | | |
| 15-к, контроль общий | 1984 | 7C ₈₀ 3C ₄₀ | 6,0 | 7,8 | 8,1 | 0,37 | 1686 | 29 | V |
| | 1999 | 6C ₉₅ 4C ₅₅ | 8,2 | 9,6 | 10,6 | 0,40 | 1466 | 49 | IV,5 |
| | 2014 | 5,5C ₁₁₀ 4,5C ₇₀ | 10,1 | 12,0 | 12,8 | 0,44 | 1133 | 69 | IV,5 |

Таблица 2

Динамика подроста сосны в осушаемом сосняке кустарничково-сфагновом на разреженных и контрольных участках

| Но- мер ПП | В год проведения рубки (1984) | | | | Через 15 лет после рубки (1999) | | | | | |
|---|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------|-------------------------------------|---|-------|--------------------------------|-----------------|---------------------|
| | кол-во под- роста, экз./га | древостой | | | кол-во подро- ста, экз./га | изменение кол-ва подро- ста за 15 лет | | древостой | | |
| | | полнота, м ² /га | отн. полнота | густота, дер./га | | экз./га | % | полнота, м ² /га | отн. полнота | густота, дер./га |
| Контрольные варианты | | | | | | | | | | |
| 2-к | 9430 | 14,9 | 0,67 | 5117 | 179 | -9251 | -98 | 24,1 | 0,82 | 3968 |
| 5-к | 8446 | 10,7 | 0,44 | 2778 | 0 | -8446 | -100 | 24,1 | 0,79 | 2718 |
| 4А-к | 7781 | 12,0 | 0,45 | 1756 | 2459 | -5322 | -68 | 23,1 | 0,75 | 2186 |
| 7А-к | 9268 | 12,3 | 0,43 | 1377 | 2016 | -7252 | -78 | 22,1 | 0,70 | 1600 |
| 15-к | 6726 | 8,1 | 0,37 | 1686 | 1872 | -4854 | -72 | 10,6 | 0,40 | 1466 |
| Коэффициент корреляции количества подроста с таксационными показателями | | | | | | | | | | |
| | +0,37 | -0,02 | -0,25 | | -0,39 | -0,48 | -0,77 | | | |
| Варианты с проведением рубок | | | | | | | | | | |
| 1-р | 4624 | 10,2 | 0,45 | 3185 | 1533 | -3091 | -67 | 23,5 | 0,79 | 3000 |
| 4-р | 7038 | 6,4 | 0,29 | 2518 | 1063 | -5975 | -85 | 19,0 | 0,67 | 2691 |
| 7-р | 5994 | 9,4 | 0,37 | 1940 | 0 | -5994 | -100 | 23,0 | 0,73 | 1919 |
| 1А-р | 10515 | 8,0 | 0,34 | 1431 | 478 | -10037 | -95 | 21,7 | 0,72 | 1672 |
| 2А-р | 6590 | 6,2 | 0,25 | 1347 | 841 | -5749 | -83 | 19,9 | 0,63 | 1574 |
| 5А-р | 9338 | 3,9 | 0,16 | 780 | 3327 | -6011 | -64 | 14,8 | 0,51 | 1424 |
| Коэффициент корреляции количества подроста с таксационными показателями | | | | | | | | | | |
| | -0,84 | -0,89 | -0,79 | | -0,78 | -0,70 | -0,14 | | | |

В год рубки (1984) на всех участках количество подроста сосны составляло 4,5–10,5 тыс. экз./га, его встречаемость составляла 90-100%, причём преобладал средний по высоте подрост (табл. 2).

Подрост берёзы и ели в 1984 г. полностью отсутствовал или встречался единично.

В последующие 15 лет густота подроста сосны резко снижалась, его распределение по площади было менее равномерным, чем в 1984 г. Всё же на большинстве участков с рубками подроста сохранилось больше, чем на контроле, что соответствует литературным данным [2]. Наибольшее количество подроста (3,3 тыс. экз./га) сохранилось на ПП 5А-р с предельно высоким разреживанием древостоя (до полноты 0,16). В большей степени происходило усыхание крупного подроста. На ПП 5-к и 7-р (расстояние между каналами 65 м) подрост сосны за 15 лет исчез полностью. Подрост также интенсивно переходил в отпад на участке с наибольшими исходными густотой и полнотой древостоя (ПП 2-к), а также в условиях конкуренции с бурно растущим молодняком сосны (ПП 1А-р) (табл. 1).

В год рубки (1984) количество подроста сосны на контрольных участках не имело достоверной корреляционной связи с пол-

нотой и густотой древостоев (табл. 2). На экспериментальных участках тесная отрицательная связь между этими показателями и подростом не показательна, т.к. рубкой подрост не затрагивался, тогда как древостой резко изменил свои характеристики. Через 15 лет после проведения рубок (1999) на контрольных участках выявлена достоверная на 10%-ном уровне значимости отрицательная корреляция густоты подроста с густотой древостоев, а на экспериментальных участках – с полнотой.

Следует отметить, что катастрофическое уменьшение густоты подроста сосны за 15 лет (1984–1999 гг.) происходило почти на всём объекте, в древостоях с самыми разными таксационными характеристиками (полнота от 0,4 до 0,8, густота от 0,8 до 5 тыс. дер./га, класс бонитета от II до V). По-видимому, усыхание подроста связано не только с ростом древостоев в этот период, но и с динамикой лесорастительных условий после осушительных работ (водно-воздушный и питательный режим почв). Через 17 лет после устройства каналов подроста было много, ещё через 15 лет стало очень мало. Ещё через 15 лет, в 2014 г., подрост сосны на объекте полностью перешёл в отпад.

Таблица 3

Динамика подроста берёзы в осушаемом сосняке кустарничково-сфагновом на разреженных и контрольных участках

| Номер ПП | Через 15 лет после рубки (1999) | | | | Через 30 лет после рубки (2014) | | | | | |
|---|---------------------------------|-----------------------------|--------------|------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------|--------------|------------------|
| | кол-во подроста, экз./га | древостой | | | кол-во подроста, экз./га | изменение кол-ва подроста за 15 лет | | древостой | | |
| | | полнота, м ² /га | отн. полнота | густота, дер./га | | экз./га | % | полнота, м ² /га | отн. полнота | густота, дер./га |
| Контрольные варианты | | | | | | | | | | |
| 2-к | 438 | 24,1 | 0,82 | 3968 | 820 | +382 | +87 | 30,0 | 0,91 | 2310 |
| 5-к | 1700 | 24,1 | 0,79 | 2718 | 2210 | +510 | +30 | 29,9 | 0,85 | 1587 |
| 4А-к | 456 | 23,1 | 0,75 | 2186 | 3141 | +2685 | +689 | 31,3 | 0,91 | 1436 |
| 7А-к | 900 | 22,1 | 0,70 | 1600 | 3696 | +2796 | +411 | 26,4 | 0,77 | 955 |
| Коэффициент корреляции количества подроста с таксационными показателями | | | | | | | | | | |
| | +0,22 | +0,01 | -0,20 | | -0,45 | -0,63 | -0,98 | | | |
| Варианты с проведением рубок | | | | | | | | | | |
| 1-р | 1017 | 23,5 | 0,79 | 3000 | 2187 | +1170 | +215 | 32,9 | 0,99 | 2353 |
| 4-р | 1223 | 19,0 | 0,67 | 2691 | 1743 | +520 | +43 | 28,6 | 0,85 | 2050 |
| 7-р | 1120 | 23,0 | 0,73 | 1919 | 1950 | +830 | +74 | 30,0 | 0,86 | 1429 |
| 1А-р | 4050 | 21,7 | 0,72 | 1672 | 4268 | +218 | +5 | 36,2 | 1,01 | 1447 |
| 2А-р | 1480 | 19,9 | 0,63 | 1574 | 3600 | +2120 | +243 | 28,2 | 0,83 | 1111 |
| 5А-р | 1877 | 14,8 | 0,51 | 1424 | 5227 | +3400 | +281 | 22,2 | 0,65 | 948 |
| Коэффициент корреляции количества подроста с таксационными показателями | | | | | | | | | | |
| | -0,04 | -0,04 | -0,48 | | -0,32 | -0,43 | -0,75 | | | |

Место подроста светолюбивой сосны на объекте исследований постепенно занял подрост берёзы, породы не менее светолюбивой, но, по-видимому, более приспособленной к изменившимся почвенным условиям (табл. 3).

Подрост берёзы появился через 25–30 лет после осушения и постоянно усиливал свои позиции. Полностью отсутствовал подрост берёзы во все сроки наблюдений лишь на слабоосушенном общем контроле ПП 15-к.

В 1999 г. преобладал средний по высоте подрост берёзы, в 2014 г. – крупный. Наибольшее количество подроста (3–5,5 тыс. экз./га) наблюдается в настоящее время на ОУ 2-й серии. Здесь подрост берёзы равномерно распределён по площади. В 1-й серии ОУ подрост приурочен в основном к каналам, где больше света и лучше водно-воздушный и питательный режим почвы. Почти во всех случаях подрост берёзы больше на участках рубок по сравнению с контрольными. Достоверно тесная отрицательная корреляция количества подроста берёзы отмечена в 2014 г. с густотой древостоев сосны, причём как на контрольных, так и на экспериментальных вариантах опыта.

Несмотря на относительное обилие подроста берёзы на интенсивно осушаемых участках спустя полвека после устройства каналов, его перспективы весьма проблематичны. Известное светолюбие берёзы, по-видимому, не позволит подросту выйти в 1-й ярус на большинстве участков, и берёза будет и впредь незначительно участвовать в составе древостоев лишь у каналов.

Подрост ели в количестве 0,1–0,4 тыс. экз./га появился на ОУ 2-й серии через 15 лет после проведения рубок и в дальнейшем сохранил своё присутствие. Несмотря на крайне незначительное количество елового подроста и его неравномерное распределение по площади, за последние 15 лет практически полностью отсутствует его отпад.

Заключение

30-летние наблюдения за динамикой восстановительных процессов в сосняках, пройденных комплексными рубками на осушаемом верховом торфянике, позволяют сделать следующие выводы.

1. Комплексные рубки в разновозрастных осушаемых сосняках кустарничково-сфагновых через 17 лет после устройства

каналов дали в целом положительный результат. Запасы древесины в большинстве случаев превысили контрольные показатели. На участках рубок важнейшим преимуществом является существенная однородность деревьев по возрасту, размерам и качеству стволов. На контрольных объектах старшие деревья в подавляющем большинстве имеют дефекты ствола.

2. Густой подрост сосны сохранился в первые годы после разреживаний в большей степени на участках рубок. Однако в дальнейшем подрост сосны резко уменьшил свою численность. В первую очередь это связано с усилением роста древостоя и его конкурентным давлением на подрост, как на изреженных, так и на контрольных участках. Через 30 лет после проведения рубок (через 40–50 лет после устройства каналов) подрост сосны полностью перешёл в отпад.

3. Место подрост сосны постепенно занял подрост берёзы. Через 30 лет после устройства осушительной сети его присутствие оценивалось уже в 0,5–1,7 тыс. экз./га. Ещё через 15 лет подрост берёзы занимал лидирующие позиции (2,5–5,5 тыс. экз./га на большинстве участков) на фоне отсутствия подрост сосны и незначительного присутствия подрост ели. Почти во всех случаях подрост берёзы больше на участках рубок по сравнению с контрольными. Тем не менее в обозримом будущем подрост берёзы, как породы светолюбивой, уйдёт в отпад, и лишь отдельные деревья берёзы вблизи каналов могут выйти в первый ярус.

4. При полном отсутствии подрост сосны и малом количестве подрост ели под пологом осушаемых сосняков кустарничково-сфагновых на верховых торфяниках, при достижении древостоем возраста спелости целесообразно проводить сплошную рубку с расчётом на последующее естественное возобновление сосны.

Список литературы

1. Бабиков Б.В. Гидрологический режим осушенных лесных болот, сформировавшихся на тяжелых почвах (на примере болота Гладкое Тосненского района Ленинградской области) // Значение болот в биосфере. – М.: Наука, 1980. – С. 81–95.
2. Иматова И.А. Состояние и рост подрост сосны на осушенных сфагновых болотах Среднего Урала: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Екатеринбург, 1997. – 20 с.
3. Мартынов А.Н., Сеннов С.Н., Грязькин А.В. Естественное возобновление леса: текст лекций. – СПб.: СПб ЛТА, 1994. – 44 с.
4. Медведева В.М. Формирование лесов на осушенных землях среднетаёжной подзоны. – Петрозаводск: Изд-во Карелия, 1989. – 168 с.
5. Пьявченко Н.И. Об изучении болотных биогеоценозов // Основные принципы изучения болотных биогеоценозов. – Л.: Наука, 1972. – С. 5–13.
6. Пятацкий Г.Е., Морозова Р.М. Влияние осушения на плодородие почв верховых болот и продуктивность леса // Лес и почва. – Красноярск, 1968. – С. 339–347.
7. Рубцов В.Г., Книзе А.А. Закладка и обработка пробных площадей в осушенных насаждениях: методические рекомендации. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1977. – 44 с.
8. Сеннов С.Н. Результаты длительных наблюдений за естественным ростом древостоев и влиянием на него рубок ухода. – СПб.: СПбНИИЛХ, 2008. – 29 с.
9. Смирнов А.П. Лесорастительный потенциал осушенных торфяно-болотных почв и его рациональное использование: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – СПб., 2003. – 41 с.
10. Чмыр А.Ф., Константинов В.К. Лесной департамент и осушение лесов // Гидротехническая мелиорация земель, ведение лесного хозяйства и вопросы экологии: тр. СПбНИИЛХ. – СПб.: СПбНИИЛХ, 1997. – С. 5–7.

УДК 630 (712)

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
И ПЛАНИРОВОЧНОГО СОСТОЯНИЯ
ИСТОРИЧЕСКОГО БУЛЬВАРА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ**

Третьякова Т.А., Сокольская О.Б.

*Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, Саратов,
e-mail: t.m.tretyakova@mail.ru, sololskaya.olg@yandex.ru*

В настоящее время во многих регионах Российской Федерации в плохом состоянии находятся общегородские объекты озеленения населённых пунктов, в частности бульвары, в том числе и исторические, созданные в прошлые века. К такой категории относится бульвар имени Рахова в городе Саратове, который был основан в середине XIX века. На сегодняшний день он представляет собой маловыразительное и монотонное протяженно-линейное пространство. В работе выявлен основной ассортимент зеленых насаждений в экологически сложной среде. Проведено исследование по квартальным участкам бульвара с целью определения общего среднего жизненного состояния деревьев и кустарников. В исследовании также дается оценка жизненного состояния по образующим видам зеленых насаждений, установлены важные ландшафтно-планировочные структуры и преобладающие композиционные группы деревьев и кустарников. Сформулированы основополагающие выводы и предложения.

Ключевые слова: бульвар, озеленение, жизненное состояние древостоя, экология, ландшафтная архитектура, композиционные группы зеленых насаждений, структура

**THE ANALYSIS OF THE CURRENT LANDSCAPE
AND ECOLOGICAL AND PLANNING STATE OF HISTORICAL BOULEVARD
IN THE URBAN ENVIRONMENT**

Tretyakova T.A., Sokolskaya O.B.

*Saratov State Agrarian University in honor of N.I. Vavilova, Saratov,
e-mail: t.m.tretyakova@mail.ru, sololskaya.olg@yandex.ru*

Now in many regions of the Russian Federation in bad condition there are city objects of gardening of settlements, in particular boulevards including historical, created in the last centuries. Rakhov's Boulevard in the city of Saratov which has been founded in the middle of the 19th century belongs to it to the category. Today he represents expressionless and monotonous extended and linear space. In work the main range of green plantings in ecologically difficult environment is revealed. Research on quarter sites of the boulevard for the purpose of definition of the general average vital condition of trees and bushes is conducted. In research the assessment of a vital state by the forming types of green plantings is also given, important landscape and planning structures and the prevailing composite groups of trees and bushes are established. At the end fundamental conclusions and offers are formulated.

Keywords: boulevard, gardening, vital condition of a forest stand, ecology, landscape architecture, composite groups of green plantings, structure

В настоящее время во многих регионах Российской Федерации в плохом состоянии находятся общегородские объекты озеленения населённых пунктов, созданные в разные периоды. Особенно проблемны с точки зрения ландшафтной архитектуры городские бульвары. Изменение экологических условий в сочетании с промышленным загрязнением атмосферы (главным образом, увеличением транспортных потоков) и рекреационными нагрузками вызывает общее ухудшение состояния древесных пород и снижение их биологической устойчивости [4, 8].

Бульвары – это линейные элементы озеленения города, широкие озелененные полосы, выделяемые на проезжей части по обеим или одной стороне улицы, пред-

назначенные для пешеходного движения и кратковременного отдыха, кроме рекреационных, эстетических выполняют важные системные функции: планировочную и градостроительную.

В разное время бульварами занимались в нашей стране следующие ученые:

1) созданием классификации и типологии бульваров – Залесская, Александрова (1957); Лунц (1974); Молева (1977); Залесская, Микулина (1979); Бочарова (1980); Юскевич, Лунц (1986); Козинец (1989); Саваренская (1989); Теодоронский, Белый (1989); Боговая, Теодоронский (1990); Вергунов, Горохов (1996); Теодоронский, Машинский, Золотаревский (1998); Фролова (2001); Теодоронский, Боговая (2003); Ожегов (2004); Сокольская (2004); Горохов

(2005); Сычева (2006); Горбаневский (2007); Сродных (2008); Теодоронский, Сабо, Фролова (2008); Сокольская, Кузин (2009); Теодоронский, Жеребцова (2010), Демидко (2012); Лисина (2012–2013), Сокольская (2013–2014) и др.;

2) историю возникновения и эволюцию бульваров изучали: Лунц (1971); Залесская, Микулина (1979); Горбачев (1983); Саваренская (1989); Ожегов (2004); Горохов (2005); Сокольская (2004, 2009, 2011, 2013, 2015);

3) вопросы изучения растительности и экологии на бульварах Саратова рассматривали в своих трудах: Миловидова (1983), Аристова (1998, 2001), Бечина (2008), Рыхлова (2005), Азарова (2007), Сокольская (2004–2006, 2010–2013) и др.

В Саратове от негативного воздействия выхлопных газов от транспорта страдает старейший бульвар имени Рахова. Его история началась с середины XIX столетия. Тогда бульвар имени Рахова назывался Камышинской улицей, в честь уездного города Камышин Саратовской губернии. Улица ограничивает с запада городские кварталы, созданные по генплану 1812 года. Затем регулярная городская планировка модифицируется – кварталы укрупняются и почти исчезает сплошная каменная дореволюционная застройка. Бульвар в 50 м и протяженностью 3,7 км отделял престижную городскую жилую часть. За этой территорией размещались мещанские и рабочие одноэтажные деревянные окраины, а также каменные и промышленные здания. Достаточно продолжительное время часть улицы имела название «Бульвар А.И. Косича» в честь губернатора Саратовской области Андрея Ивановича Косича (1833–1917), правящего данным регионом с 1887 по 1891 гг. Именно по его инициативе вдоль центральной оси этой улицы был разбит бульвар. Лишь в январе 1940 года этот бульвар переименован в улицу им. В. Рахова в честь лётчика, Героя Советского Союза Виктора Рахова, погибшего в бою с японскими захватчиками на реке Халхин-Гол в Монголии.

Сегодня зажатые между проезжей частью и пешеходной аллеей зеленые насаждения бульвара без должного ухода постепенно деградируют. В связи с этим *актуальность темы* определена тем, что изучение зеленых насаждений, оценка их жизненного состояния, влияние антропогенных факторов урбанизированной среды, подбор и структурирование устойчивых к загазованности и к пыли зеленых насаждений на Раховском бульваре, своевременно и не требует отлагательств.

Цель исследования. Основной целью исследований явилось изучение современного жизненного состояния и структуры зеленых насаждений бульвара имени Рахова, а также разработка научно обоснованных практических рекомендаций по её формированию для улучшения качества древостоя и функционирования в целом этого объекта.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований послужил бульвар им. Рахова, созданный в середине XIX века.

Материалом для исследования стали существующие на данном объекте садово-паркового наследия деревья и кустарники. В работе использован комплексный подход к изучению характеристик зеленых насаждений бульваров. Методика исследований базировалась на следующих принципах: на изучение архивных и краеведческих материалов – по методикам О.Б. Сокольской [4, 7]; на принципе натурального обследования – обзору и объемам планировки, и растительных форм, малых архитектурных форм, а также видовых перспектив по методикам Е.А. Ахмедовой (1997), И.В. Барсовой (1991), О.Б. Сокольской (2013–2014); определение жизненного состояния по наиболее распространенным шкалам В.А. Алексеева [1, 2]; массовые биометрические исследования насаждений бульваров определялись по методу детальной инвентаризации насаждений (Методика инвентаризации ..., 1997; Методическое руководство ..., 2001; Регламент на работы по инвентаризации ..., 2007); при анализе планировочно-пространственной структуры зеленых насаждений использован метод трехмерной проекции Т.Б. Сродных (2012), Е.И. Лисиной (2013), а также уровня и характера восприятия объекта по А.П. Вергуну (1980) и О.Б. Сокольской (2006, 2013).

Результаты исследования и их обсуждение

Нами было установлено по шкале В.А. Алексеева то, что древостой почти на всех участках бульвара имеет поврежденное состояние, и лишь на участках № 2; 4; 12 – большинство деревьев и кустарников – здоровы. Наиболее часто встречается усыхание ветвей, целых участков крон, сухобочины, так же скручивание листьев, повреждение их различными насекомыми (табл. 1).

В целом породный состав не богат ассортиментов деревьев и кустарников. Так, здесь преобладают *Pópulus* и *Ulmus*, а из кустарников превалирует *Cotoneáster lucídus*. Газон отсутствует по всему бульвару. Ярусность подтверждает нарушения структуры бульвара, т.к. в результате отпада деревьев и кустарников целостность композиции ухудшилась.

На всей протяженности бульвара повышенная транспортная загруженность, кроме выше перечисленных кварталов. Поэтому здесь улучшается жизненное состояние таких пород, как *Bétula péndula* и *Tília platyphýllos*. Также нами проводились оценки жизненного состояния по основным образующим породам. Результаты показаны в табл. 2.

Таблица 1

Общая средняя оценка жизненного состояния деревьев и кустарников на бульваре им. Рахова гор. Саратова

| № п/п | Название участка бульвара имени Рахова | <i>Ln</i> , % | Жизненное состояние | Преимущественное наличие ярусов |
|-------|--|---------------|---------------------|---------------------------------|
| 1 | от Шелковичной до Белоглинской | 73 | Поврежденное | 2 |
| 2 | от Белоглинской до Рабочей | 81 | Здоровое | 3 |
| 3 | от Рабочей до Мичурина | 78 | Поврежденное | 2–3 |
| 4 | от Мичурина до Советской | 80 | Здоровое | 3 |
| 5 | от Советской до Вавилова | 76 | Поврежденное | 2 |
| 6 | от Вавилова до Б. Казачьей | 66 | Поврежденное | 1–2 |
| 7 | от Б. Казачьей до ул. Московской | 78 | Поврежденное | 2–3 |
| 8 | от ул. Московской до ул. Кутякова | 79 | Поврежденное | 1 |
| 9 | от ул. Кутякова до ул. Зарубина | 72 | Поврежденное | 2 |
| 10 | от ул. Зарубина до ул. Посадского | 75 | Поврежденное | 2–3 |
| 11 | от ул. Посадского до ул. Б. Горной | 74 | Поврежденное | 1 |
| 12 | от ул. Б. Горной до ул. Соколовой | 80 | Здоровое | 3–4 |

Таблица 2

Оценка жизненного состояния по видам зеленых насаждений на бульваре им. Рахова

| № п/п | Наименование породы | Кол-во, шт. | <i>Ln</i> , % | Жизненное состояние |
|-------|----------------------------------|-------------|---------------|---------------------|
| 1 | <i>Pōpulus pyramidālis</i> | 226 | 89 | Здоровое |
| 2 | <i>Populus balsamifera</i> | 201 | 83 | Здоровое |
| 3 | <i>Fraxinus lanceolata Borkh</i> | 302 | 64 | Поврежденное |
| 4 | <i>Ulmus parvifolia</i> | 150 | 65 | Поврежденное |
| 5 | <i>Aēsculus hippocāstanum</i> | 130 | 78 | Поврежденное |
| 6 | <i>Bētula pēndula</i> | 95 | 77 | Поврежденное |
| 7 | <i>Acer negūndo</i> | 82 | 85 | Здоровое |
| 8 | <i>Ácer platanoīdes</i> | 27 | 82 | Здоровое |
| 9 | <i>Syringa vulgaris</i> | 36 | 76 | Поврежденное |
| 10 | <i>Catalpa bignonioides</i> | 27 | 88 | Здоровое |
| 12 | <i>Pīcea pūngens</i> | 20 | 70 | Поврежденное |
| 13 | <i>Pīcea ābies</i> | 13 | 39 | Сильно ослабленное |

Нами установлено, что из пяти преобладающих пород на бульваре им. Рахова только две из них – *Pōpulus pyramidālis* и *Populus balsamifera* находятся в нормальном состоянии и обладают достаточной устойчивостью к загазованности и другим антропогенным нагрузкам. Наиболее многочисленной породой является *Fraxinus lanceolata Borkh*. Однако его *Ln* коэффициент равен 65%, т.е. состояние «поврежденное», причем значение приближается к показателю «сильно поврежденное». Данная порода дерева показала значительную чувствительность к загазованности воздуха, к тому же низкая влажность, уплотненность почвы, отсутствие уходов оказали негативное влияние на устойчивость деревьев к антропогенным нагрузкам. *Ulmus parvifolia* имеет ин-

декс жизненного состояния – 65%. У него встречается большое количество сухих и усыхающих ветвей, искривление ствола и усыхание листьев. Нами установлено, что он хуже, чем ясень, выдерживает сложные городские условия. *Aēsculus hippocāstanum* произрастает в достаточном количестве на Раховском бульваре. Эта порода хорошо переносит повышенное содержание формальдегида в воздухе, но является очень чувствительной к диоксиду серы, поэтому каштан хорошо себя чувствует только в парковых насаждениях, менее подверженных непосредственному действию выхлопных газов [3]. На проезжих же улицах его состояние оценивается как «поврежденное». Его *Ln* = 78%. Теряет декоративные качества в июле. *Bētula pēndula* имеет жизненное

состояние поврежденное – 77% в основном из-за неправильно развитой кроны и наличия усыхающих ветвей. Данная порода является устойчивой к формальдегиду, но очень чувствительной к диоксиду серы [5]. *Acer negúndo* характеризуется здоровым жизненным состоянием – 85%. Он был завезен из Северной Америки, поэтому его называют еще американским кленом. Этот клён представлен на бульваре в виде кустов и деревьев высотой около 10 м, с широкой кроной и ломкими ветвями, быстрорастущими. Такой вид клёна подтвердил свои качества к почвенным условиям (нетребовательный к почвам) и к освещению (светолюбив). *Acer negúndo* хорошо переносит формовку и стрижку (здесь формируют из него живую изгородь – на отрезке от ул. Кутякова до ул. Зарубина). Состояние *Acer platanoides* оценивается как здоровое, индекс жизненного состояния – чуть более 82%. Клен активно здесь растет в высоту до 25–30 лет, с энергично формирующимися боковыми ветками и развивающейся мощной кроной. Продолжительность жизни таких деревьев 150–200 лет (иногда более). Он хорошо размножается семенами, обильно плодоносит почти каждый год. Переносит солнцепек и заморозки. Предпочитает умеренно влажные почвы, довольно он устойчив к загрязнению воздуха. Клен декоративен, особенно весной во время цветения и осенью благодаря осенней окраске [6]. Однако эта порода представлена на обследованных участках всего тремя десятками экземпляров. *Catalpa bignonioides* наиболее многочисленно представлена на участке от ул. Московской до ул. Кутякова, жизненное состояние оценивается как здоровое, что соответствует коэффициенту $L_n = 88\%$. Некоторые деревья имеют усыхающие ветви, образующиеся при поздних заморозках. Хвойные насаждения на

бульваре произрастают в очень небольшом количестве и состоят только из двух видов елей. Наиболее газоустойчивой является *Picea pūngens*, её жизненное состояние здесь оценивается как поврежденное, *Picea abies* практически не переносит загазованности воздуха. Это подтвердилось нашими наблюдениями – её состояние на этом объекте сильно ослабленное. Далее нами установлено, что на бульваре кроме аллеи-ных посадок из *Aesculus hippocastanum*, *Pōpulus pyramidālis* и *Populus balsamifera* присутствуют немногочисленные группы деревьев и кустарников, например, такие:

1) *Bétula péndula*, *Syrínga vulgáris* и *Picea pūngens*;

2) *Fraxinus lanceolata Borkh*, *Aesculus hippocastanum*, *Syrínga vulgáris*;

3) *Aesculus hippocastanum*, *Catalpa bignonioides*, *Cotoneáster lucídus*;

4) *Tília platyphýllos*, *Aesculus hippocastanum*, *Acer platanoides*, *Acer negúndo*;

5) *Bétula péndula*, *Sórbus aucupária*, *Syrínga vulgáris* и *Picea pūngens*.

Живые изгороди практически есть на всем бульваре в удовлетворительном или плохом состоянии, однако на некоторых участках сформированы из *Acer negúndo* (30%), *Cotoneáster lucídus* (40%), *Caragána arboréscens* (20%), *Ulmus glabra* (10%).

Нами выявлено, что при формировании исследуемого бульвара его ландшафтно-планировочная структура была простая, т.е. композиция линейно-пространственная без существенно-выраженных площадок. В настоящее время бульвар имеет линейно-динамическую структуру с включением площадок по центральной его оси и по бокам (асимметрично), например на участке № 2. Нами определены уровни и характер восприятия ландшафтно-архитектурных композиций (табл. 3).

Таблица 3

Уровни и восприятия ландшафтно-архитектурных композиций на бульваре

| Уровень восприятия | Тип восприятия | Фиксируемое восприятие | Точки восприятия |
|--------------------|---|--|-----------------------------|
| Мезоуровень | Стационарный, пешеходный, транспортный (городской и индивидуальный) | Различные виды по прямому маршруту на окружение с ограничением 1-го, 2-го и 3-го плана, перспективы аллеи, отдельные группы ЗН и МАФ | Участки № 3–6 |
| Микроуровень | Стационарный, пешеходный | Фрагменты и детали пейзажей, небольших замкнутых пространств, групп зеленых насаждений, отдельных площадок и МАФ | Участки № 1–4; 6, 7, 10, 12 |

Из табл. 3 видно, что на данном объекте отсутствует макроуровень. Это связано с характером рельефа, т.к. он на всем протяжении бульвара имеет незначительный уклон в сторону городского ПККО. Несмотря на это с бульвара нет раскрытия на панорамы городской застройки и массивы зелени. Мезоуровень представлен всего на четырех участках. Более распространен микроуровень. Следовательно, необходимо усилить на протяжении всего бульвара устойчиво-декоративные композиционные группы из зеленых насаждений за счет более разнообразного ассортимента растений. Нами выявлено, что участки № 2, 5, 7, 8, 11 более замкнуты, чем остальные, и имеют сомкнутость крон до 0,8, что дает, с одной стороны – тень в знойное лето, а с другой стороны – сильное загущенные посадки задерживают развитие газона.

Заключение

Таким образом, наши исследования показали, что сложные уличные условия всех обследованных участков бульвара связаны с высокой загазованностью и запыленностью. В такой ситуации лучше выдерживают следующие виды насаждений: *Pōpulus pyramidālis*, *Populus balsamifera* клен ясенелистный, *Acer negūndo*, *Acer platanoides*, *Ulmus parvifolia*. Установлено, что *Bētula pēndula* при повышении загазованности воздуха усыхает, на всех территориях нет регулярного полива, а *Ulmus parvifolia* чаще, чем другие деревья, он подвержен болезням, вредителям и усыханию. Определено, что *Aésculus hippocástanum* и *Fraxinus lanceolata* Вorkh хорошо себя чувствуют в парковых насаждениях, там, где есть полив, а следовательно, увлажнение снизу, в противном случае каштан теряет свою декоративность к концу июля, что и происходит на бульваре им. Рахова.

Системное озеленение на бульваре им. Рахова отсутствует. Группы зеленых насаждений сформированы стихийно, путем посадки на пустые места, рядом с отпавшими деревьями. Это ухудшает эстетическое восприятие объекта. Следовательно, для улучшения аттрактивности, а также устойчивости к негативным воздействиям на среду необходимо:

- 1) провести санитарные рубки древостоя;
- 2) установить регулярный полив;
- 3) заменить плодородный грунт или его обогатить при помощи введения биогумуса и других питательных веществ;
- 4) сформировать более декоративные композиционные группы из деревьев и кустарников;

5) заменить частично (если не будет организован стационарный полив) *Aésculus hippocástanum* на *Acer platanoides*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Rhus*;

6) *Tilia platyphyllos* заменить на более устойчивый вид *Tilia cordata*;

7) добавить в посадки хвойные насаждения, например *Abies concolor*; разные виды *Juniperus*, *Taxus baccata*;

8) рядом с проезжей частью отреставрировать посадки из *Pōpulus pyramidālis* с дополнением кустарниками *Ulmus glabra*, *Caragána arboréscens*, *Elaeagnus commutata*, *Cornus sanguinea*, *Elaeagnus angustifolia*, *Ligustrum vulgare* (там, где не предусмотрены детские площадки), *Lonicera tatarica*, *Rosa canina*, *Sorbus aria* *Symphoricarpos alba laevigatus*, *Syringa vulgaris*, *Viburnum lantana*;

9) создать газон из устойчивых к загазованности воздуха трав: *Brōmus inērmis*, *Phleum pratense*, *Poa pratēnsis*, *Lolium perenne*, *Agrostis alba*;

10) усилить мезоуровень и микроуровень при помощи включения расширенного ассортимента газоустойчивых видов зеленых насаждений, а также организовать площадки отдыха с раскрытием на торговые комплексы;

11) ограничить движение транспорта на участках № 2, 6, 8, 11, там, где есть скопление торговых комплексов и средних учебных заведений.

Список литературы

1. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. – 1989. – № 4. – С. 51-574.
2. Алексеев Ю.Е. Деревья и кустарники / Ю.Е. Алексеев, П.Ю. Жмылев, Е.А. Карпухина // Энциклопедия природы России. – М., 1997. – 592 с.
3. Колесников А.И. Декоративная дендрология. – М., 1974. – 70 с.
4. Сокольская О.Б. Оценка жизненного состояния зеленых насаждений в городах юго-западной части Приволжской возвышенности (на примере Фрунзенского района г. Саратова) / О.Б. Сокольская, А.Н. Кузин // Аграрный научный журнал. – 2009. – № 5. – С. 33-36.
5. Сокольская О.Б. Формирование объектов озеленения в санитарно-экологических условиях г. Саратова / О.Б. Сокольская, А.Н. Кузин, В.В. Дубровин // Аграрный научный журнал. – 2009. – № 11. – С. 35-38.
6. Сокольская О.Б. Сквозь тени времен (садово-парковое наследие Приволжской возвышенности: эволюция и современное состояние): монография. – Саратов: Изд-во «РАТА», 2010. – 760 с.
7. Сокольская О.Б. Восстановление объектов садово-паркового наследия Поволжья в России: Теоретическое и экспериментальное обоснование возрождения «зеленого зодчества» на территории Приволжской возвышенности. – Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing is a trademark of: OmniScriptum GmbH & Co, 2014. – 400 с.
8. Третьякова Т.А. Роль зеленых насаждений в формировании городской среды Саратова / Т.А. Третьякова, А.А. Вергунова // Ландшафтная архитектура и природоустройство: от проекта до экономики – 2015: материалы II Международной научно-технической конференции / под научной ред. О.Б. Сокольской, И.Л. Воротникова. – 2-е изд., испр. и доп. – Саратов: ООО «ЦеСАин», 2015. – 152 с. – С. 117-118.

УДК 631*231.1+574.42

РОЛЬ РАСТИТЕЛЬНОГО ОПАДА В ФОРМИРОВАНИИ ФИТОГЕННЫХ ПОЛЕЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ТЕХНОГЕННЫХ ЭЛЮВИЯХ КУЗБАССА

Уфимцев В.И., Егорова И.Н.

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии» СО РАН,
Кемерово, e-mail: uwy2079@gmail.com

Изучен состав растительного опада в фитогенном поле деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающих на отвалах вскрышных пород. Изучены концентрация и динамика лигнина и полифенольных соединений в лесной подстилке в пределах фитогенных полей. Установлены незначительные колебания между подкороновой, прикороновой и внешней зонами, в пределах 25–30%, максимальная концентрация наблюдается в переходной прикороновой зоне. Концентрация полифенольных соединений к концу вегетационного периода возрастает в 2–3 раза, что связано со смывом этих веществ с кроны дерева. Максимальное подавление растительности происходит в подкороновой зоне, где только два вида обладают явной положительной реакцией на фитогенное поле сосны – это *Poa angustifolia* L. и *Pinus sylvestris* L. (самосев). Остальные виды имеют приспособительную или, чаще, отрицательную реакции – содержание колинов в подкороновой зоне на уровне 320–560 УКЕ, превышающее аналогичный показатель в прикороновой и внешней зонах в 3–6 раз. Вещественный состав подстилки в подкороновой зоне выделяет вещества, подавляющие развитие большинства травянистых видов. Во внешней зоне, опад которой состоит из остатков травянистых растений, ингибирование практически не наблюдается, в некоторых случаях возможен стимулирующий эффект.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris* L., техногенный элювий, фитогенное поле, аллелопатия, опад, подстилка, лигнин, полифенольные соединения, колины, условные кумариновые единицы (УКЕ)

ROLE OF THE VEGETABLE DEBRIS IN FORMATION OF PHYTOGENOUS FIELDS OF THE SCOTS PINE ON TECHNOGENIC ELUVIUMS OF KUZBASS

Ufimtsev V.I., Egorova I.N.

Federal research center of coal and coal chemistry of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Science, Kemerovo, e-mail: uwy2079@gmail.com

The structure of a vegetable debris in the phytoгенous field of trees of a scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing on dumps of the overburden breeds is studied. Concentration and dynamics of a lignin and polyphenolic connections in a forest laying within phytoгенous fields are studied. Insignificant fluctuations between under-crown, transitional and external zones, within 25–30% are established, the maximum concentration is observed in a transitional, transitional zone. Concentration of polyphenolic connections by the end of the vegetative period increases by 2–3 times that is connected with washout of these substances from a crown. The maximum suppression of vegetation happens in a under-crown zone where only 2 look possess obvious positive reaction to the phytoгенous field of a pine – it is *Poa angustifolia* L. and *Pinus sylvestris* L. (self-sowing). The others of a look have adaptive or, more often, negative reactions – the maintenance of kolin in a under-crown zone at the level of 320–560 UKE, exceeding a similar indicator in transitional and external zones by 3–6 times. The material structure of a laying in a under-crown zone emits the substances suppressing development of the majority of grassy types. In an external zone, which consists of residues litter herbaceous plants, virtually no inhibition is observed, in some cases possible stimulating effect.

Keywords: *Pinus sylvestris* L., technogenic eluvium, phytoгенous field, allelopathy, debris, laying, lignin, polyphenolic connections, guelder-roses, conventional coumarinic units (CCU)

Формирование молодых древесных насаждений, созданных на отвалах угольной промышленности, протекает под влиянием различных групп экологических факторов. По мере своего роста деревья сами начинают изменять условия среды: посредством их фитогенных полей происходит трансформация режима инсоляции и гидротермического режима, а по мере выделения и накопления в среде растительных выделений влияние фитогенного поля дополняется формированием особого аллелопатического режима, подавляющего или, реже, стимулирующего произрастание других

видов растений [3, 6]. Комплексное влияние фитогенных полей выступает механизмом эндокогенеза, в ходе которого виды-эдификаторы лесных сообществ перестраивают «под себя» как условия местообитаний, так и характер взаимоотношений в ценозе.

В отличие от прямой конкуренции за ресурс, при которой наблюдается полное или частичное изъятие какого-либо фактора, эффект аллелопатии зависит от химических соединений – физиологически активных веществ – колинов – выделяемых растениями в среду [7, 9]. В условиях техногенных элювиев, при создании лесных насаждений,

находящихся в нулевом моменте существования экосистемы, накопление колинов связано исключительно с произрастающими на данном этапе растениями и продуктами их жизнедеятельности, из которых важнейшее значение имеет опад [8, 10]. Горизонтальная дифференциация растительного покрова насаждений создает мозаичность формирующейся лесной подстилки и неоднородность накопления аллелопатически активных веществ как одного из основных факторов эндоэкогенетической сукцессии.

Целью данной работы явилось изучение структуры растительного опада, содержания в нем аллелопатических веществ и характера их влияния на виды растений в пределах фитогенных полей сосны обыкновенной, произрастающей на техногенных элювиях угольной промышленности.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены на отвалах Кедровского угольного разреза, в 25-летних насаждениях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Техногенный элювий отвалов состоит из гетерогенной смеси вскрышных горных пород – главным образом, песчанников, с незначительным присутствием частиц угля и конгломератов. Отобраны 3 одиночных модельных дерева, имеющие I категорию жизненного состояния по шкале В.А. Алексеева и I класс бонитета. Высота деревьев составляет 10,6–11,4 м, ступень толщины – 18–20 см, диаметр кроны – 2,7–3,5 м, высота прикрепления кроны – 20–40 см. В пределах подкроновой (П), прикромовой (ПК) и внешней (В) зон фитогенных полей проведены описания растительного покрова, определены доминирующие виды растений и их общее проективное покрытие (ОПП).

Для определения аллелопатически активных веществ отбор подстилки проводился в начале (III декада мая), в середине (III декада июля) и в конце вегетационного периода (III декада сентября). Образцы отбирались в пределах фитогенных полей каждого модельного дерева на учетных площадках размером 30×60 см: 2 образца в подкромовой зоне – из верхнего (опадного – L) и нижнего (ферментативного – F) горизонта подстилки, по одному образцу – в остальных зонах. Образцы высушивались до воздушно-сухого состояния и взвешивались с определением доли каждой растительной фракции. Перед проведением исследований выделялись аналитические пробы, измельчались до частиц размером 1 мм. В аналитических пробах определяли содержание золы методом сухого озоления. Определение лигнина проводили по

ГОСТ 26177.84, определение полифенольных соединений – по ГОСТ 24027.80 [4].

Определение активности аллелопатических веществ в подстилке проводили методом биопроб по А.М. Гродзинскому [2] на тест-культурах редиса (*Raphanus sativus* L. convar. *radicula*). Водная вытяжка готовилась из аналитической пробы за 24 часа до начала проращивания из расчета 1:100. В качестве контрольного варианта выбрано проращивание семян в талой снеговой воде. Проращивание проводилось в чашках Петри по 100 семян по каждому варианту в трехкратной повторности в термостате с постоянной температурой +28°C. Учет всхожести проведен при прорастании 50% в контроле. Процент всхожести семян биотеста пересчитывали по шкале условных кумариновых единиц (УКЕ). Морфометрические параметры измерены в стандартные сроки для прорастания редиса – через трое суток после начала проращивания.

Повторность всех опытов была трёхкратной. Анализ результатов проводили методами математической статистики (ПО Untitled).

Результаты исследования и их обсуждение

В фитогенном поле модельных деревьев наблюдается горизонтальная дифференциация растительного покрова: доминирующими видами растений в подкромовой зоне являются собственно самосевы *P. sylvestris* L. (ОПП достигает 30–50%) и *Poa angustifolia* L. (10–70%), в прикромовой резко преобладает *Melilotus officinalis* L. (30–100%), во внешней представлены *Dactylis glomerata* L. (20–70%), *Centaurea scabiosa* L. (10–50%), *Agrostis gigantea* L. (10–30%), *Galium verum* L. (5–15%), *Achillea millefolium* L. (5–10%), *Amoria hybrida* L. (2–5%).

Отличительной характеристикой подстилки в прикромовой зоне является высокая фитомасса – 4326–4623 г/м² с учетом обоих горизонтов (L + F), что на порядок выше, чем во внешней зоне, и на 2 порядка – чем в прикромовой (табл. 1). В течение вегетационного периода наблюдается повышение концентрации в подстилке лигнина на 11–58%, полифенолов – в 2,1–2,7 раза (табл. 2), что связано, вероятно, с выделением последних кроной деревьев и постоянным смывом летними осадками [4].

Таблица 1

Воздушно-сухая масса подстилки в фитогенном поле моделей

| Срок взятия образца | Всего ($X \pm x$), г/м ² | | | |
|---------------------|---------------------------------------|-----------------|-------------|----------|
| | Подкромовая (L) | Подкромовая (F) | Прикромовая | Внешняя |
| Май | 894 ± 36 | 3452 ± 153 | 21 ± 15 | 334 ± 48 |
| Июль | 811 ± 52 | 3697 ± 182 | 61 ± 40 | 277 ± 52 |
| Сентябрь | 913 ± 67 | 3710 ± 262 | 119 ± 30 | 457 ± 42 |

В нижнем (F) слое подстилки подкороновой зоны концентрация лигнина и полифенолов колеблется незначительно – вероятно, основная масса смытых веществ сорбируется в верхнем (L) слое и туда не попадает, либо вымывается в техногенный элювий, учитывая высокую зольность материала (31,2%) (рис. 1). Наиболее существенное повышение отмечено во внешней зоне. Максимальная концентрация во все периоды наблюдений установлена в прикороновой зоне, вероятно, вследствие перераспределения осадков кроной деревьев и их максимального выпадения в данной зоне: так, в подкороновой зоне концентрация полифенолов на 5–36% ниже, а во внешней зоне – на 41–96%.

Различия концентраций лигнина и полифенолов связаны, вероятно, с составным составом подстилки (табл. 3). В подкороновой зоне в L-слое преобладает хвоя – 44–56% и шишки – 32–42%, в F-слое доля хвои составляет 79–89%, поскольку опад здесь более ранний, в основном до

начала активного плодоношения деревьев. Доля мелких веток составляет 1–10% и, вероятно, не играет существенной роли в формировании подстилки. Опад травянистых растений присутствует в L-слое – около 2%.

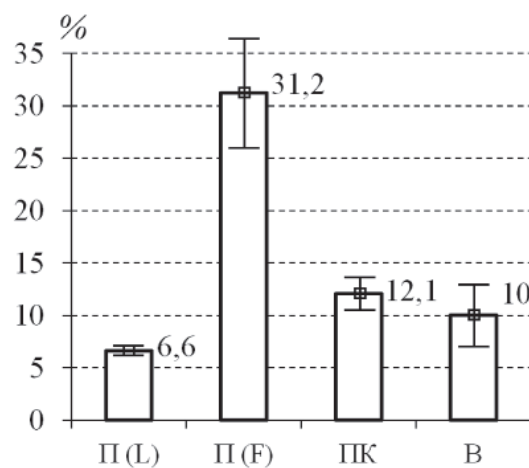


Рис. 1. Средняя зольность подстилки в фитогенном поле деревьев

Таблица 2

Динамика концентраций лигнина и полифенольных соединений в подстилке

| Образцы* | Лигнин, % | | | Полифенольные соединения, % | | |
|------------------|------------|------------|------------|-----------------------------|--------------|-------------|
| | Май | Июль | Сентябрь | Май | Июль | Сентябрь |
| Подкороновая (F) | 36,2 ± 1,4 | 43,8 ± 0,7 | 37,9 ± 0,7 | 0,24 ± 0,02 | 0,244 ± 0,02 | 0,33 ± 0,02 |
| Подкороновая (L) | 35,0 ± 0,3 | 39,9 ± 1,5 | 42,2 ± 0,6 | 0,36 ± 0,01 | 0,555 ± 0,02 | 0,97 ± 0,01 |
| Прикороновая | 43,8 ± 1,4 | 46,0 ± 4,7 | 48,9 ± 3,2 | 0,49 ± 0,01 | 0,642 ± 0,01 | 1,02 ± 0,01 |
| Внешняя | 24,8 ± 1,3 | 34,2 ± 0,7 | 38,5 ± 0,2 | 0,25 ± 0,02 | 0,521 ± 0,01 | 0,69 ± 0,03 |

Таблица 3

Динамика массы фракций подстилки в течение вегетационного периода

| Сроки | Доля фракций, % | | | | |
|------------------|-----------------|-------|-------|-------|--------|
| | хвоя | шишки | ветки | травя | листья |
| Подкороновая (L) | | | | | |
| Май | 52,0 | 41,0 | 6,5 | 0,6 | 0,0 |
| Июль | 44,6 | 42,6 | 10,7 | 2,1 | 0,0 |
| Сентябрь | 56,7 | 32,3 | 8,7 | 2,3 | 0,0 |
| Подкороновая (F) | | | | | |
| Май | 82,3 | 7,8 | 9,8 | 0,1 | 0,0 |
| Июль | 89,1 | 9,5 | 1,4 | 0,0 | 0,0 |
| Сентябрь | 79,3 | 16,2 | 4,5 | 0,0 | 0,0 |
| Прикороновая | | | | | |
| Май | 39,5 | 45,7 | 1,3 | 13,5 | 0,0 |
| Июль | 44,8 | 40,4 | 0 | 12,3 | 2,5 |
| Сентябрь | 38,3 | 27,9 | 1,3 | 18,4 | 14,1 |
| Внешняя | | | | | |
| Май | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 99,9 | 0,0 |
| Июль | 0 | 0,0 | 0,0 | 99,3 | 0,7 |
| Сентябрь | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 48,6 | 51,4 |

В прикромовой зоне сохраняется высокая доля хвои (38–44 %) и шишек (27–45 %), доля массы травянистых остатков возрастает до 12–18 %, к концу вегетационного периода добавляется около 14 % листья березы повислой и осины, единично произрастающих в насаждении. Во внешней зоне подстилка состоит почти целиком из опада луговой растительности, к концу вегетации существенна доля листьев, до половины общей массы, которая увеличивается примерно на такую же величину. Шишки во внешней зоне не отмечались, хвоя встречается единично (табл. 3).

Таким образом, подстилка во внешней зоне фитогенного поля имеет совершенно иной состав, чем в подкромовой и прикромовой. Повышение концентраций лигнина и полифенольных соединений характерно как для опада сосны, выступающей эдификатором сообщества, так и для травянистых видов подчиненного яруса. Различия фитомассы подстилки по зонам, хотя и определяют удельное содержание лигнина и полифенолов, скорее всего имеют второстепенное значение в подавлении тех или иных видов растений, в то время как на первый план выходят именно различия структуры подстилки.

Как известно, аллелопатический эффект различных групп веществ, выделяемых растениями, может быть совершенно различным – в одних условиях они выступают ингибиторами, в других – стимуляторами роста, в третьих – не действуют [2]. Вероятно, различным составом аллелопатически активных веществ – колинов – обусловлены различия состава доминирующих видов по зонам фитогенных полей. Доминанты подкромовой зоны, вероятно, устойчивы к действию колинов сосны обыкновенной и имеют к ее фитогенному полю положительную реакцию. В первую очередь это касается *P. angustifolia* L., и, вероятно, других видов мятликов. Работами О.П. Лавровой с сотр. [5] установлено, что выделения сосны оказывают стимулирующее воздействие на прорастание семян *P. pratensis* L., тогда как прорастание прочих видов – подавляют.

Экспериментальные данные показали, что реакция тест-культуры соответствует реакции вида, имеющего отрицательную реакцию на фитогенное поле сосны (рис. 2).

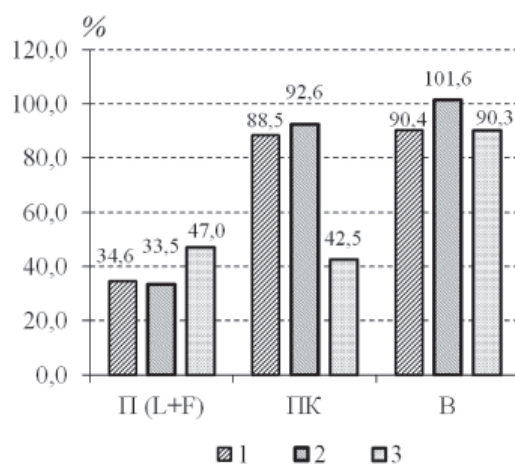


Рис. 2. Реакция тест-культуры на содержание колинов в подстилке, в % от контроля:
1 – всхожесть (%);
2 – энергия прорастания (%);
3 – длина проростков (см)

В подкромовой зоне всхожесть и энергия прорастания в 3 раза ниже, чем в контроле, и соответствует в среднем 320 УКЕ, а в приствольной части подавление максимальное – содержание колинов составляет 560 УКЕ (рис. 3).

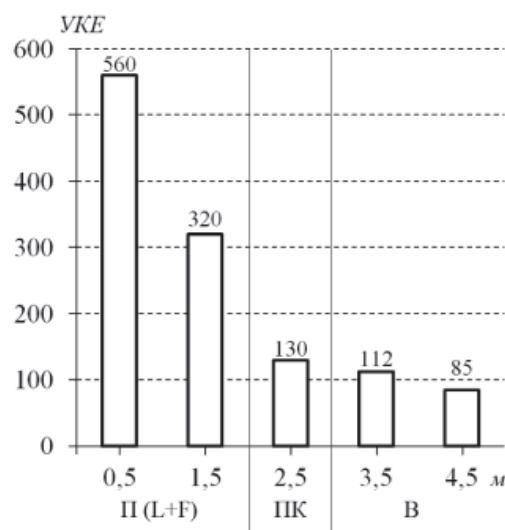


Рис. 3. Содержание колинов (УКЕ) в подстилке по мере удаления от ствола дерева

В прикромовой зоне показатели прорастания семян возрастут более чем в 2 раза, содержание колинов снижается до 130 УКЕ однако низкая морфометрия проростков (менее половины от контроля) свидетельствует о существенном подавляющем влиянии на ростовые процессы. В подстилке внешней зоны тест-культура подавляется менее чем на 10%, наблюдается даже некоторая стимуляция (+1,6%) энергии прорастания (рис. 2).

Заключение

Повышенная концентрация лигнина и, в большей степени, полифенольных соединений характерна для прикромной зоны фитогенных полей, в то время как максимальное подавление тест-культур и, соответственно, содержания колинов приурочено к подкромной зоне. Определяющее значение для подавления растений подчиненного яруса имеет не концентрация данных веществ в подстилке, а тип опада, ее составляющего и значительно различающегося в пределах зон влияния деревьев. Экстракт опада во внешней зоне практически не оказывает подавляющего воздействия на тест-культуры, таким образом свидетельствуя о существенном ослаблении аллелопатического режима в фитогенном поле при удалении к центру консоры – модельному дереву. Вещественный состав подстилки играет основную роль в распределении видов растений, имеющих различную реакцию на выделения опада сосны – с одной стороны, и опада травянистых растений – с другой. Большинство видов обладают отрицательной реакцией на фитогенное поле деревьев сосны обыкновенной, произрастающих на техногенных элювиях, виды с приспособительным и положительным типом реакций, устойчивые к воздействию колинов, находятся в меньшинстве.

Работа проведена при поддержке гранта РФФИ 14-04-31088.

Список литературы

1. Горбунова Ю.В. Баланс углерода в культурах сосны техногенных ландшафтов // Вестник КрасГАУ. – 2008. – № 2. – С. 142–148.
2. Гродзинский А.М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ. – Киев: Наукова думка, 1965. – 200 с.
3. Гродзинский А.М. Парадигмы в аллелопатии // Методологические проблемы аллелопатии: сб. науч. тр. АН УССР. ЦРБС. – Киев: Наукова думка, 1989. – С. 3–14.
4. Колмогорова Е.Ю. Динамика накопления дубильных веществ в хвое и побегах сосны обыкновенной, произрастающей в различных экологических условиях угольного отвала // Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов: материалы III Международной конференции. – Кемерово, 18–19 сентября 2012. – Кемерово, 2012. – С. 93–95.
5. Лаврова О.П., Петров Д.А., Аржаева Е.В., Мирошкина Д.Ю. Аллелопатическое влияние деревьев на формирование травянистого покрова в их подкромном пространстве // Студенческий научный форум: IV Международная студенческая электронная научная конференция. – 2012. – <http://www.rae.ru/forum2012/266/2804>. (Дата обращения 14.02.2016).
6. Матвеев Н.М. Аллелопатия как фактор экологической среды. – Самара: Кн. изд-во, 1994. – 203 с.
7. Передериева В.М., Власова О.И., Шутко А.П. Аллелопатические свойства сорных растений и их растительных остатков в процессе минерализации // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 73. – <http://ej.kubagro.ru/2011/09/pdf/11.pdf>. (Дата обращения 25.01.2016).
8. Работнов Т.А. Экспериментальная фитоценология. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. – 160 с.
9. Райс Э. Аллелопатия: пер. с англ.; под ред. А.М. Гродзинского. – М.: Изд-во «Мир», 1978. – 392 с.
10. Решетникова Т.В., Зырянова А.А., Ведрова Э.Ф. Трансформация органического вещества лесной подстилки (экспериментальное исследование) // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 6. – С. 80–93.

УДК 528.9: 556.166

**КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РИСКОВ ОТ НАВОДНЕНИЙ
НА РЕКАХ БАСЕЙНА ОЗЕРА БАЙКАЛ****Борисова Т.А.***ФГБУН «Байкальский институт природопользования» СО РАН,
Улан-Удэ, e-mail: tabor@binm.bscnet.ru*

В статье представлена процедура геоинформационного картографирования природных рисков на примере наводнений на реках бассейна оз. Байкал. В основу содержания карты положены результаты оценочных операций расчетов рисков для территории и населения. Методика оценки заключается в вероятностно-площадном подходе по показателям опасности. Повторяемость и величина наводнений определены на основании многолетних данных по 39 гидрологическим постам уровня режима в динамике с 1936 г. Определение площадей затоплений по цифровой модели местности высокой метрической точности с помощью ГИС технологий в программной среде Arc GIS. Оценка риска – ожидаемых потерь при возникновении опасности на освоенной территории рассчитана через параметр уязвимости, что позволило определить физические показатели рисков, а их удельные значения использованы при картографировании и выявлении уровня рисков. В результате создан ряд вспомогательных частных карт пораженности земель разных категорий и населения (индивидуальный риск) при нескольких сценариях прохождения наводнений. Обобщенный анализ и сравнение частных карт позволили разработать карту интегрального риска от наводнений на реках бассейна оз. Байкал. Карта риска представляет наглядную картину возможности возникновения чрезвычайных ситуаций в регионе и является основанием для необходимости проведения комплекса различных мероприятий по снижению рисков от наводнений и разработки научно обоснованных рекомендаций по планированию территории бассейна оз. Байкал.

Ключевые слова: картографирование, природные риски, наводнения, показатели опасности, пораженность территории и населения, карта интегрального риска

**MAPPING OF NATURAL RISKS OF FLOODING
ON THE RIVERS OF THE BAIKAL LAKE BASIN****Borisova T.A.***Baikal Institute of Nature Management (BINM SB RAS), Ulan-Ude, e-mail: tabor@binm.bscnet.ru*

The paper presents the procedure of mapping of the natural risks using geoinformational mechanism, on the case of flooding on the rivers of the Baikal Lake basin. The map is based on the results of assessment operations of risks calculations for the territory and the population. Assessment method consists in the probabilistic areal approach based on risk indicators. The repetition frequency and the magnitude of floods are defined on the basis of long-term data from the 39 hydrological stations of the level regime in the dynamics since 1936. The flooded areas were determined on the digital terrain model of high metric accuracy using GIS technology in the Arc GIS software environment. Risk assessment, an assessment of expected losses in case of danger on the developed area is calculated through the parameter of vulnerability. It allowed to determine the physical risk indicators and their specific values were used for mapping and identification of the level of risk. It resulted in creation of series of auxiliary maps of the prevalence of different categories of lands and population (individual risk) for several scenarios of flooding. A generalized analysis and comparison of private maps allowed us to develop an integrated flood risk map on the rivers of the Baikal Lake basin. The risk map is a clear picture of possible emergencies in the region and is the rationale for the need for a set of different measures to reduce the risks of flooding and develop evidence-based recommendations for the land use planning of the Baikal Lake basin.

Keywords: mapping, hazard assessment, floods, hazard index, prevalence of the territory and population, integral risk map

Одним из основных направлений географического подхода анализа-оценки природных и природно-антропогенных рисков является их визуализация как универсального инструмента не только наглядного отображения и пространственного измерения опасных процессов и явлений, но и выявленного уровня негативного воздействия на человека и среду его обитания. Картографирование рисков непременно должно быть основано на главных принципах географии – антропоцентрического подхода и оценочности. По методической процедуре оно представляет собой сквозной про-

цесс создания ряда информационных, оценочных промежуточных и итоговых карт различной направленности и содержания. Инвентаризационное картографирование базируется на составлении и интерпретации ряда тематических карт природы, населения и хозяйства. Аналитическое – заключается в разработке серии оценочных карт опасности и частных рисков на основе рассчитанных показателей и географических данных инвентаризационных карт. Синтетическое – представляет собой синтез аналитических карт и дает целостную интегральную оценку риска.

Современным механизмом, позволяющим организовать действия по регистрации геоданных об опасных природных процессах, их однозначной локализации и созданию геоинформационных моделей в один управляемый процесс, является геоинформационная технология. Также она обеспечивает автоматизированную оценку всех метрических и содержательных аспектов развития опасных природных процессов [6, 3, 4].

Объектом для исследования и картографирования рисков от наводнений определены главные реки бассейна оз. Байкал. Самая большая из них – Селенга, протекающая по территории России и Монголии, площадь водосбора 447 тыс. км². В ее бассейн входят реки Орхон, Эгийн-Гол, Чикой, Хилок, Уда, Джида, Темник. Значительными водотоками Среднего и Северного Байкала являются Баргузин и Верхняя Ангара.

Повышения уровней и расходов воды в реках отмечаются во время весенних половодий и летних дождевых паводков. Вскрытие нередко сопровождается заторными явлениями, ведущими к резким кратковременным подъемам воды. Анализ повторяемости по генезису их формирования свидетельствует о преобладании на реках Южного и Среднего Байкала паводковых наводнений (61–90%) и незначительно – половодно-паводковых. На Северных реках чаще отмечаются половодно-паводковые наводнения (42–90%). На локальных участках рек зажимов, сужений русел природного и антропогенного характера возможны заторные наводнения и крайне редко незначительные загорные [1, 6, 8].

Исходной информацией послужили многолетние данные по 39 гидрологическим постам уровня режима и максимальных расходов в динамике с 1936 г., интенсивности подъема и спада воды, продолжительности стояния высоких отметок, общих сведений и фактов о наводнениях из материалов МЧС, Бурятского республиканского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Гидрометеоцентра Монголии, статистических сборников и литературных источников. Также использованы справочные и современные картографические материалы по населению, размещению промышленных транспортных и бытовых объектов.

Картографической базой являлась векторная топооснова масштаба 1:100000, высотной основой – цифровая модель рельефа (ЦМР), исходными данными, для формирования которой послужили векторные изолинии рельефа и отметки высот и глубин мас-

штаба 1:50000. При проецировании сцены космических снимков высокого разрешения на ЦМР создана цифровая модель местности высокой метрической точности [3, 4].

В основу содержания карты положены обобщенные результаты оценочных операций и расчетов рисков для населения и хозяйства. Непосредственно сама методика оценки заключается в определении ожидаемых потерь при возникновении опасности на освоенной территории и состоит из взаимосвязанных последовательных поэтапных шагов. Для объективности информации, необходимой при картографировании, в работе применяется вероятностно-площадной подход, основанный на показателях опасности. Классификационными показателями опасности являются повторяемость, которая рассчитывается как отношение числа лет с наводнениями к числу лет в рассматриваемый период; величина (глубина затопления) – как разница подъема уровня воды над уровнем критическим с учетом продолжительности стояния опасных уровней и площади затоплений. Расчеты показателей рисков базируются на методических приемах через параметр уязвимости, определение которого позволяет определить физические показатели рисков и их удельные значения [7, 6]. При картографировании в сравнительной оценке и выявлении уровня применяются удельные данные.

Карты рисков, выполненные таким образом, в сравнение с балльными оценками достаточно точны, обладают высокой достоверностью и представляют не только научный, но и большой практический интерес. Апробация методики проведена в бассейне р. Селенга в пределах российской части, в дальнейшем включена монгольская часть. Последние исследования выполнены на реках Среднего и Северного Байкала.

На начальном этапе регистрации наводнений выделены бассейны главных рек, гидрологические посты, наполнена атрибутивная база первичных гидрологических данных, что позволило определить повторяемость и величину наводнений. Учитывая орографические особенности, различия гидрографических характеристик строения долины, русла, развитости поймы исследуемых рек, их бассейны разделены на участки с характерными показателями опасности. Выявление вероятных границ затопления осуществлено на основе рассчитанного показателя величины наводнений по крупномасштабной топографической основе и цифровой модели местности высокой

метрической точности. Определение площадей с помощью ГИС технологий в программной среде Arc GIS. Совмещение слоя зон затопления с картами современного использования земель, сельскохозяйственной, населения и функциональных типов поселений дало возможность выделить площади земель разных категорий.

Анализ показателей опасности показывает, что на реках бассейна оз. Байкал небольшие наводнения регистрируются с повторяемостью 0,6–0,8 и лишь на отдельных участках – верховья рек Селенга, Чикой, Джиды, Верхняя Ангара, Баргузин показатель может достигать 0,9. При средних-больших наводнениях повторяемость составляет 0,08–0,4. Затоплению подвергаются преимущественно сельскохозяйственные земли, частично отдельные объекты и населенные пункты. Выдающиеся (катастрофические) наводнения – это исключительно высокие и широкомасштабные, которые охватывают практически весь речной бассейн и парализуют всю хозяйственную деятельность. Случаются они относительно редко с частотой 0,03–0,08, причем чаще в бассейне р. Селенга. В зону поражения попадает большая часть поймы с сельскохозяйственными, промышленными, транспортными землями и землями поселений.

По показателю величины наводнений их максимальные значения наиболее харак-

терны для периода летних паводков, где глубина слоя воды на пойме может достигать 3 и более метров. Исключительные подъемы зарегистрированы в бассейне р. Селенга ее российской части. В районе с. Новоселенгинск глубина затопления достигала в 1971 г. 419 см и с. Хамней на р. Джиды – 437 см.

Затоплению подвергаются преимущественно земли сельскохозяйственного назначения, земли населенных пунктов, а также промышленности (мосты, дороги, линии связи и электропередач) и незначительно земли запаса и лесного фонда. Так, на р. Селенга при наиболее высоких наводнениях общая площадь возможного поражения составляет 3,4% территории бассейна и 9,5% площади сельхозугодий, р. Баргузин – 5,3% и р. Верхняя Ангара 3,5%. Для примера на рис. 1 представлено ранжирование территории по показателям опасности наводнений на р. Баргузин и р. Верхняя Ангара [1, 9].

В результате геоинформационного картографирования сформирован пространственно-временной ряд гидрологических и гидрографических геоданных, что позволяет конструировать имитационные модели механизма формирования и развития наводнений на реках бассейна оз. Байкал. Кроме того, полученные промежуточные результаты явились основой дальнейших оценочных операций показателей рисков, в том числе удельных.

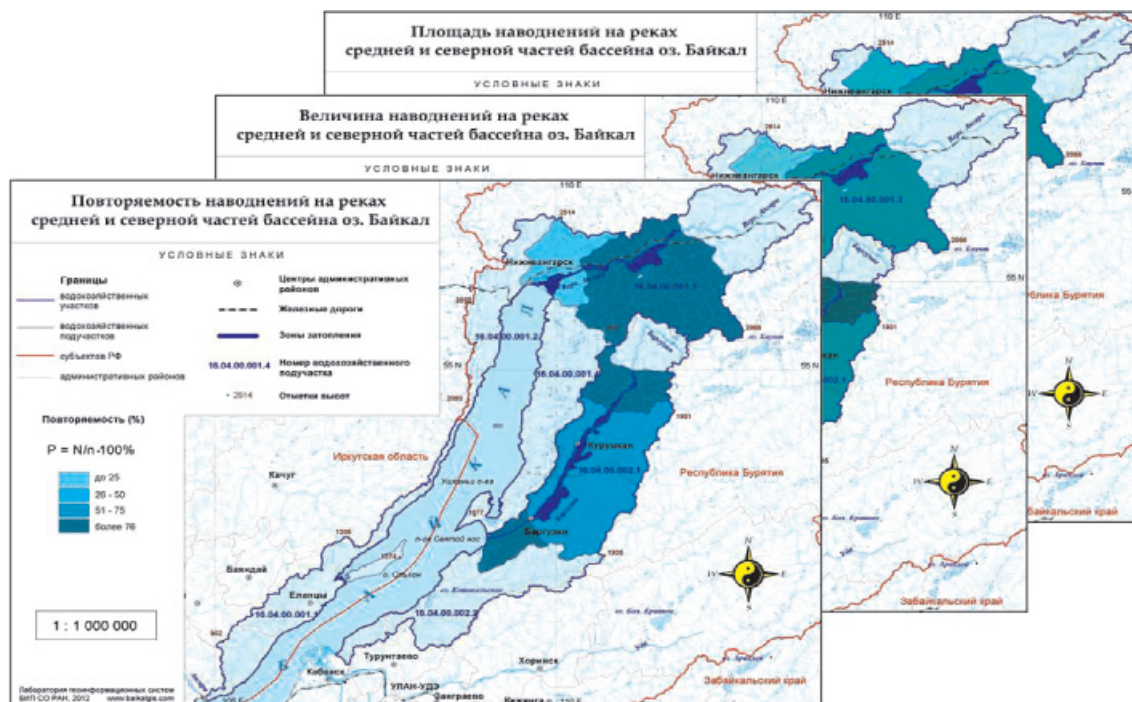


Рис. 1. Ранжирование территории по показателям опасности наводнений на реках Баргузин, Верхняя Ангара

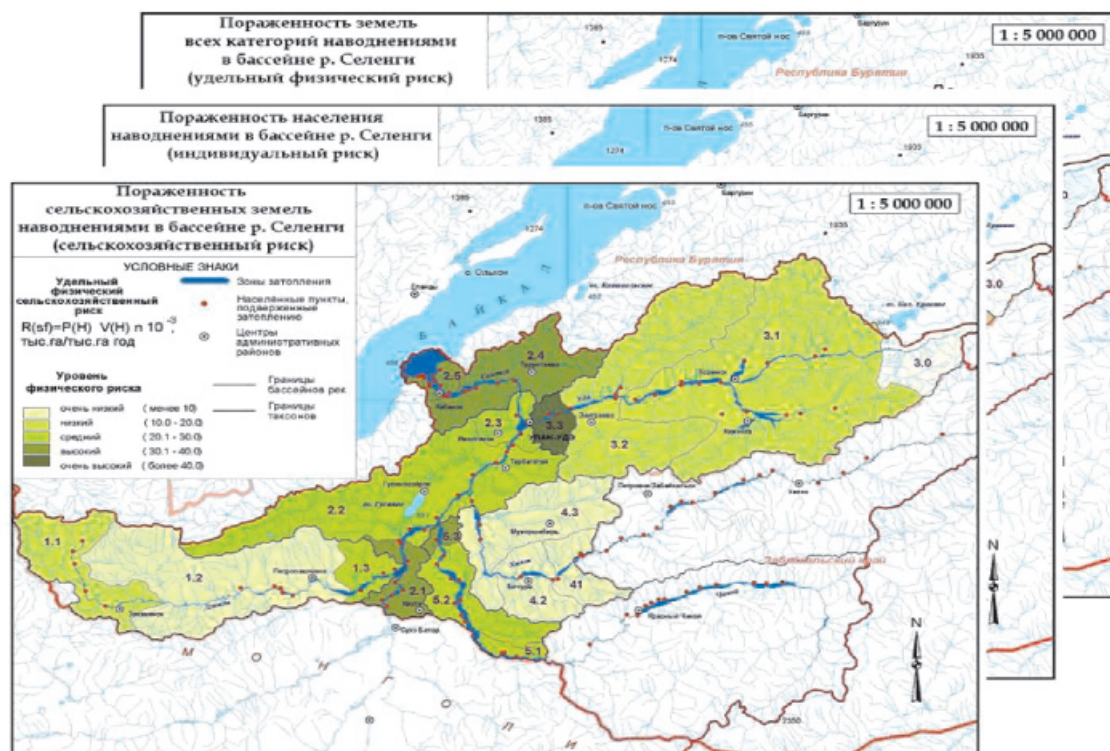


Рис. 2. Пример пораженности земель и населения наводнениями в бассейне р. Селенга

В рассматриваемом масштабе показатели определены для сельскохозяйственных земель, земель разных категорий (земли населенных пунктов, промышленности, запаса и лесного фонда) и населения (индивидуальный риск), по значениям которых выполнены частные карты рисков или карты пораженности земель и населения наводнениями (рис. 2). Так, карта «Сельскохозяйственный риск» отражает подверженность сельскохозяйственных земель затоплениям и подтоплениям. Значения показателей изменяются в пределах $2,2-70,5 \cdot 10^{-3}$ тыс. га/тыс. га год. Высокими величинами характеризуются равнинные участки рек с развитой поймой бассейнов рек преимущественно южного Байкала. Это наиболее освоенные земли центральной части бассейна Селенги (южные районы Бурятии и северные приграничные Монголии), ее дельты, а также р. Баргузин. Карта индивидуального риска достаточно объективно иллюстрирует его различный уровень, обусловленный заселенностью и плотностью населения прибрежных территорий. Полученные значения в сравнении с западными регионами России относительно малы. Диапазон составляет $0,1-31,5 \cdot 10^{-3}$ чел./чел. год, причем в большинстве своем он не превышает $1,0 \cdot 10^{-3}$ чел./чел. год. Высокому индивидуальному риску подвержены территории непосредственно Селенги и Уды, как наиболее густонаселенные. По-

казатели здесь в несколько раз превышают среднебассейновый [6, 9, 10].

Карта интегрального риска от наводнений разработана по результатам обобщенного анализа полученных удельных показателей и сравнения частных карт риска. При выявлении уровня суммарного риска большой вес имели показатели поражения населения (индивидуальный риск). Таким образом, на основании проведенных исследований составлена карта (рис. 3), которая иллюстрирует интегральный риск от наводнений на реках бассейна оз. Байкал [2]. Фоновую основу данной карты составляет территориальная дифференциация уровня суммарного показателя риска. В целом повышенным уровнем риска в сравнении с другими характеризуется территория бассейна р. Селенга с большой опасностью затоплений наиболее густозаселенной и хозяйственно освоенной части Байкальского региона. Причем очень высокий суммарный риск, где индивидуальный имеет максимальные значения, выявлен на участке нижнего течения р. Селенга при слиянии с р. Уда. В зону затопления входит левобережная часть г. Улан-Удэ. Кроме того, высокий уровень выделяется на участках приграничья при впадении рек Джиды и Чикой, а также дельты. На реках среднего и северного Байкала показатели рисков не превышают средних значений.

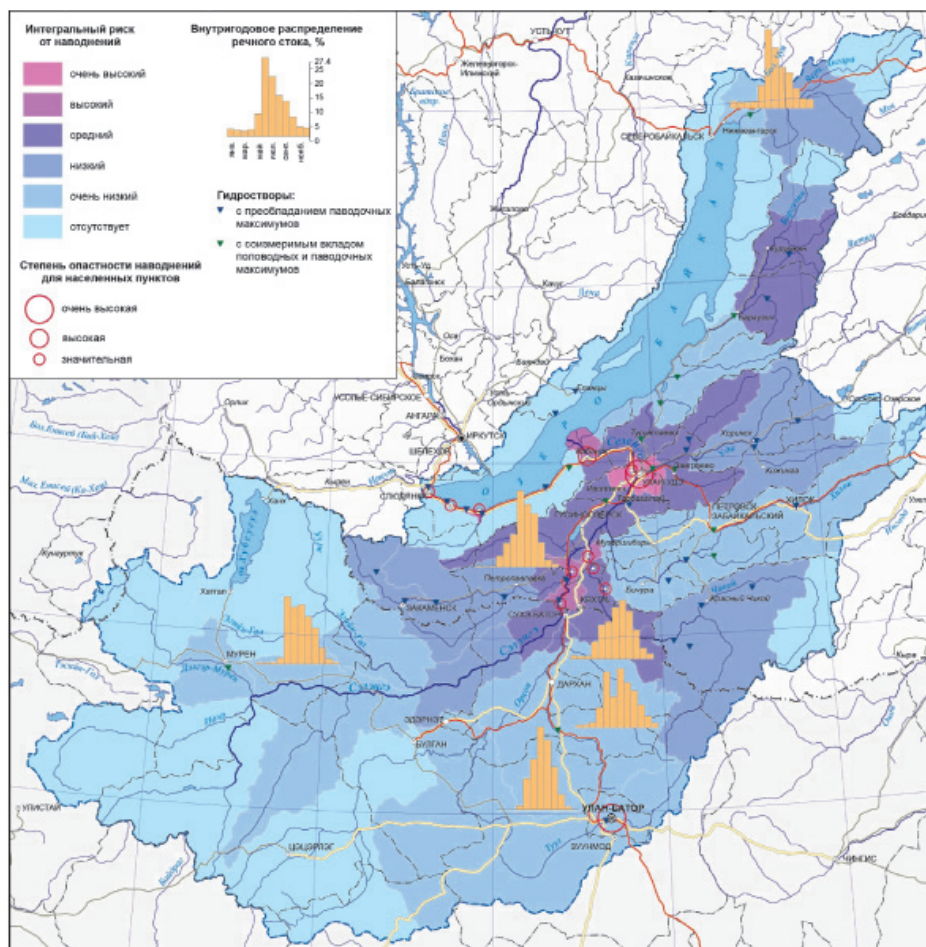


Рис. 3. Карта наводнения. Интегральный риск

В качестве дополнительной информации отдельных характеристик наводнений на карте представлены отдельные диаграммы внутригодового распределения речного стока, генезис экстремальных максимумов по гидростворам. Также отражены крупные населенные пункты с высокой степенью опасности – г. Улан-Удэ, пос. Наушки, пос. Кабанск, пос. Сотниково, с. Чикой и др. [5].

В целом данная карта, выполненная последовательно по методике, достаточно объективна. Она представляет наглядную картину возможности возникновения чрезвычайных ситуаций в регионе и является основанием для необходимости проведения комплекса различных мероприятий по снижению рисков от наводнений на реках и разработки научно обоснованных рекомендаций по планированию территории бассейна оз. Байкал.

Список литературы

1. Борисова Т.А., Бешенцев А.Н. Территориальная оценка риска от наводнений в Байкальском регионе в условиях экологических ограничений // Безопасность жизнедеятельности. – М.: Изд-во «Новые технологии», 2011. – № 12. – С. 32–38.

2. Борисова Т.А., Кичигина Н.В., Бешенцев А.Н., Г. Даваа. Наводнения // Экологический Атлас бассейна оз. Байкал. – Иркутск: Ин-т географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. 1:5000000 Мб. 2014.

3. Бешенцев А.Н., Борисова Т.А. Картографическая оценка природного риска от наводнений в бассейне оз. Байкал // Геодезия и картография. – 2013. – № 7. – С. 26–30.

4. Бешенцев А.Н. Геоинформационная система долгосрочного мониторинга природопользования / Информационные технологии. – 2015. – Т. 21, № 8. – С. 625–629.

5. Кичигина Н.В. Генетический и статистический анализ максимального стока рек юга Восточной Сибири // Природные и социально-экономические условия регионов Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – С. 19–22.

6. Борисова Т.А. Природно-антропогенные риски в бассейне оз. Байкал. – Новосибирск. Изд-во «Гео», 2013. – 126 с. – ISBN 978-5-906284-19-8.

7. Природные опасности России. Тем. т. 6. Оценка и управление природными рисками / под ред. А.Л. Рагозина. – М.: Издательская фирма «КРУК», 2003. – 320 с.

8. Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 16, выпуск 3. Бассейн оз. Байкал (Забайкалье) / под редакцией М.Г. Васковского. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1973. – 400 с.

9. Борисова Т.А. Оценка риска от наводнений на реках Баргузин и Верхняя Ангара // Материалы XV Совещания географов Сибири и Дальнего востока. – Иркутск: Изд-во ИГ им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. с. 391-393.

10. Borisova Tatyana River floods in the Baikal lake basin: the mechanism of formation, risk assessment, the consequences // Proceedings of the international science conference «Current Environmental Issues – Approaches to Solutions». – Darkhan-Uul, Mongolia, 2015. – P. 73–77.

УДК 582.26. (571.64)

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОЕМОВ ОСТРОВА МАТУА
(СРЕДНИЕ КУРИЛЫ) ПО ДАННЫМ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА****Гребенникова Т.А.***ФГБУН «Тихоокеанский институт географии» ДВО РАН,
Владивосток, e-mail: tagrebennikova@mail.ru*

Приведены результаты изучения диатомовых водорослей за три года (2007–2010 гг.) наблюдений в небольших озерах о. Матуа (Средние Курилы), находившихся под влиянием Симуширского цунами 2006 г. и вулканического пеплопада во время извержения влк. Пик Сарычева в 2009 г. Проведен эколого-географический анализ диатомовой флоры, рассмотрены взаимосвязи ассоциаций диатомей с pH воды, минерализацией и температурой и прослежена сукцессия доминирующих видов. После цунами во всех озерах были обнаружены морские и солоноватоводные виды. При повторном обследовании после извержения влк. Пик Сарычева установлено, что в диатомовых ассоциациях начали доминировать виды, показывающие снижение активной реакции воды в озерах, морские виды не были найдены. Наиболее заметно эти изменения проявились в водоемах, имеющих слабощелочную и нейтральную активную реакцию воды, и в меньшей степени в водоемах с низкими показателями pH среды. В дальнейшем отмечается тенденция к восстановлению в озерах исходных экологических условий, что проявилось в снижении численности массовых видов и в относительном содержании разных экологических групп диатомей в диатомовых ассоциациях.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, озера, pH воды, минерализация, Средние Курилы**ECOLOGICAL FEATURES OF THE LAKES OF MATUA ISLAND
(MIDDLE KURILS) BY DIATOM DATA****Grebennikova T.A.***Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: tagrebennikova@mail.ru*

The results of diatom study (2007–2010) of small lakes of Matua Island (Middle Kurils) under Simushir tsunami 2006 and volcanic ash fall of Sarychev Peak Volcano at 2009 impact are discussed. Ecological-geographical analysis of diatom flora was carried out, the connection of main assemblages with water pH, salinity and temperature were analyzed and the succession of dominant taxa was found. At 2009 after Peak Sarychev Volcano eruption the dominant taxa became species which show decreasing of pH. Marine species were absent. Such changes were more pronounced in the lakes with weak alkaline or neutral water and poor pronounced in the lakes with low pH. The tendency to reduction to initial environments was noted, that led to decreasing of content of dominant species and proportion of different ecological groups in the diatom assemblages.

Keywords: diatoms, lakes, pH, salinity, Middle Kurils

Изучение диатомовых водорослей современных пресных водоемов позволяет выявить особенности видового состава, экологической структуры и проследить сукцессию диатомей, что является важной предпосылкой для реконструкций развития водоемов в прошлом. Особенно важны подобные работы для Курильских островов, где экологическое состояние водоемов обусловлено влиянием не только природно-климатических, но и катастрофических факторов, таких как вулканические пеплопады и цунами. Наиболее значимыми для палеогеографических исследований являются результаты изучения состава диатомовых водорослей небольших озер, поскольку озера такого типа с короткой геологической историей были широко распространены в голоцене [11]. Знание особенностей видового состава диатомовых водорослей современных водоемов, закономерностей их динамики дает возможность с более высо-

кой достоверностью интерпретировать данные при изучении осадков палеозер. Цель работы – выявление межгодовой динамики диатомовых ассоциаций и изучение сукцессии массовых видов диатомей небольших пресных озер о. Матуа, испытавших влияние цунами и пеплопада.

Материалы и методы исследования

Материалом исследования послужили сборы диатомовых водорослей из четырех небольших искусственных озер на о. Матуа. Исследуемые озера расположены к югу от влк. Пик Сарычева, в районе бух. Айну (рис. 1). Первичный материал был собран в августе 2007 г. [2, 5]. Повторные сборы из этих озер были проведены в июне 2009 г. через месяц после извержения влк. Пик Сарычева и в августе 2010 г. [6, 7].

Самое большое из озер (т.н. 128), длиной 150 м, шириной 30 м и глубиной 1,5 м, образовалось в 300 м от берега моря в долине реки после прокладки дороги через болото и ручей. Остальные озера округлой формы возникли в воронках от взрывов авиабомб в 1945 г. Наиболее крупное из них (т.н. 140) до 12 м в диаметре и глубиной более 2 м расположено в 230 м

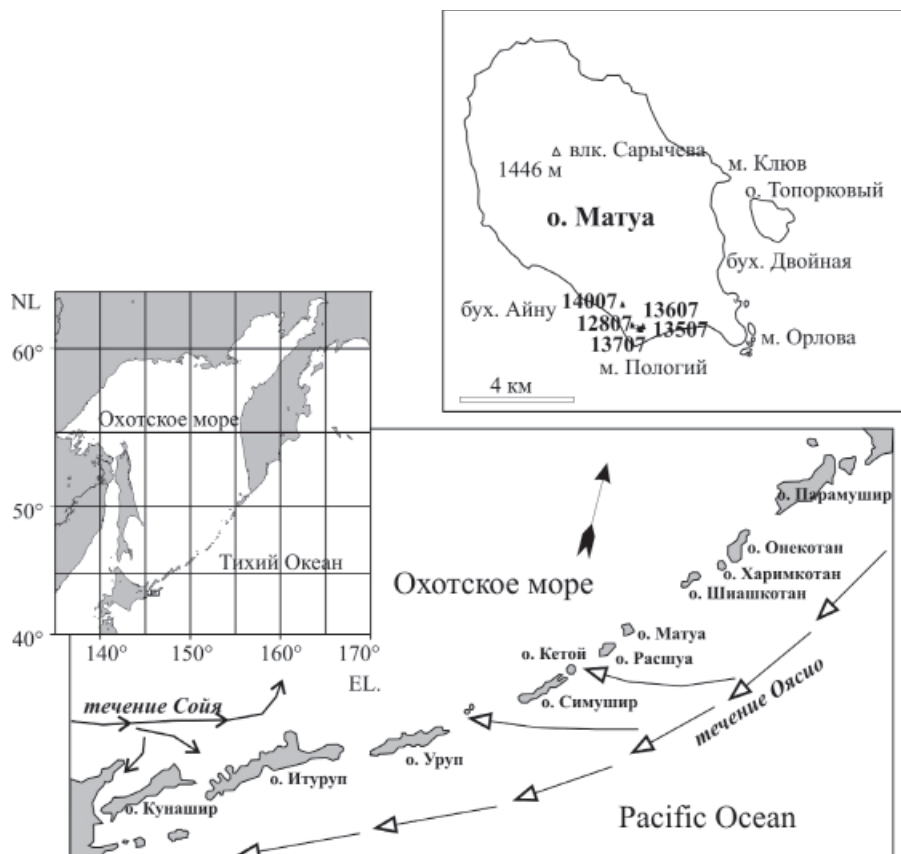


Рис. 1. Схема расположения исследуемых водоемов

от берега моря на высоте 12 м над у.м., в него впадает ручей. Остальные озера, диаметром 8–10 м, глубиной 1,0–1,5 м, расположены в 750 м от берега моря. Все исследованные озера находились в зоне затопления цунами, вызванного Симуширским землетрясением 15 ноября 2006 г., высота заплесков которого на о. Матуа достигала 20 м [4, 17]. Пробы воды объемом 0,5–1,0 л фиксировались этиловым спиртом, обработка проб выполнена по общепринятой методике [9]. Определение диатомовых водорослей проводилось в постоянных препаратах с помощью микроскопа «Axioscop», при увеличении $\times 1000$ с использованием литературных источников отечественных и зарубежных авторов [9, 15, 16]. При эколого-географической характеристике видов и выявлении роли отдельных видов, кроме указанных публикаций, использовались сведения других работ [1, 3, 13].

Результаты исследования и их обсуждение

За три года наблюдений в изученных озерах было выявлено 198 таксонов пресноводных диатомей, относящихся к 47 родам и 6 морских и солоноватоводных форм аллохтонного происхождения. Среди пресноводных диатомей по числу таксонов (192) преобладают виды из класса пеннатных. Наиболее богато представлено семейство *Naviculaceae* (91 таксонов). Значительно меньшим числом таксонов представлены се-

мейства *Fragilariaceae* (33), *Achnantheaceae* (24), *Eunotiaceae* (20) и *Bacillariaceae* (18). Центрических диатомей встречено 6 видов из рода *Aulacoseira*. По местообитанию большинство найденных диатомей относятся к обрастателям (54%) и бентосным (35%), планктонные, в основном случайно планктонные, составляют 11%, распространение их большей частью приурочено к озерам, испытывающим влияние проточных вод.

В материалах, собранных в 2007 г., выявлено 104 таксона пресноводных диатомей, относящихся к 40 родам. Во всех озерах, расположенных даже на значительном удалении от берега моря, единично отмечены морские и солоноватоводные *Cocconeis scutellum* Ehr., *Achnanthes brevipes* var. *intermedia* (Kütz.) Cl., *Actinocyclus octonarius* Ralfs, споры *Chaetoceros*, занесенные цунами. В список ведущих родов, включающих более 5 таксонов, входят *Pinnularia* (12), *Eunotia* (9), *Nitzschia* (8), роды *Fragilaria*, *Navicula* (по 7 форм) и *Gomphonema* (6).

Большая часть состава диатомей приходится на виды-космополиты, преобладают они и среди доминантов и субдоминантов. Бореальных обнаружено 8 таксонов, а арктоальпийских – 5, все они малочисленны

и не играют большой роли в диатомовых ассоциациях. Особенность диатомовой флоры этих водоемов, заключается в том, что обилие большинства видов не превышает 1–2% от общего состава диатомовых. В число доминантов и субдоминантов вошли 10 таксонов (табл. 1). Наиболее часто в качестве доминантов отмечены *Staurosira venter* (3 озера) и *Tabellaria flocculosa* (2).

По отношению к солености по числу таксонов и содержанию створок наиболее многочисленны индифферентные виды, показывающие среднюю степень минерализации воды. Таксономическое разнообразие галофилов и галофобов небольшое (15–16 таксонов), но более высокую концентрацию створок дают галофобы, характерные для слабоминерализованных вод. Повышенной соленостью обладает самое крупное озеро в т.н. 128, где в массе обнаружен солонатоводный *Tabularia fasciculata* (рис. 2).

По отношению к pH воды большую часть встреченных диатомей составляют циркумнейтральные виды (48 таксонов), на

втором месте стоят алкалифилы (34), предпочитающие водоемы со слабощелочной pH воды. Ведущее положение виды этих групп занимают и в составе доминантов и субдоминантов, наиболее высокое их содержание характерно для озер в т.н. 128, 140 и 135 (рис. 2). Список ацидофилов насчитывает 19 таксонов, в состав доминирующих из этой группы вошли 4 вида, из которых распространение *Eunotia muscicola* var. *tridentula*, *Navicula notha* и *Pinnularia brauniana* характерно самого мелкого озера в т.н. 136.

В сборах диатомовых водорослей из этих же озер в 2009 г. было выявлено 114 таксонов (40 родов). Анализ родового состава диатомовых водорослей показал, что перечисленные выше роды сохраняют статус доминирующих по количеству видов, хотя их порядок несколько меняется. На первом месте стоят роды *Eunotia* – 11, *Nitzschia* – 11, *Pinnularia* – 10, далее *Fragilaria* – 9, по 8 таксонов включают роды *Gomphonema* и *Navicula* и *Encyonema* – 7.

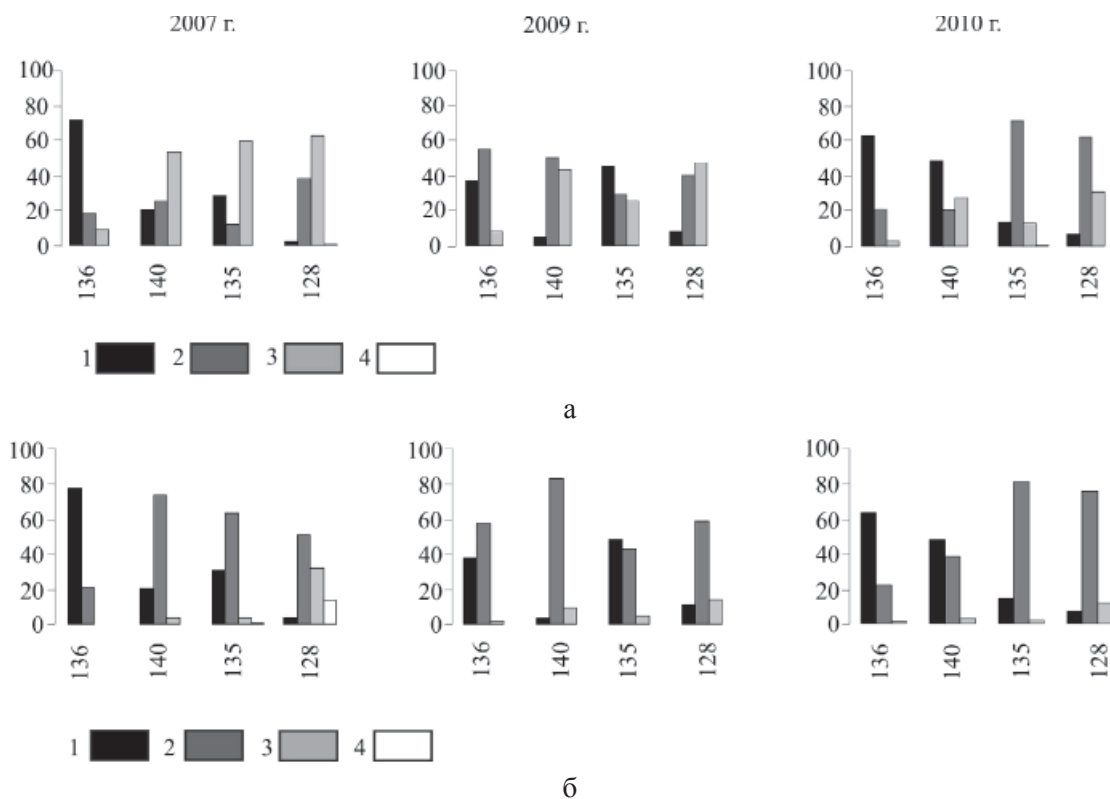


Рис. 2. Экологическая структура диатомовых сообществ:
 а – соотношение диатомовых по отношению к pH среды:
 1 – ацидобионты и ацидофилы, 2 – циркумнейтральные, 3 – алкалифилы и алкалибионты;
 б – соотношение диатомовых по отношению к солености:
 1 – галофобы, 2 – индифференты, 3 – галофилы, 4 – мезогалофы

Таблица 1

Состав доминирующих видов диатомовых водорослей в озерах о. Матуа в 2007 г.

| Виды | Отношение к рН | Отношение к галобности | Биогеография | Озера | | | |
|--|----------------|------------------------|--------------|-------|-----|-----|-----|
| | | | | 140 | 136 | 135 | 128 |
| <i>Diatoma tenuis</i> Ag. | cn | hl | k | | | | ++ |
| <i>Eunotia muscicola</i> var. <i>tridentula</i> Nörpel-Schempp et L.-Bert. | ac | hb | k | | ++ | | |
| <i>Fragilaria gracilis</i> Øestrup | cn | in | k | ++ | | | |
| <i>Navicula notha</i> Wallace | ac | hb | k | | ++ | | |
| <i>Pinnularia brauniana</i> (Grun.) Studnicka | ac | hb | b | | + | | |
| <i>Planothidium lanceolatum</i> (Bréb.) L.-Bert. | al | in | k | | | ++ | |
| <i>Staurosira venter</i> (Ehr.) Cl. et Möller | al | in | k | ++ | | ++ | ++ |
| <i>Stauroforma exiguiformis</i> (L.-Bert.) Flower, Jones et Round | cn | in | k | | + | | |
| <i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kütz. | ac | hb | k | ++ | | ++ | |
| <i>Tabularia fasciculata</i> (Ag.) Will. et Round | al | mz | k | | | | ++ |

Условные обозначения, здесь и далее: ++ – доминанты (обилие створок более 10%); + – субдоминанты (обилие створок 5–10%); al – алкалофилы; cn – циркумнейтральные; ac – ацидофилы; hb – галофобы; in – индифференты; hl – галофилы; mz – мезогалобы; a – арктоальпийские; b – борельные; k – космополиты.

Таблица 2

Состав доминирующих видов диатомовых водорослей в озерах о. Матуа в 2009 г.

| Виды | Отношение к рН | Отношение к галобности | Биогеография | Озера | | | |
|---|----------------|------------------------|--------------|-------|-----|-----|-----|
| | | | | 140 | 136 | 135 | 128 |
| <i>Achnanthisidium minutissimum</i> (Kütz.) Czarnecki | al | in | k | | | | + |
| <i>Aulacoseira paffiana</i> (Reinsch) Krammer | ac | hb-in | a | | | ++ | |
| <i>Brachysira vitrea</i> (Grun.) Ross | cn | in | k | | | | + |
| <i>Diatoma tenuis</i> Ag. | cn | hl | k | | | | + |
| <i>Chamaepinnularia hassiaca</i> (Krasske) L.-Bert. | ac | | | | | + | |
| <i>Eunotia muscicola</i> var. <i>tridentula</i> Nörp. et L.-B. | ac | hb | k | | + | | |
| <i>Eunotia subarcuatooides</i> Alles, Nörpel-Schempp et L.-Bert. | cn-ac | in | k | | | + | |
| <i>Fragilaria gracilis</i> Øestrup | cn | in | k | ++ | | + | |
| <i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kütz.) Petersen | al | in | k | | | | + |
| <i>Navicula notha</i> Wallace | ac | hb | k | | ++ | + | |
| <i>Navicula rhynchocephala</i> Kütz. | al | hl | k | | | | + |
| <i>Pinnularia divergentissima</i> var. <i>subrostrata</i> Cl. | ac | | a | | | + | |
| <i>Stauroforma exiguiformis</i> (L.-Bert.) Flower, Jones et Round | cn | in | k | | ++ | | ++ |
| <i>Staurosira subsalina</i> (Hust.) L.-Bert. | al | hl | k | + | | | |
| <i>Staurosira venter</i> (Ehr.) Cl. et Möller | al | in | k | ++ | | ++ | ++ |
| <i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kütz. | ac | hb | k | | | + | + |

Условные обозначения см. табл. 1.

В качестве доминантов выделены 5 таксонов, наиболее часто массовые скопления створок по-прежнему дает *Staurosira venter* (3 озера). Доминирующие до извержения в ряде озер *Tabellaria flocculosa*, *Diatoma tenuis* и *Eunotia muscicola* var. *tridentula* перешли в разряд субдоминантов, их сменили *Stauroforma exiguiiformis* и *Aulacoseira pfaffiana*. Заметно увеличился состав субдоминантов (13 таксонов), из новых видов появились *Fragilaria vaucheriae*, *Achnantheidium minutissimum*, *Navicula rhynchocephala*, *Brachysira vitrea*, *Eunotia subarcuatooides*, *Pinnularia divergentissima* var. *subrostrata*, *Chamaepinnularia hassiaca* (табл. 2). Основную роль в диатомовых ассоциациях по-прежнему играют космополиты, число бореальных и арктоальпийских видов остается практически неизменным (8 таксонов), но заметно возросло их количественное содержание за счет массового развития *Aulacoseira pfaffiana* и *Pinnularia divergentissima* var. *subrostrata*.

Приблизительно на прежнем уровне осталось и соотношение видового состава алкалофильных и циркумнейтральных диатомей как в общем списке, так и среди доминантов и субдоминантов, но по обилию створок преобладают циркумнейтральные виды, что указывает на снижение показателей pH воды (рис. 2). Численность ацидофи-

лов увеличилась до 24 таксонов, возросло их число и среди доминантов и субдоминантов (табл. 2). Их распространение приурочено к двум озерам (т.н. 136 и 135). В этих озерах отмечено и максимальное содержание галофобов. В остальных водоемах еще больше возросла роль индифферентов, содержание мезогалофобов сократилась, в некоторых озерах обнаружены лишь единичные створки *Craticula halophila* (Grun.) Mann, не найдены и морские виды.

По итогам обследования озер в 2010 г. было выявлено 132 таксона (40 родов) диатомей.

Список арктоальпийских включает 10 таксонов, массовую концентрацию створок по-прежнему дает *Aulacoseira pfaffiana*, появились *Brachysira brebissonii* Ross, *Eucoconeis alpestris* (Brun) L.-Bert., *E. flexella* (Kütz.) Cl., *Eunotia diodon* (Ehr.), *F. capucina* var. *capitellata* (Grun.) L.-Bert., *Fragilariforma constricta* (Ehr.) Will. et Round, *Navicula pseudosilicula* Hust., *Pinnularia angulosa* Kram., *P. divergentissima* (Grun.) Cl. Порядок доминирования родов по числу таксонов стал более близким к первоначальному, в первую тройку входят *Pinnularia* – 17 таксонов, *Eunotia* – 14, *Fragilaria* – 9, затем *Nitzschia* – 8 и *Navicula* – 6. Число видов, формирующих доминирующие комплексы, снизилось до 12 таксонов (табл. 3).

Таблица 3

Состав доминирующих видов диатомовых водорослей в озерах о. Матуа в 2010 г.

| Виды | Отношение к pH | Отношение к галобности | Биогеография | Озера | | | |
|--|----------------|------------------------|--------------|-------|-----|-----|-----|
| | | | | 140 | 136 | 135 | 128 |
| <i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kütz.) Czarnecki | al | in | k | ++ | | | |
| <i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr.) Sim. | cn | in | k | | | ++ | |
| <i>Aulacoseira pfaffiana</i> (Reinsch) Krammer | ac | hb-in | a | | ++ | | |
| <i>Eunotia bilunaris</i> (Ehr.) Mills | ac | in | k | | + | | |
| <i>Eunotia muscicola</i> var. <i>tridentula</i> Nörp. et L.-B. | ac | hb | k | | + | | |
| <i>Eunotia paludosa</i> Grun. | ac | hb | b | | + | | |
| <i>Fragilaria gracilis</i> Østrup | cn | in | k | ++ | | | |
| <i>P. microstauron</i> var. <i>rostrata</i> Kramm. | ac | | k | | + | | |
| <i>Stauroforma exiguiiformis</i> (L.-Bert.) Flower, Jones et Round | cn | in | k | | | ++ | ++ |
| <i>Staurosirella pinnata</i> (Ehr.) Will. et Round | al | hl | k | | | | ++ |
| <i>Staurosira venter</i> (Ehr.) Cl. et Möller | al | in | k | | | | ++ |
| <i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kütz. | ac | hb | k | ++ | ++ | + | + |

Условные обозначения см. табл. 1.

По отношению к рН воды в составе диатомей значительно расширился список ацидофилов (29 таксонов), преобладают они и среди доминантов и субдоминантов, но их распространение приурочено в основном к озеру в т.н. 136. В остальных озерах высокое обилие имеют циркумнейтральные виды. Отмеченные изменения, возможно, указывают на тенденцию к восстановлению начальной экологической ситуации. Наиболее заметна эта направленность в небольших озерах (т.н. 135, 136) (рис. 2).

Сравнительный анализ диатомовых комплексов за три года наблюдений позволил проследить, как изменялось видовое богатство, состав доминирующих видов и экологическая структура диатомовых ассоциаций озер, испытавших влияние таких катастрофических проявлений, как цунами и пеплопады.

На начальном этапе изучения диатомовых водорослей в озерах было обнаружено 104 видов и внутривидовых таксонов, относящихся к 40 родам. В список пяти ведущих родов по наполняемости видами входили *Pinnularia*, *Eunotia*, *Nitzschia*, *Fragilaria* и *Gomphonema*. Из всего числа встреченных диатомей массовое развитие получили 10 видов. При повторных обследованиях в 2009 и 2010 гг. установлено, что порядок расположения ведущих родов меняется незначительно. Оставалась близкой и общая численность таксонов в 2007 и 2009 г., а в 2010 г. незначительно возросла (до 132 таксонов). Заметные изменения произошли в составе доминирующих видов. В 2009 г. через месяц после извержения влк. Пик Сарычева число диатомей, получивших массовое развитие, возросло до 16 таксонов, а в 2010 г. уменьшилось, их видовой состав существенно изменился по сравнению с 2007 г. Всего в 2009 и 2010 годах было зарегистрировано 14 новых доминантов и субдоминантов: *Achnantheidium minutissimum*, *Aulacoseira granulata*, *A. pfaffiana*, *Brachysira vitrea*, *Fragilaria vaucheriae*, *Eunotia subarcuatoides*, *E. bilunaris*, *E. paludosa*, *Navicula rhynchocephala*, *Chamaepinnularia hassiaca*, *Pinnularia divergentissima* var. *subrostrata*, *P. micristauron* var. *rostrata*, *Staurosira subsalina*, *Staurosirella pinnata*. Нет возможности обоснованно предположить, что на смену состава доминирующих видов диатомей в озерах могло повлиять поступление питательных веществ с пеплами, выпавшими во время извержения влк. Пик Сарычева, так как не были прове-

дены гидрохимические исследования озер. При изучении разрезов торфяников и отложений палеозер Курильских островов и Камчатки было отмечено значительное повышение концентрации створок диатомей в осадках, вмещающих пепловые прослойки [10, 14]. Хотя такая картина наблюдается далеко не во всех случаях, все зависит от состава вулканических пеплов. Например, многолетние наблюдения за экологическим состоянием оз. Карымское после извержения влк. Карымский показали, что видимого влияния на развитие диатомей пеплопад не оказал [8].

Наиболее показательным индикатором изменения экологической обстановки в озерах, является соотношение численности представителей экологических групп диатомей, различающихся отношением к рН воды и минерализации. В 2009 г. в отличие от 2007 г. в составе диатомовых ассоциаций доминирование приобрели циркумнейтральные виды, увеличилось содержание ацидофилов, часть из которых вошли в состав доминирующих. Такая перестройка в соотношении групп диатомей фиксирует изменения рН воды от слабощелочной до нейтральной и слабокислой. Одной из причин увеличения содержания ацидофильных и циркумнейтральных диатомей и последующего их развития в озерах может быть поступление их с водой в результате таяния снежников при взрыве влк. Пик Сарычева [12]. Ситуация в озерах по отношению к галобности в 2009–2010 гг. в целом осталась стабильной, кроме озера в т.н. 128, где соленость значительно снизилась. Повидимому, это озеро наиболее сильно было подвержено влиянию цунами [4]. Через 2 года после цунами морские виды в озерах не были найдены.

Выводы

Изученная диатомовая флора в небольших мелководных озерах о. Матуа отличается разнообразием и богатством. За три года наблюдений было выявлено 198 таксонов пресноводных диатомей. Специфичность диатомовой флоры этих недавно образованных водоемов заключается в том, что подавляющее большинство встреченных видов единичны, в составе доминантов и субдоминантов за период наблюдений зафиксировано 24 таксона. Во всех озерах преобладают бентосные виды. Распространение планктонных и случайно планктонных видов приурочено в основном к водоемам, испытывающим влияние проточных

вод. Сравнительный анализ общего видового состава диатомей, набора доминирующих видов и соотношения экологических групп, установленных в озерах о. Матуа до и после извержения влк. Пик Сарычева, показало незначительное увеличение общего видового богатства диатомовой флоры. Состав доминирующих видов в диатомовых сообществах озер в разные годы имеет существенные различия. После извержения начали доминировать виды, показывающие снижение активной реакции воды в озерах. Наиболее заметно эти изменения проявились в водоемах, имеющих слабощелочную и околонейтральную активную реакцию воды и в меньшей степени в водоемах с низкими показателями рН среды. В дальнейшем отмечается тенденция к восстановлению в озерах первоначальной экологической ситуации, что проявилось в снижении численности массовых видов и в соотношении содержания разных экологических групп диатомей в диатомовых ассоциациях. Наиболее устойчивыми к влиянию внешних факторов оказались *Staurosira venter*, *Fragilaria gracilis*, *Tabellaria flocculosa* и *Eunotia muscicola* var. *tridentula*.

Автор выражает глубокую признательность сотрудникам ТИГ ДВО РАН Н.Г. Разжигиной, К.С. Ганзей и ИМГиГ ДВО РАН А.В. Дегтереву за предоставление материала. Работа выполнена по программе «Дальний Восток» (проект 15-I-6-097). Экспедиции проводились в рамках Курильского Биоконференциального проекта КВР (грант NSF ARC-0508109, руководитель Бен Фитцхью) и по проектам РФФИ.

Список литературы

1. Барина, С.С., Медведева, Л.А., Анисимова, О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. – PiliesStudio, Тель Авив, 2006. – 498 с.
2. Гребенникова Т.А. Флора Bacillariophyta разнотипных водоемов Средних и Северных Курил // Бот. журн. – 2009. – Т. 94, № 4. – С. 526–537.
3. Давыдова И.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. – Л.: Наука, 1985. – 244 с.
4. Левин Б.В., Кайстренко В.М., Рыбин А.В. и др. Проявление цунами 15. 11. 2006 г. на Центральных Курильских островах и результаты моделирования высот заплесков // ДАН. – 2008. – Т. 419. № 1. – С. 118–122.
5. Левин Б.В., Фицхью Б., Бурджуа Д., и др. Комплексная экспедиция на Средние Курильские острова в 2007 г. (II этап) // Вестник ДВО РАН. – 2008. – № 3. – С. 111–123.
6. Левин Б.В., Рыбин А.В., Разжигинова Н.Г. и др. Комплексная экспедиция «Вулкан Сарычева – 2009» (Курильские острова) // Вестник ДВО РАН. – 2009. – № 6. – С. 98–104.
7. Левин Б.В., Мелекесцев И.В., Рыбин А.В., и др. Экспедиция «Вулкан Пик Сарычева – 2010» (Курильские острова) // Вестник ДВО РАН. – 2010. – № 6. – С. 152–159.
8. Лупикина Е.Г., Карпов Г.А. Корреляция параметров биофильной компоненты в воде оз. Карымское с поступлением вулканического пепла вулкана Карымский: Материалы ежегодной конф. посвящ. дню вулканолога, Петропавловск-Камчатский, 27–29 марта. 2008. – Петропавловск-Камчатский, 2008. – С. 207–212.
9. Определитель пресноводных водорослей СССР. Диатомовый анализ. – М.: Наука, 1951. – Вып. 4. – 619 с.
10. Разжигинова Н.Г., Базарова В.Б., Сулержицкий Л.Д., и др. Источники пирокластического материала в позднелайстоценовых-голоценовых диатомитах о. Кунашир, Курильские острова // Вулканология и сейсмология. – 2003. – № 4. – С. 29–35.
11. Разжигинова Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Белянина Н.И., Мохова Л.М., Арсланов Х.А., Чернов С.Б. Эволюция ландшафтов Курильских островов в голоцене // Изв. РАН. Серия географ. – 2014. – № 3. – С. 43–50.
12. Рыбин А.В., Дегтярев А.В., Разжигинова Н.Г., Ганзей К.С., Чибисова М.В. Активные вулканы Курильских островов: вулкан Пик Сарычева (Серия «естественная история Сахалина и Курильских островов»). – Южно-Сахалинск: ГБУК «Сахалинский областной краеведческий музей», ФГБУН ИМГиГ ДВО РАН, 2012. – 80 с.
13. Харитонов В.Г. Конспект флоры диатомовых водорослей (Bacillariophyceae) Северного Охотоморья. – Магадан: СИНЦ ДВО РАН, 2010. – 189 с.
14. Черепанова М.В., Пинегина Т.К. Диатомовые водоросли из торфяников Камчатки // Диатомовые водоросли: современное состояние и перспективы исследований: Материалы XIII Международной научной конференции альгологов (п. Борок, 24–29 августа. 2013 г.). – п. Борок, Ярославская область, Россия, 2013. – С. 97–98.
15. Krammer K., Lange-Bertalot, H. Bacillariophyceae. – Jena: VEB Gustav Fischer Verlag. Teil 1: Naviculaceae, 1986. – 876 p. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae, 1991a. – 576 p. Teil 4: Achnantheaceae. Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema, 1991b. – 437 p.
16. Krammer K. Pinnularia, eine Monographie der europäischen Taxa // Bibliotheca Diatomologica. – 1992. – Bd. 26. – 353 p.
17. MacInnes B.T., Pinegina T.K., Bourgeois J. et al. Field survey and geological effects of the 15 November 2006 Kuril tsunami in the middle Kuril Islands, Pure and Applied Geophysics. – 2009. – 166 (1–2). – P. 3–36.

УДК 550.3

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ОБЪЕКТЕ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ НА ЗОЛОТО-СУРЬМЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ «СЕНТАЧАН»

Гриб Н.Н., Сясько А.А., Качаев А.В., Кузнецов П.Ю.

ФГАОУ ВПО «Технический институт (ф) СВФУ им. М.К. Аммосова»,
Нерюнгри, e-mail: grib@nfygu.ru

Для выявления неблагоприятных инженерно-геологических условий проектируемого горного предприятия использовались геофизические методы. Геофизические исследования, включающие в себя методы сейсморазведки и электротомографии, позволили обеспечить возможность получения детальной и надежной информации об особенностях инженерно-геологического строения участка исследования. На первом этапе интерпретации геофизических данных результаты работ были представлены в виде скоростных разрезов и разрезов логарифмов электрических сопротивлений. Следующий этап анализа геофизических данных – определение положения вероятных интервалов распространения льдов и существенно льдистых пород в плане. Для интегрированной оценки льдистости разреза оценивалось среднее сопротивление тридцатиметровой толщи пород. Построенный интегрированный план изолиний для тридцати метровой толщи позволяет оценить возможное положение интервалов распространения льдов и льдистых пород в плане. Точнее определить степень опасности того или иного интервала позволил анализ данных сейсморазведки КМПВ, области аномально высоких электрическим сопротивлений совпадают с интервалами наиболее низких скоростей распространения упругих волн. Подобным набором физических характеристик обладают рыхлые или сильно трещиноватые скальные, с высоким процентом льдистости, породы и, конечно же, погребённые льды.

Ключевые слова: геофизические методы, электротомография, сейсморазведка, инженерно-геологические условия, льдистые породы, погребённые льды

THE USE OF GEOPHYSICAL METHODS FOR DETERMINING NEGATIVE ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS AT THE MINING PLANT OF «SENCHAN» GOLD-STIBIUM DEPOSIT

Grib N.N., Syasko A.A., Kachaev A.V., Kuznetsov P.Yu.

Technical Institute (branch) of «North-Eastern federal university at M.K. Ammosov»,
Neryungri, e-mail: grib@nfygu.ru

Geophysical methods were used to determine the negative engineering-geological conditions of a mining enterprise. Those methods including seismic exploration and electrical tomography enabled us to get all necessary detailed and reliable information about the features of engineering-geological construction site at the area. At first stage of geophysical evidence interpretation the work products were represented as velocity profiles and logarithm stacks of electrical resistances. Next stage of geophysical evidence analysis was to determine the positions of possible space intervals of ice spreadings and mainly icy rocks in the ground range. The average resistance of 30 meter rock mass was estimated to integrate valuing of the ice content stack. The isoline integrated plan for the 30 meter rock mass allowed us to estimate possible positions of an ice interval spreading and icy rocks appreciably in the ground range. Refraction correlation method of refracted waves data analysis allowed to determine the risk degree more exactly. The areas of irregular high electrical resistance concur with the lower speeds of elastic waves spreading intervals. Loose or vastly fractured rocks with a high rate of ice content and connate ice possess elastic wave spreading.

Keywords: geophysical methods, electrical tomography, seismic exploration, geological conditions, icy rocks, connate ice

На современном этапе развития горной промышленности Якутии отмечается развитие новых горных предприятий и интенсификация вовлечения в отработку ранее разведанных месторождений полезных ископаемых. При этом стоит отметить, что освоение любых месторождений полезных ископаемых представляет собой четкую систему, представленную поочередно сменяющимися этапами освоения геологического пространства, занятого полезным ископаемым, а также территорией непосредственно прилегающей к области

распространения залежи полезного ископаемого. Одним из ключевых этапов этой системы является инженерно-геологическое обоснование площади проектируемого строительства горного предприятия. Корректная постановка и выполнение исследовательских работ на данном этапе является необходимым условием для реализации процесса включения и бесперебойного участия проектируемого горного предприятия в инфраструктуре отрасли, а также успешного взаимодействия его со смежными отраслями производства.

В геологическом строении объекта исследований принимают участие отложения верхнего триаса норийского яруса (T_3n_2), перекрытые с поверхности чехлом верхне-четвертичных и современных отложений озерно-болотного (lb Q_{III-IV}), элювиально-делювиального (ed Q_{III-IV}) генезисов и современными отложениями пролювиально-делювиального генезиса (pd Q_{IV}) [3].

Отложения верхнего триаса норийского яруса (T_3n_2) имеют повсеместное распространение в пределах всей площади исследований, вскрыты под четвертичными отложениями с глубины 0,9–4,4 м вскрытой мощностью 2,4–8,2 м.

Отложения представлены алевролитами очень низкой прочности, залегающими в кровле скального массива, сильноветрелыми до дресвы, щебня, супеси и суглинка, мощностью 0,4–4,4 м, ниже – алевролитами малопрочными средней прочности и прочными серого и темно-серого цвета, сильно-трещиноватыми, трещины ориентированы в основном хаотично, реже – под углами 0–5 и 40–45° к оси керна, выполнены мерзлым супесчаным материалом и льдом.

Мерзлотные условия района работ характеризуются сплошным распространением вечномёрзлых грунтов, мощностью более 300 м. По динамике температурного режима в годовом цикле выделяются: слой сезонного оттаивания и толща вечномёрзлых грунтов [3].

На период изысканий грунты слоя сезонного оттаивания до глубины 0,3–1,2 м находились в талом состоянии, ниже – в твёрдомёрзлом состоянии массивной, слоистой и корковой криогенной текстуры, при оттаивании грунты от средней степени водонасыщения до водонасыщенных, – суглинок при оттаивании от мягкопластичного до текучего.

Температура грунтов на глубине годовых нулевых амплитуд изменяется от минус 6,0 до минус 7,8 °С. Нормативная глубина сезонного оттаивания составляет 1,6 м на заболоченных участках и 2,5 м на сухих участках.

Целью выполненных исследований на объекте горно-обоганительный комбинат, золото-сурьмяном месторождении «Сентачан», являлось выявление и оценка пространственного распространения неблагоприятных инженерно-геологических условий в зоне расположения технических и производственных сооружений для дальнейшей разработки мероприятий, обеспечивающих безаварийную эксплуатацию вышеупомянутой системы. Для решения

поставленной задачи был использован комплекс геофизических методов [1, 5].

Инженерно-геофизические исследования позволили уточнить геологическое строение площади и выделить потенциально опасные для функционирования проектируемых сооружений инженерно-геологические проявления, одно из направлений, это выделение интервалов существенно льдистых пород и погребенных льдов.

Геофизические исследования, включающие в себя методы сейсморазведки и электротомографии, позволили обеспечить возможность получения детальной и надежной информации об особенностях инженерно-геологического строения участка исследования.

Во-первых, отметим высокую детальность выполненных изысканий – шаг сейсмоприёмников по профилям 2 м, шаг электродов электротомографии – 5 м. В обоих случаях применено непрерывное профилирование, при электротомографии – с 50% перекрытием.

На первом этапе интерпретации геофизических данных результаты работ были представлены в виде скоростных разрезов и разрезов логарифмов электрических сопротивлений (рис. 1).

Наиболее информативными оказались длинные профили субширотного простирания № 0–3. Прежде всего, на разрезах удельных сопротивлений выделяются приповерхностные интервалы пород с весьма высокими показателями сопротивлений, мощность выделенных зон – до 10–12 м, зоны повторяются на всех четырёх профилях, протяженность зон от пикета 150 м до конца профиля (рис. 1). Сопоставление выделенных зон с данными бурения позволило подтвердить происхождение рассматриваемых аномалий с наличием в изучаемом разрезе разуплотнённых льдистых пород. Области пород весьма высокого сопротивления совпали в разрезе с интервалами развития погребенных льдов, выделенными по данным бурения. Более того, даже морфология аномалий повышенных сопротивлений совпадает с границами инженерно-геологических разрезов.

Идентификация рассматриваемых аномалий высоких сопротивлений как аномалий, обусловленных наличием в разрезе льдов и существенно льдистых пород, обусловила следующий этап анализа геофизических данных – определение положения вероятных интервалов распространения льдов и существенно льдистых пород в плане [4].

Для этого данные электротомографии по отдельным профилям были сведены в единый массив с пространственной привязкой X , Y , Z каждой точки измерения. К сожалению, визуализация всего массива трёхмерных данных существенно осложнена сложным геоэлектрическим строением разреза. Как альтернатива был выбран метод погоризонтных срезов [2]. Для построения среза, например, плана сопротивлений пород на интервале глубин 3–5 метров (рис. 2) из полного массива данных выбирались точки, расположенные в этом интервале глубин. По данным вновь полученного массива строился план изолиний, при этом данные по точкам, координаты X и Y (положение в плане) которых совпадают, сопротивления усреднялись. Таким образом, полученный в результате план изолиний логарифмов удельных сопротивлений на интервале глубин 3–5 м отображает удельное электрическое сопротивление слоя породы мощностью 2 метра с глубиной положения почвы слоя 5 м.

На рис. 2 приведены построенные по этому принципу погоризонтные планы изолиний логарифмов удельных сопротивлений для интервалов глубин 3–5, 5–8 и 8–10 метров. Крупные синие точки на рисунках обозначают плановое положение инженерно-геологических скважин, при бурении которых были вскрыты льды.

Приведённые на рис. 2 планы наглядно иллюстрируют конфигурацию вероятных областей распространения подземных льдов и существенно льдистых пород. Анализ погоризонтных планов позволил оценить и глубинность распространения льдов и существенно льдистых пород – значимые аномалии высоких сопротивлений распространены до глубин порядка 10 м от дневной поверхности.

Для интегрированной оценки льдистости разреза была произведена обработка исходного массива, содержащего данные об электрических сопротивлениях горных пород на глубинах от 0 до 30 м. При пересчёте сопротивление координатной точке в плане оценивалось как среднее значение сопротивлений в этой точке по всему интервалу глубин, т.е. оценивалось среднее сопротивление тридцатиметровой толщи пород. Результат построений приведен на рис. 3, а. Цветовая шкала логарифмов удельных сопротивлений ко всем построенным планам изолиний приведена на рис. 2.

Построенный интегрированный план изолиний для тридцатиметровой толщи (рис. 3, а) позволяет оценить возможное положение интервалов распространения льдов и льдистых пород в плане. Наиболее опасные места выделены голубым цветом, соответствующим средним электрическим сопротивлениям от 10000 Ом·м и выше. Также потенциально опасными представляются интервалы распространения пород с сопротивлениями более 3162 Ом·м (изолиния логарифма удельного сопротивления 3,5 на рис. 3, а).

Выделенные интервалы на данном этапе анализа представляются как потенциально опасные. Точнее определить степень опасности того или иного интервала позволит анализ данных сейсморазведки КМПВ.

По аналогии с анализом данных электротомографии, для визуализации результатов сейсморазведочных исследований выбран метод погоризонтных срезов. На рис. 4 приведены погоризонтные планы изолиний скоростей упругих волн для интервалов глубин 3–5, 5–8 и 8–10 метров.

При анализе результатов построений сейсморазведочных данных максимальное внимание уделено ранее выделенным по данным электротомографии областям вероятного распространения льдистых пород и погребенных льдов. Показательно, что эти области на погоризонтных планах скоростей распространения упругих волн совпадают с интервалами наиболее низких скоростей. Построение плана скоростей, рассчитанное по усредненным показателям для толщи мощностью 30 м (аналогично построениям на рис. 3, а), подтвердило вывод о весьма хорошем совпадении в плане аномалий высоких удельных сопротивлений с аномалиями низких скоростей (рис. 3, б).

Учитывая, что скорость распространения упругих волн пропорциональна плотности пород, по итогам описанных выше построений имеем следующее: предварительно выделенные по данным электроразведки интервалы пород с аномально высокими электрическими сопротивлениями характеризуются также пониженными значениями плотности горных пород на этих интервалах.

Подобным набором физических характеристик обладают рыхлые или сильно трещиноватые скальные, с высоким процентом льдистости, породы и, конечно же, погребённые льды.

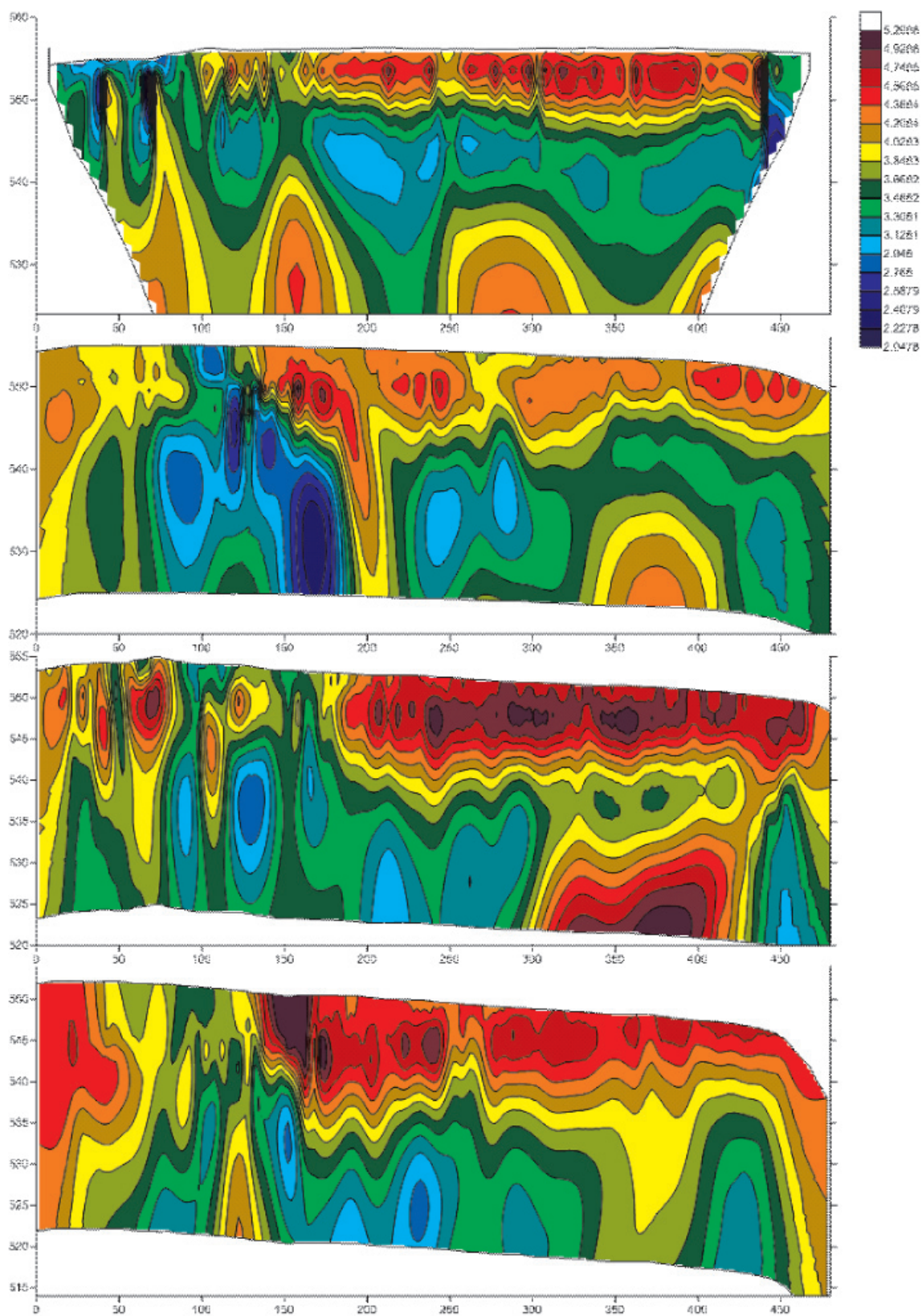


Рис. 1. Разрезы логарифмов удельных сопротивлений по профилям 0–3

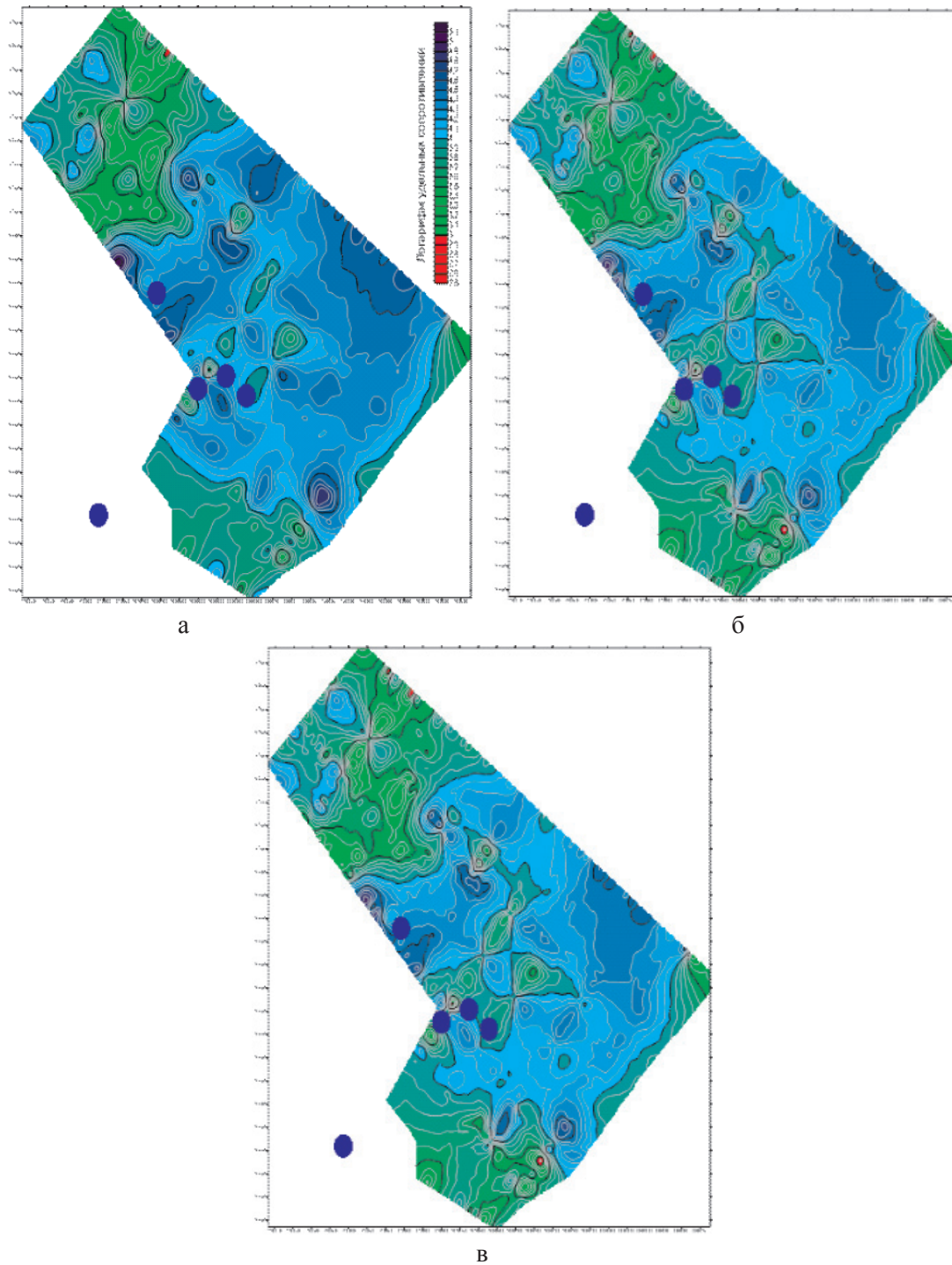


Рис. 2. План логарифмов удельных сопротивлений на глубине:
а – 3–5 м; б – 5–8 м; в – 8–10 м.

Для более точного выделения интервалов с минимальными скоростными показателями и максимальными сопротивлениями было произведено нормирование плана скоростей распространения упругих волн на план логарифмов удельных сопротивлений. В результате получен план изолиний, физический смысл которого состоит в следующем – минимальные значения изолиний

соответствуют интервалам с очень низкими скоростями распространения упругих волн и высокими значениями удельного сопротивления пород, или, что очень вероятно – интервалам с наличием погребенного льда или сильно льдистых пород в разрезе. Для нормировки использованы усредненные характеристики тридцатиметровой толщи (рис. 4, а, б).

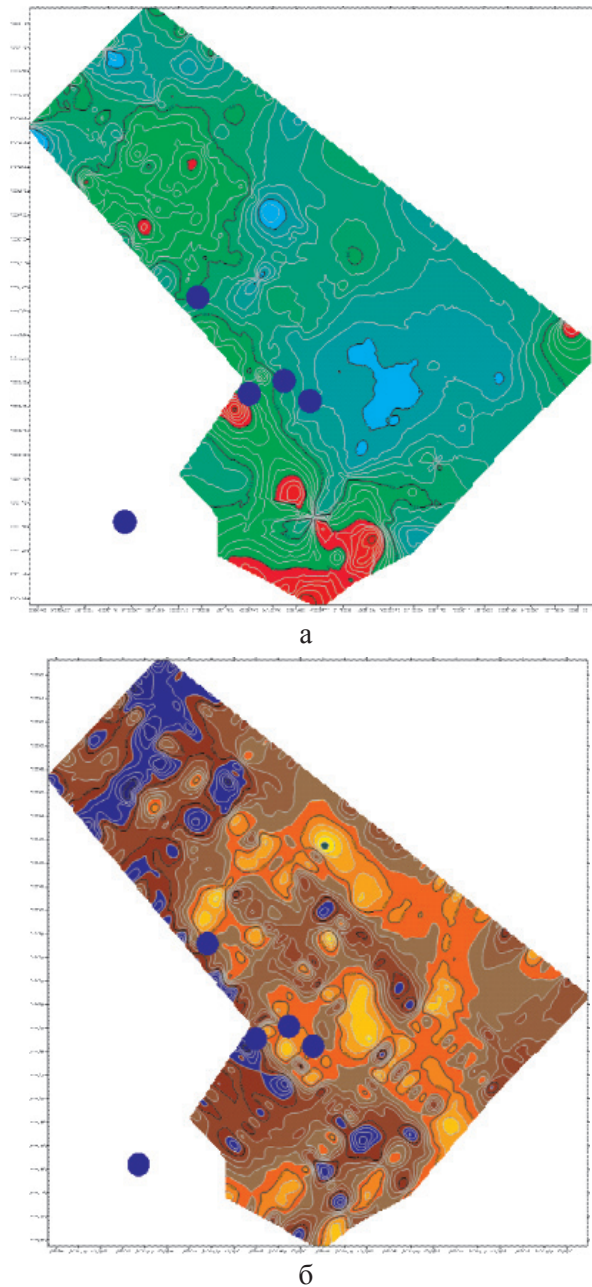


Рис. 3. Усредненные показатели геофизических параметров для тридцатиметровой толщи:
 а – план логарифмов электрических сопротивлений;
 б – план скоростей распространения упругих волн

Результат построений представлен на рис. 5. Скважины, вскрывшие погребенные льды, на этом рисунке обозначены красными точками. При анализе результатов следует, что потенциально опасными с точки зрения высокой вероятности наличия льдов и существенно льдистых пород в разрезе следует считать области, попадающие в интервал нормированного показателя менее восьми (от изолинии 8 и менее).

Таким образом, в результате выполнения геофизических исследований тех-

нологической площадки проектируемого горного предприятия были выявлены чрезвычайно опасные явления – определяющее влияние температурного режима грунтов основания сооружения на безопасность функционирования.

Электротомографические и сейсмологические исследования позволили выделить интервалы и глубину распространения погребенных льдов и сильно льдистых пород, а также их площадное распространение.

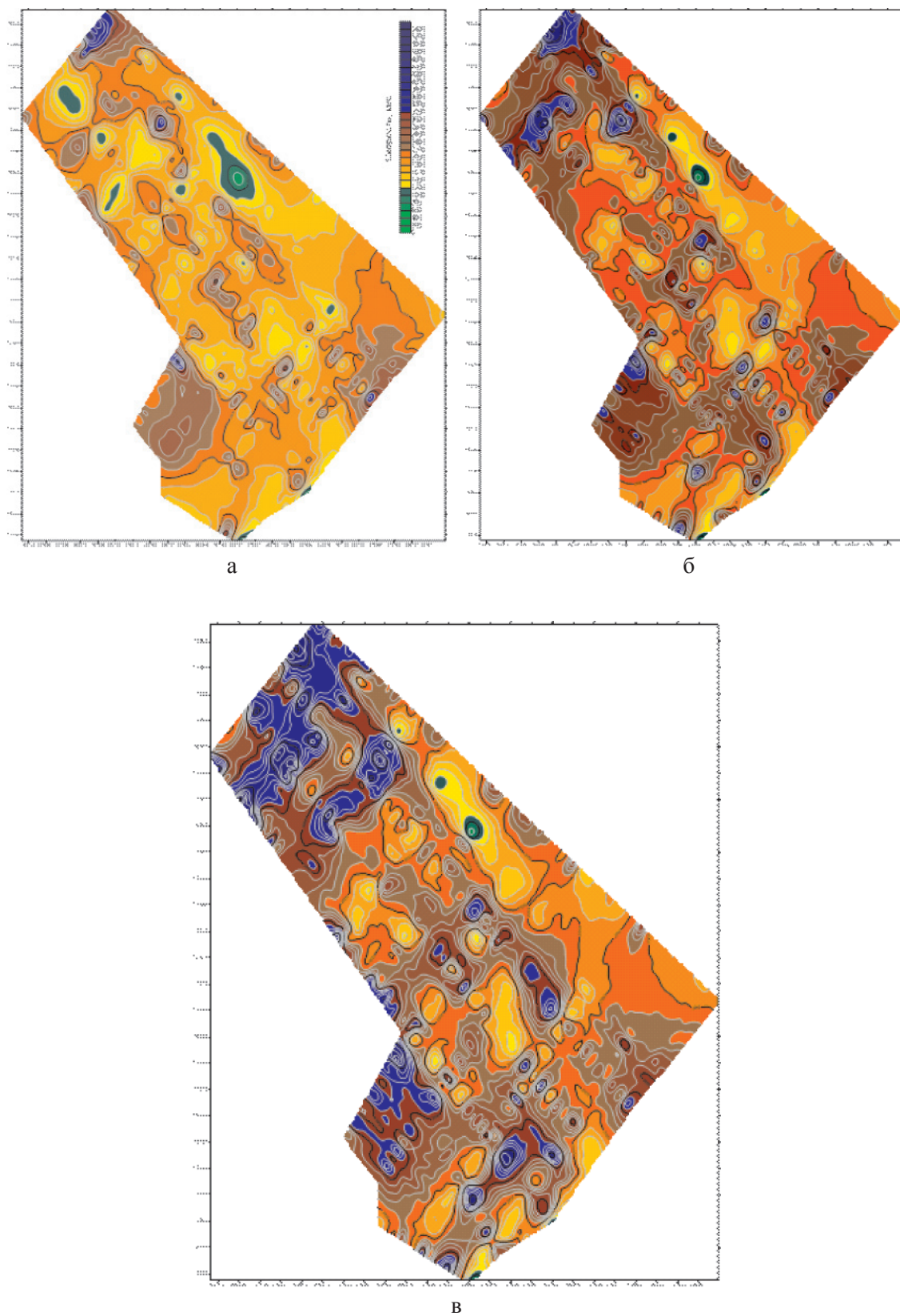


Рис. 4. План скоростей распространения упругих волн, интервал глубин:
 а – 3–5 м; б – 5–8 м; в – 8–10 м

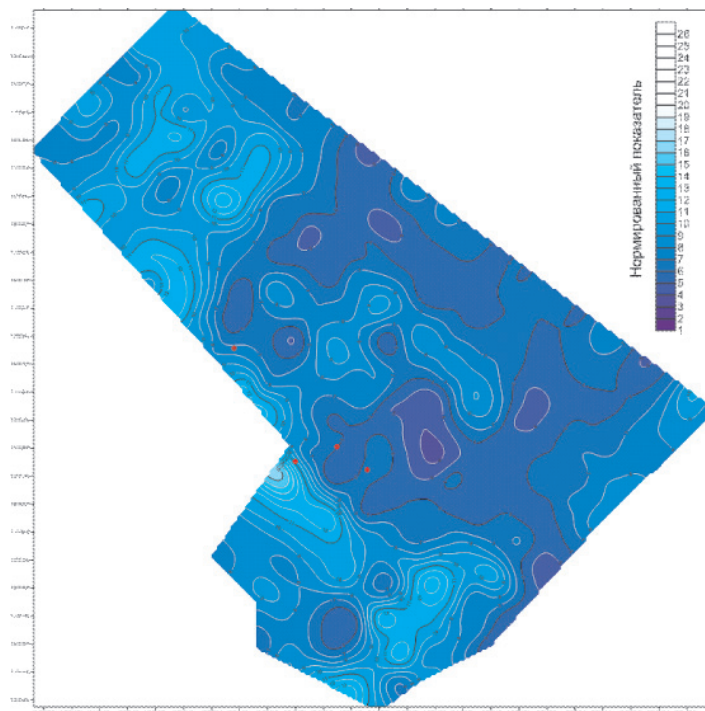


Рис. 5. План изолиний нормированного показателя V/R для тридцатиметровой толщи

Список литературы

1. Воронков О.К. Инженерная сейсмика в криолитозоне (изучение строения и свойств мерзлых и талых горных пород и массивов). – СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2009. – 401 с.

2. Кобрунов А.И. Математические основы теории интерпретации геофизических данных: учеб. пособие. – М.: ЦентрЛит-НефтеГаз, 2009. – 288 с.

3. Отчет об инженерно-геологических изысканиях по объекту: «Горно-обогатительный комбинат на золото-сурь-

мяном месторождении «Сентачан», фонды ООО «Нерюн-гристройизыскания». – Нерюнгри, 2015. – 100 с.

4. Павлова А.М., Шевин В.А. 3D-Электротомография при исследовании ледниковых отложений // Геофизика. – 2013. – № 6. – С. 32–37.

5. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI. Правила производства геофизических исследований. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.internet-law.ru/stroyka/text/45007/> (дата обращения 1.03.16).

УДК 551.4

ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОЙ АВТОНОМНОСТИ В РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИИ, ЕГО СТАНОВЛЕНИЕ И ДЕЙСТВИЕ

Ликотов Е.Ю.

ФГБОУ «Тюменский государственный университет», Тюмень, e-mail: likotov@front.ru

При полевых исследованиях, проведенных преимущественно на Дальнем Востоке, мы наблюдали как изменчивые в своём строении и развитии формы и элементы рельефа (в частности – русла рек и склоны), так и малоизменчивые, внешний облик которых и строение слагающих их рыхлых образований (реже – скальных горных пород) несут известные признаки длительности сохранения их свойств. Наименее изменчивыми и наиболее стабильными в своем строении (но не застывшими в своем развитии) являются плосковершинные поверхности. В их пределах действуют (их формируют) преимущественно процессы выветривания и формируются специфические рыхлые образования: элювий. Другие процессы: эоловые, криогенные, карст, биогенные и др. – действуют резко подчиненно и не определяют морфологический облик плосковершинных поверхностей, формируя микро- и наноформы и элементы. Процессы выветривания действуют самостоятельно и независимо от других рельефообразующих процессов. Вершинные поверхности других типов: округлые и острые относят к стабильным нет оснований, т.к. в поясе их действуют склоновые и местами флювиальные процессы. Таким образом, плосковершинные поверхности обладают относительной автономностью развития. Она присуща также надпойменным террасам, особенно – высоким и – в ряде свойств строения – террасоувалам и устанавливается рядом свойств и особенностей их строения и формирования. На основании широкого распространения рассматриваемых форм рельефа и развития их в относительно автономном режиме в различных внешних условиях установлен принцип относительной автономности рельефообразования: при разнообразии и широте развития связей и взаимодействий в рельефообразовании существуют формы и элементы рельефа, формирующиеся в определенной степени автономно (независимо) от других участников рельефообразования, прежде всего от соседних с ними форм и элементов рельефа. Действие его имеет следующие причины (источники): пространственную, морфодинамическую, генетическую, а также – мало меняющиеся для каждой из рассматриваемых форм внешние условия формирования рельефа.

Ключевые слова: плосковершинные поверхности, надпойменные террасы, террасоувалы, принцип относительной автономности, причины действия

THE PRINCIPLE OF RELATIVE AUTONOMY IN RELIEF FORMATION, ITS DEVELOPMENT AND ACTION

Likotov E.Yu.

Tyumen State University, Tyumen, e-mail: likotov@front.ru

In field research conducted mostly in the Far East region we have seen how changeable form and elements of the relief in its structure (in particular – the riverbeds and slopes) and less changeable forms, which appearance and structure of the composing loose sediments (rarely – rocks) are clear signs of long-term preservation of their properties. The least changeable and most stable in its structure (but not in its development) are flat-topped surface. There are mainly the processes of weathering and then specific loose sediments (the so-called eluvium) are formed. Other processes, such as eolian, cryogenic, karst, etc., – function in subordination and do not determine the morphological appearance of flat-topped surface, forming micro- and nanoforms of relief. Weathering processes operate independently of the other relief-forming processes. Topped surface of other types (round and sharp) to relate to stable no reason, as there operate slope and, in some places, fluvial processes. So flat-topped surface have relative autonomy of development. As it is inherent in terraces above the floodplain, especially high and ridges terraces, and set a number of properties and features of their structure and formation. Based on the wide spread of discussed forms of relief, as well as their development in a relatively autonomy mode in a variety of environmental conditions we can set the principle of relative autonomy in relief formation: in diversity and breadth of relationships and interactions in the relief formation there are forms and elements of the relief, forming a certain extent autonomous (independent) from other members of relief formation, especially from neighboring shapes and relief elements. Its action has the following reasons (sources): spatial, morphodynamic, genetic as well as a less altering external condition of the formation of relief for each of the considered forms.

Keywords: flat-topped surface, in terraces above the floodplain, ridges terraces, the principle of relative autonomy, reasons of action

В ходе исследований строения и особенно формирования рельефа внимание, и часто – первостепенное, обращается на степень изменчивости форм и элементов рельефа, как и других участников рельефообразования: рельефообразующих процессов, внешних условий [6, 10] и связей и взаимодействий между ними [10]. При

полевых исследованиях, проведенных преимущественно на Дальнем Востоке, мы наблюдали как изменчивые в своём строении и развитии формы и элементы рельефа (в частности – русла рек и склоны), так и малоизменчивые, внешний облик которых и строение слагающих их рыхлых образований (реже – скальных горных пород) несут

известные признаки длительности сохранения их свойств. Установлено, что наименее изменчивыми и наиболее стабильными в своем строении (но не застывшими в своем развитии) являются плосковершинные поверхности [7], надпойменные террасы [9], особенно – высокие и – в ряде свойств строения – террасоувалы.

Плосковершинные поверхности ранее таковыми рассмотрел Г.С. Ананьев – правда, вместе с вершинными поверхностями других типов: округлыми и острыми [1]. Он первым заметил особенности факторов рельефообразования в их пределах:

- 1) отсутствие резких колебаний уровня грунтовых вод;
- 2) и самое важное в этой части: формирование *автономных* ландшафтов;
- 3) почти полное отсутствие линейной эрозии;
- 4) значительное участие в формировании вершинных поверхностей эоловых процессов и влияние на него склоновых и флювиальных процессов.

Результирующий вывод, сделанный Г.С. Ананьевым: «Главной особенностью экзогенного рельефообразования на вершинных поверхностях является существенная, хотя и не абсолютная *автономность* [курсив наш – Е.Л.] экзогенных процессов...» [1, с. 7] – помог нам вести дальнейшие исследования в рассматриваемом направлении.

Цель исследования – выявление в ходе исследований форм и элементов рельефа, различных по степени и интенсивности изменчивости, и рассмотрение наиболее стабильных и относительно самостоятельно (автономно) развивающихся форм рельефа; на основе полученных результатов – установление принципа относительной автономности в рельефообразовании и причин его действия.

Материалы и методы исследования

Материалы, на основе которых написана настоящая работа, собраны в ходе самостоятельных полевых исследований 1979–1993 гг.:

а) геоморфологической съёмки, специализированной на установление особенностей строения и закономерностей формирования рельефа, характера и режима действия этих закономерностей; на установление мест, закономерностей формирования и прогноз размещения россыпей – с проведением полевых маршрутов, простейших горных работ (проходки шурфов и расчисток с отбором проб на различные виды анализов);

б) геологопоисковых и геологоразведочных работ на россыпи и рудные месторождения: маршрутных и горных: буровых, шурфовочных, траншейных – с отбором шлиховых и штуфных проб;

в) специализированных геоморфодинамических исследований: полевых маршрутов, простейших горных работ (проходка шурфов и расчисток с отбором проб на различные виды анализов), экспериментальных, инструментальных. Районы работ простираются на Дальнем Востоке от горной системы Джугджур на севере до р. Амур на юге, от нижних частей бассейнов рр. Шилка и Аргунь на западе до побережья Охотского моря на востоке. Период камеральных работ (обработки и обобщения полевых и литературных данных) – с 1979 г. по настоящее время.

Для сбора, обработки, обобщения данных применены известные методы геоморфологических исследований, в основном – полевых, морфометрических и аналитических.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты наших исследований показывают, что округлые и тем более острые вершины относить к малоизменчивым, стабильным формам нет оснований. По данным проведенных нами горных работ, в поясе таких вершинных поверхностей активно действуют склоновые и местами флювиальные процессы, а по предшествующим данным – также эрозионные и эоловые [1]. Нет оснований относить к вершинным поверхностям и такие водораздельные пространства, в пределах которых есть хотя бы малейшие признаки действия эрозионных процессов. То же самое можно сказать и о генезисе рыхлых образований: как только частица элювия пришла в движение под действием склоновых процессов – это уже не элювий, а склоновые образования [2], и элемент рельефа, сложенный такими рыхлыми образованиями – склон, а не вершинная поверхность, пусть даже он расположен в вершинном поясе междуречий. Также если частица элювия начинает латеральное движение под действием других рельефообразующих процессов (в частности – эоловых), то она приобретает соответствующий этим процессам генезис.

Из вершинных поверхностей относительной автономностью развития обладают только плосковершинные поверхности. Чаще всего это – субгоризонтальные поверхности с уклонами до 1–3°. Большой (и однообразный) уклон им могут придать тектонические перекосы земной поверхности. Морфология плосковершинных поверхностей мало меняется, пока они остаются таковыми, весь период их существования. А он бывает весьма продолжительным и в геологическом, а не только в геоморфологическом масштабе времени. Это прослеживается, например, по геологическому строению плосковершинных

поверхностей в узле хребтов Становой и Джугдыр [8]. Плосковершинные поверхности здесь сложены архейскими гнейсами и гранитогнейсами. Рыхлые образования на них практически отсутствуют.

Элювию (если он развит) присуще постепенное укрупнение мехсостава обломков на глубину [6] и их движение лишь по вертикали, а не по латерали. Из-за своего наиболее высокого положения в рельефе относительно соседних форм и элементов плосковершинные поверхности практически не испытывают их воздействий. Этими обстоятельствами ограничивается действие на плосковершинные поверхности главного и основного агента рельефообразования: силы тяжести. Поэтому преобладающие процессы формирования плосковершинных поверхностей – процессы выветривания. Другие процессы: эоловые, криогенные, карст, биогенные и др. – участвуют в нем резко подчиненно и не определяют морфологический облик плосковершинных поверхностей, формируя микро- и наноформы и элементы.

Относительная автономность развития надпойменных террас выражена следующим образом. В силу их незначительной крутизны (до 3° , редко – до 5°) и особенностей строения рыхлых образований, прежде всего – минимума тонких частиц в их мехсоставе, обуславливающего полутвёрдую или липко-пластичную их консистенцию, обломочный материал перемещается по ним медленно: со скоростями 0,3–2,0 или 2–10 мм/год (соответственно) [2]. В своем движении поступающий на надпойменные террасы обломочный материал с вышележащих склонов задерживается в зонах тыловых швов, заполняя их, и движется еще медленнее, вследствие лучшей дренируемости рыхлых образований и приобретения ими консистенции, более близкой к полутвёрдой – и на прибрежных участках. Нередко склоны над надпойменными террасами отсутствуют, и надпойменные террасы (по отсутствию поступления рыхлых образований извне) развиваются практически в режиме плосковершинных поверхностей, т.е. преимущественно под действием выветривания. Такова, например, т.н. главная терраса долины р. Амур (отн. высота 60–110 м), на дальних от русла окраинах плавно сопрягающаяся с поверхностью Амуро-Зейского плато и существующая, судя по возрасту слагающих ее рыхлых образований, с плиоцен-раннечетвертичного времени [3]. Распространение ее столь широко, что на от-

далении от ее бровки лишь на 0,5–1 км уже не видно долины сформировавшей террасу крупной реки. То же самое наблюдается в долине р. Аргунь в нижней ее части.

Движение рыхлых образований по надпойменным террасам существенно замедляется также неровностями ее ложа, затратами энергии движения рыхлых образований на их препарировку и на ассимиляцию и снос аллювия склоновыми процессами. Базисы денудации уступов таких надпойменных террас – понижающиеся и отступающие (или – промежуточных разновидностей: понижающиеся-наступающие и понижающиеся-отступающие). И именно понижающиеся базисы денудации склонов – вследствие преобладающего врезания рек – развиты на Дальнем Востоке наиболее широко.

Террасоувалы практически всегда занимают промежуточные позиции в долинах в их поперечном профиле (между вершинными поверхностями и поймой или, в случаях высокой активности склоновых процессов – руслом) и тесно взаимосвязаны и взаимодействуют с другими формами и элементами рельефа. В то же время – пусть изредка – отмечается относительная автономность развития террасоувалов. Она выражена в виде сохранения (унаследования) морфологии надпойменных террас, превращённых по своему геологическому строению в террасоувалы. Такой террасоувал, замещающий I надпойменную террасу, исследован нами в долине р. Амур (верхняя часть), в районе с. Игнашино. По данным предшествующих работ, в том числе и геологосъёмочных, он считался фрагментом I надпойменной террасы. И действительно, по морфологии (крутизна – до 3° , лишь у самой бровки – до 5° , ширина – до 1 км, амплитуды микрорельефа – до 0,4 м) это – надпойменная терраса. Но в нескольких шурфах, пройденных по поперечному профилю этой формы, не было обнаружено окатанных обломков и были установлены щебнисто-суглинистые образования вязко-текучей (редко – жидко-текучей) консистенции и (в прибрежной части) вязко-пластичной консистенции в сочетании с вязко-текучей в нижнем слое-смазке и, следовательно – действие солифлюкции и (в прибрежной части) – конжелифлюкции. Эти данные позволяют предположить, что вся энергия движущихся склоновых образований расходуется на препарировку коренного ложа надпойменной террасы и затрата на ассимиляцию и вынос аллювия.

На изменения морфологии надпойменной террасы, а в современном виде – террасовала (в частности – на увеличение наклона поверхности до типичных для солифлюкционных склонов 5–10° и амплитуд микро рельефа поверхности до обычных для террасовала 0,7–1,5 м), у склоновых процессов, скорее всего, просто не остаётся энергии.

В развитии рассмотренных форм и элементов рельефа устанавливается действие еще одного принципа рельефообразования – принципа относительной автономности: при разнообразии и широте развития связей и взаимодействий в рельефообразовании существуют формы и элементы рельефа, формирующиеся в определенной степени автономно (независимо) от других участников рельефообразования, прежде всего от соседних с ними форм и элементов рельефа.

Причины (источники) его действия различны.

1. Пространственная:

а) отсутствие воздействий соседних с рассматриваемой форм и элементов рельефа (и действующих в их пределах процессов) вследствие меньшей высоты их положения и, вследствие этого, невозможности действия одной из составляющих силы тяжести (т.н. скатывающей силы) сверху вниз по поверхности;

б) уменьшение возможностей действия силы тяжести на формы и элементы рельефа и слагающие их породы (рыхлые образования) – до действия лишь в вертикальном направлении.

2. Морфодинамическая:

а) минимальное действие процессов латерального перемещения обломочного материала или отсутствие такого действия;

б) такое распределение действия процессов латерального перемещения обломочного материала, что оно не влияет на автономное развитие формы (элемента) рельефа, не мешает сохранению ее (его) свойств.

3. Генетическая: к относительно автономно развивающимся формам (элементам) рельефа относятся такие, на которых слагающие их рыхлые образования не испытывают латеральное перемещение (на плосковершинных поверхностях) или испытывают воздействие рельефообразующих процессов латерального перемещения обломочного материала в виде выноса обломков (исключительного или преимущественного), а не их накопления.

4. Мало меняющиеся (согласно [1]) внешние условия формирования рельефа,

в частности – литологические, тектонические, климатические.

Выводы

Набор форм и элементов рельефа, развивающихся в режиме относительной автономности и под действием установленного принципа относительной автономности, скорее всего, не исчерпывается плосковершинными поверхностями, надпойменными террасами и (в отдельных свойствах и изредка) террасовалами. Вполне возможно, что к ним относятся денудационные (в широком смысле этого понятия) формы и элементы рельефа, формирующиеся в не совсем обычных для себя условиях, в частности – котловины выдувания на сопочных массивах севера Амуро-Зейской равнины (в гумидных климатических и таёжных растительных внешних условиях) [4, 5].

Список литературы

1. Ананьев Г.С. Динамическая геоморфология. Формирование вершинных поверхностей. – М.: Изд-во МГУ, 1976. – 176 с.
2. Воскресенский С.С. Динамическая геоморфология. Формирование склонов. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – 228 с.
3. Геология и инженерная геология Верхнего Амура / под ред. Г.П. Леонов, Е.М. Сергеев. – М.: Изд-во МГУ, 1962. – 318 с.
4. Ликотов Е.Ю. Сопки и сопочные массивы. Морфология. Возможные пути формирования // Материалы VII научной конференции молодых учёных и аспирантов, Благовещенск, 28 апр. 1988 г.: Сборник научных трудов / АмурКНИИ ДВО АН СССР. – Благовещенск, 1990. – С. 36–43. – Деп. в ВИНТИ 19.06.90, № 3501-В90.
5. Ликотов Е.Ю. Особенности строения и закономерности формирования долин малых рек центральной части междуречья Зеи и Селемджи / АмурКНИИ ДВО РАН. – Благовещенск, 1993. – 230 с. – Деп. в ВИНТИ 04.03.93, № 531-В93.
6. Ликотов Е.Ю. Принцип гармонии в рельефообразовании // Геоморфология в России: научные школы: Материалы Иркутского геоморфологического семинара, Чтений памяти Н.А. Флоренсова, октябрь 2001 г. Иркутск. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2001. – С. 71–73.
7. Ликотов Е.Ю. Структура процессов формирования речных долин // Рельефообразующие процессы: теория, практика, методы исследований: Материалы XXVIII Пленума Геоморфологической комиссии РАН / Новосибирск, ИГ СО РАН, 20–24 сент. 2004 г. – Новосибирск: ИГ СО РАН, 2004а. – С. 162–163.
8. Ликотов Е.Ю. Строение рельефа и закономерности взаимодействия процессов его формирования в узлах горных хребтов, испытавших горно-долинное оледенение (на примере хребтов Становой и Джугдыр) // Геоморфология. – 2004б. – № 1. – С. 90–102.
9. Ликотов Е.Ю. Формирование надпойменных террас как один из механизмов саморазвития речных долин // Материалы XIII научного совещания географов Сибири и Дальнего Востока (Иркутск, 27–29 ноября 2007 г.) – Т.1. – Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2007. – С. 156–157.
10. Ликотов Е.Ю. Связи и взаимодействия как участники рельефообразования // Вестник Тюменского государственного университета. Серия Науки о Земле. – 2012. – № 7. – С. 113–121.

УДК 550.8.028

СМЕШАННЫЕ СИЛЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА АКТИВНОСТЬ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ ВДОЛЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СКЛОНОВ**Лютюев В.А., Лютюева Н.В.***ФГБУН «Институт геологии» Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, e-mail: VALutoev@geo.komisc.ru*

На основе комплекса геофизических и инженерно-геологических методов выяснены условия формирования оползневых тел на определенных участках склонов, примыкающих к железнодорожному полотну. Для этого были выполнены топографические работы, электроразведочные измерения, проведена вибропенетрация отобранных грунтов, осуществлен вибродинамический мониторинг природно-техногенной среды. В результате обработки полученного полевого материала были определены инженерно-геологические свойства склонов, включающие в себя геометрические параметры и физико-механические свойства слагающих грунтов, определяющие их устойчивость к вибрациям в лабораторных и естественных условиях. В основе исследований – вибродинамический метод, позволяющий проследить вибродинамические нагрузки на склоны при движении поезда с последующим описанием вибродинамических процессов для каждого интересующего нас отрезка времени. Обобщение результатов показало, что наибольшее влияние на развитие оползневых процессов оказали вибрации, исходящие при движении поезда, а именно хвостовой его части, после прохождения поворота. В этот момент происходит снижение уровня положительной дилатансии на фоне одновременного снижения предельных значений отрицательной дилатансии в пределах распространения фронта прямой сейсмической волны. Это приводит к снижению первоначальной величины угла откоса для песчаных грунтов и снижению сопротивления сдвиговой составляющей для глинистых грунтов. Таким образом, структурно измененные грунты вблизи железной дороги заметно отличаются снижением уровня несущей способности от 1,5 до 2,0 раз относительно грунтов, измененных под воздействием вибраций автомобильного транспорта и городского шума.

Ключевые слова: железнодорожное полотно, оползень, топография, электроразведка, вибропенетрация, дилатансия, вибродинамическая съемка

MIXED FORCES AFFECTING THE ACTIVITY OF LANDSLIDE PROCESSES ALONG THE RAILWAY SLOPES**Lutoev V.A., Lutoeva N.V.***Institute of Geology of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, e-mail: VALutoev@geo.komisc.ru*

On the basis of geophysical and geotechnical methods clarified the conditions of formation of landslide bodies on certain parts of the slopes adjacent to the rail track. This was made for topographic, electrical measurements of the selected soils vibropresarea implemented the dynamic vibration monitoring of natural and man-made environment. As a result of processing the received GPR data were determined geotechnical properties of slopes, including the geometrical parameters and physico-mechanical properties of soils composing, determining their resistance to vibration in laboratory and natural conditions. At the core of the studies used dynamic vibration method, which allows tracing the dynamic vibration load on the slopes during the train motion with the subsequent description of vibrodynamics processes of interest to us for each period of time. Synthesis results showed that the greatest influence on the development of landslide processes has had a vibration arising at movement of a train, namely the tail part after turning. At this point there is a decrease in the level of positive dilatancy on the background of simultaneous decrease of the limit values of the negative dilatancy within the direct propagation of seismic waves. This leads to lower initial values of angle of repose for sandy soils and decrease the shear resistance component of clay soils. Thus, structurally altered soils near the railroads differ markedly reducing the carrying capacity from 1.5 up to 2.0 times with respect to soils that have been modified under the effect of vibration of road transport and noise of the city.

Keywords: railroad tracks, landslide, topography, survey, vibrometrypenetraci, dilatancy, dynamic vibration shooting

В распоряжении Правительства РФ от 17.06.2008 г. № 877-р «О Стратегии развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года» планируется повысить пропускную способность железных дорог северо-запада России: Хальмер-Ю – Усть-Кара, Сыктывкар – Пермь [4]. Естественно, увеличение количества составов приведет к повышению вибродинамических нагрузок на пути, насыпи и склоновые участки. Статистика указывает, что около 7% от всей

протяженности железных дорог имеет различные дефекты, возникшие по разным причинам [1]. Одним из негативных факторов являются вибрации, возникающие при движении поездов, которые инициируют на «слабых участках» железных дорог оползни, сплывы, просадки и др. Таким образом, весьма актуальным становится вопрос изученности динамики развития оползней вблизи железных дорог, исходя из утверждения, что вибрации определенной

интенсивности и продолжительности ведут к снижению несущих свойств грунтов [2, 5].

Целью наших исследований являлось выполнение экспериментальных работ, для изучения влияния вибраций, вызванных движением поезда и осложненных действиями сил склоновой гравитации в несвязных и связных грунтах.

Методы исследований основывались на комплексном подходе, затрагивающем различные аспекты решения проблемы в рамках параметрической модели диагностики развития оползней.

Основная часть

В полевой сезон 2015 г. в девяти километрах к северу от железнодорожной станции «Сыктывкар» с правой стороны относительно движения поезда из города в 15 м от железной дороги был обнаружен участок, имеющий на склонах оползневые тела четвертичных отложений. Здесь же, но уже напротив – с левой стороны склона, на удалении 17 м от железной дороги в подпочвенном слое выявлена трещина длиной более 20 м, шириной 0,1 м, глубиной до 0,7 м. Для исследований оползневых процессов был применен комплекс работ, в котором использовались следующая аппаратура и оборудование:

1) топографические – оконтуривание оползневых тел, определение угла уклона, и разности высот относительно основания насыпи и верхней точки склона (рейка нивелирная VEGA TS3M, лазерный нивелир RGK LP-106, лазерный дальномер ADA ROBOT 80, навигатор GPSmap 62s);

2) электроразведочные – определение геоэлектрического разреза для выяснения геоэлектрических параметров пород с последующей привязкой их к литологии разреза (электроразведочная станция «Электротест-C/USB» с разносами токовых электродов АВ от 2 до 270 м);

3) инженерно-геологические – отбор керн на глубинах с последующими их испытаниями (вибропенетрационный комплекс, состоящий из вибратора АЯЦМ 250 Вт, блока задания частоты колебаний ГРИВ.426449.001 с шагом ускорения 0,001 до 0,1 g, электронных часов ИЧЦ с точностью измерений $1 \cdot 10^{-5}$ м);

4) вибродинамические работы – определение динамической анизотропии грунтов, записи фонового уровня вибраций и вибраций, вызванных движением поезда (трехкомпонентная сейсмическая станция Zet 048-с частотным диапазоном от 0,3 до 400 Гц).

Все эти методы были объединены в два самостоятельных раздела: инженерно-геологическая съемка и вибродинамическая съемка.

Инженерно-геологические работы представляли собой следующий комплекс исследований: топографические, инженерно-геологические, электроразведочные (замена бурения), вибропенетрационные.

В результате топографической съемки определены первичные признаки оползневых процессов: наличие трещин вдоль бровки, присутствие оползневых выемок ниже бровки и оползневых уступов, а также валов ближе к подножию склона. Выявлены классификационные признаки оползней [3]: по отношению к склону – *на склоне и с захватом подошвы склона*; форма в плане – *полуциркулярная*; характер поверхности – *ровный*; глубина захвата – *от поверхностного до мелкого*; число поверхностей скольжения – *два*; происхождение поверхности скольжения – *оплывины, верхняя поверхность скольжения и срезающе-консеквентное вторая, нижняя поверхность скольжения*; крутизна поверхности скольжения – *пологая*; типы оползающих пород – *пески по глинам*; характердвигающихся масс – *массивные пакеты*; искусственное изменение профиля склона – *подрезка*; смешанные источники сил,двигающихся породы, – *вес породы и сотрясения*; внутреннее изменение в породах, уменьшающее их устойчивость – *размягчение*; характер и форма увлажнения – *по слоистости*; тип оползания – *делясивный*. Были построены четыре профиля, три из которых пересекают оползневые тела. В таблице (табл. 1) даны основные параметры склона: относительная высота от бровки до уреза, длина участка склона, угол уклона; также даны основные параметры оползней: объем оползневого тела, угол скольжения оползня, толщина оползневого тела.

Из таблицы видно, что все оползневые тела по размерам относятся к мелким, наиболее крупное из них находится на линии профиля 2. Здесь была сделана расчистка склона и отобраны пробы для вибропенетрации из слоев: почвенно-растительный (0–0,15) м; супесь (0,15–0,35) м; песок крупный (0,35–0,8) м; глина (0,8–1,5) м; песок мелкий, средней степени водонасыщения (1,5–2,9) м. Эти грунтовые данные были использованы для привязки к геоэлектрическому разрезу. Ошибка геоэлектрической модели разреза по замеренным кривым КС составила менее 1%. Поэтому геоэлектрический разрез

вполне может соответствовать геологическому разрезу до глубины – 10,0 м, что достаточно для изучения оползней с мелкой глубиной захвата. Левая сторона склона нами не исследовалась проводилась только электроразведка, которая выявила идентичность геоэлектрических разрезов правой и левой стороны. Однако с целью мониторинга за ее дальнейшими подвижками с каждой стороны трещины были вбиты колышки-маркеры на расстоянии один метр. Исходя из топографических данных и геоэлектрического разреза была построена модель развития оползня левой и правой стороны склона (рис. 1).

Далее отобранные грунты с «ненарушенными» структурными связями (не нарушены кернотборником, но нарушены вибрациями поездов) были подвержены вибродинамическому нагружению с целью определения количественного характера уплотнения с фиксацией критических ускорений перехода от положительной к отрицательной дилатансии. Мелкие пески начинают уплотняться с ускорения 0,162 м/с², по мере увеличения вибродинамической нагрузки уплотнение происходит в несколько стадий: 0,254; 0,278; 0,469 м/с². Критическая величина – 0,516 м/с², при

дальнейшем росте ускорения – до величины 0,561 м/с² – грунты полностью разрыхляются. Крупные пески имеют несколько большую величину начальной стадии уплотнения – 0,469 м/с², однако процесс отрицательной дилатансии начинается с той же величины, что и для мелкозернистых песков – 0,516 м/с². Для образца смешанного типа, имеющего акустическую пограничную зону между пластичными и зернистыми грунтами, процесс отрицательной дилатансии песка начинается при значении 0,469 м/с². Из этих испытаний следует, что зернистые грунты, залегающие вдоль железной дороги, проходят следующие стадии динамического отклика: слабое уплотнение, уплотнение с разрушением связей, разрыхление – со значений 0,516–0,561 м/с². В таблице (табл. 2) приведено сравнение предельных ускорений устойчивости грунтов, отобранных вблизи железнодорожной дороги и отобранных с территории г. Сыктывкара. Их различие свидетельствует о том, что вибрация, вызванная движением поездов, имеет более существенное влияние, снижая одновременно предельные значения ускорений как в положительной, так и в отрицательной области дилатансии в 1,5–2,0 (36–55 %) раза.

Таблица 1

Результаты топографической съемки оползневых процессов

| Номер профиля | Характеристика склона | | | Характеристика оползня | | |
|---------------|-----------------------|----------------|-------------------------------|------------------------|--------------------------|----------------|
| | ΔH , м | ΔS , м | $\alpha_{\text{скл}}^{\circ}$ | V , м ³ | α_{\circ}° | Δh , м |
| 1 | 5,40 | 27,1 | 15°49' | 9,252 | 26 | 0,8 |
| 2 | 4,87 | 26,4 | 15°22' | 85,72 | 36 | 1,2 |
| 3 | 4,43 | 24,5 | 13°17' | 12,6 | 20 | 0,7 |
| 4 | 4,26 | 25,6 | 12°24' | – | – | – |

Обозначения: ΔH – относительная высота участка склона, м; ΔS – длина участка склона, м; $\alpha_{\text{скл}}$ – трендовый угол уклона склона, град; V – объем оползневого тела, м³; α_{\circ} – трендовый угол зеркала скольжения, град; Δh – толщина оползневого тела, м.

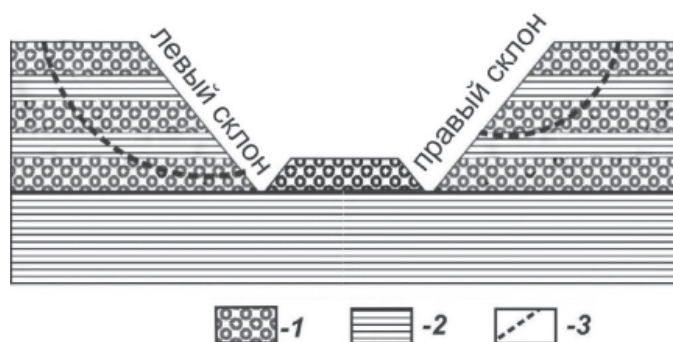


Рис. 1. Модель развития оползней на правом и левом склонах относительно железнодорожного полотна:
1 – несвязные грунты, 2 – связные грунты, 3 – поверхности скольжения

Таблица 2

Сравнение предельных ускорений устойчивости грунтов
вдоль железнодорожного полотна и городской территории

| № п/п | Грунты | Железнодорожное полотно | | | Городская территория | | | % |
|----------|--|--------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------|----|
| | | a_0 , м/с ² | a_{\max} , м/с ² | S , м | a_0 , м/с ² | a_{\max} , м/с ² | S , м | |
| 1 | Песок крупнозернистый (маловлажный) | 0,278 | 0,561 | $0,48 \cdot 10^{-3}$ | 0,162 | 1,236 | $0,48 \cdot 10^{-3}$ | 55 |
| 2 | Глина-песок (переходная зона) | 0,230 | 0,516 | $0,27 \cdot 10^{-3}$ | 0,230 | 0,819 | $0,75 \cdot 10^{-3}$ | 36 |
| 3 | Песок мелкий (влажный) | 0,230 | 0,561 | $0,37 \cdot 10^{-3}$ | 0,230 | 1,236 | $0,56 \cdot 10^{-3}$ | 55 |

Примечания: a_0 – минимальное ускорение начала уплотнения грунтов; a_{\max} – максимальное ускорение при уплотнении грунтов с последующим разрыхлением; S , м – максимальная величина уплотнения; % – процентное соотношение ослабления грунтов вдоль ЖД относительно территории города.

Вибродинамические исследования выполнялись в два этапа:

На первом этапе определена динамическая анизотропия грунтов с помощью падающего груза массой 16 кг с высоты 1,07 м, создающего энергию удара 168 Дж (10 повторов). В результате удара со стороны ЖД (Ю-З) на удалении 15 м почвенный слой от точки возбуждения сдвигается с пиковой амплитудой ускорения – 0,000606 м/с². Перпендикулярно ему с С-З стороны, при той же энергии удара – с амплитудой 0,001018 м/с². Проверочное измерение в обратном направлении, со стороны Ю-В, показало величину – 0,001008 м/с², откуда следует, что относительная ошибка ударного воздействия составляет 0,98%. Таким образом, угол подхода прямой волны, образующийся в условиях минимальной величины декремента затухания относительно направления движения поезда – равен 0° ($Az = 120^\circ$). Наибольшее сопротивление среды ожидается под углом 90° ($Az = 30^\circ$), перпендикулярно к направлению движения поезда. При этом передаваемая через грунт вибрация зависит от условий местности, при которых происходит усиление или ослабление амплитуды прямой волны:

1) прямая волна, идущая от ЖД в сторону склона, испытывает эффект влияния топографического фактора, где в верхней точке усиливается амплитуда сигнала. С другой стороны, слой песка, имеющий высокий акустический импеданс, снижает ее;

2) прямая волна, идущая с Ю-В, быстрее распространяется по глинам и влажным пескам с более низким импедансом, максимально сохраняя при этом свою первоначальную амплитуду волны;

3) изменение сигналов в точке приема на данных расстояниях близко к закону линейного убывания.

На втором этапе определены уровни вибродинамических воздействий от движения поезда, состоящего из тепловоза 2ТЭ10М (138 тонн) и семи вагонов (1 вагон – 60 тонн) на склоне. Очевидно, что длина и скорость поезда определяют силу и время воздействия колебаний. Исходя из длины состава – 192 м (семь вагонов – 175 м, тепловоз – 17 м) и времени их прохождения мимо акселерометра (т.н.) – 20 с, вычисляем скорость движения поезда – 9,6 м/с (34,6 км/ч). Непрерывные записи двухмерных спектров Фурье (рис. 2, а) позволяют проследить характер изменения уровня вибраций относительно т.н. Извлекая одномерные спектры в выбранный момент времени (рис. 2, б), начиная от минимальных – фоновых значений – до максимальных, а далее опять до фоновых, мы получим новые функциональные зависимости, отвечающие значениям среднеквадратичных ускорений движения почвы с соответствующими частотами колебаний (рис. 2, в).

Общее время измерения с учетом записи фоновых замеров составило – 92 с, за это время состав прошел расстояние 883 м. Проведем полный анализ динамики смещения почвы по компонентам на всем этом пути. Начало записи соответствует промежутку времени 5–30 с, по Z компоненте фиксируются кратные волны Рэлея, по X и Y волны Лява. Далее, на отрезке времени 30–40 с, амплитудный уровень волн расхождения постепенно начинает преобладать над амплитудами кратных волн, достигая среднеквадратичного максимума (пиковое) на 44 с: $a_{z, \text{ср.кв}} = 0,000462$ (0,000661) м/с². Это происходит в момент прохождения тепловоза в ближайшей к акселерометру точке, по компоненте X, отмечается также увеличение амплитудного уровня до $a_{x, \text{ср.кв}} = 0,000522$ м/с²; на компоненте Y

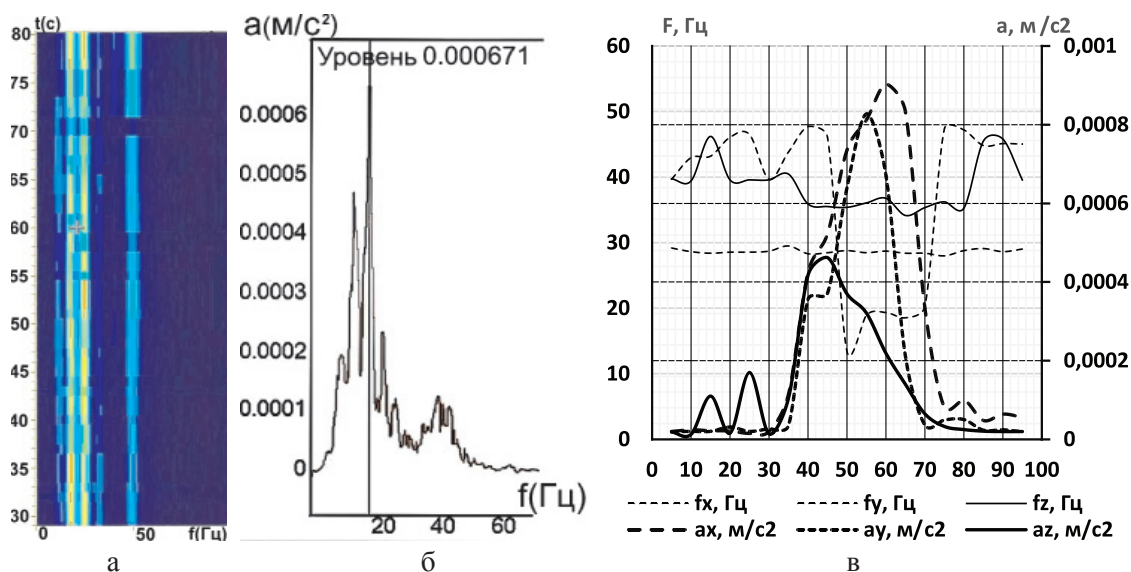


Рис. 2. Динамика изменения амплитуды и частоты колебания грунтов в момент движения поезда: а – спектр 2D; б – спектр 1D; в – вибродиаграмма движения поезда при 35 км/ч; f_x, f_y, f_z – преобладающие частоты (в Гц) по составляющим X, Y, Z; a_x, a_y, a_z – среднеквадратичные амплитуды ускорений (в м/с²) по составляющим X, Y, Z

отмечается кратковременное снижение амплитуды сигнала с $a_{y, ср. кв} = 0,000385$ м/с² до $a_{y, ср. кв} = 0,000371$ м/с², что связано с ориентировкой акселерометра. По компонентам X и Y амплитуды несколько смещены ввиду динамической анизотропии амплитудного вектора давления. Далее, по мере отхода тепловоза от т.н. до момента времени 50 с, амплитудный уровень по Z компоненте снижается до величины $a_{z, ср. кв} = 0,000370$ м/с². Что касается X и Y компонент, то на них отражается воздействие колебаний от вагонов, имеющих горизонтальные движения раскачки, возникающие от импульса поворота с радиусом кривизны 800 м (за 300 м до подхода вагонов поезда до т.н.), что соответствует времени 10 с на вибродиаграмме движения поезда (рис. 2, в). Таким образом, инициирующая энергия колебаний почвы при круговом равномерном движении разбивается на две составляющие, исходящие от воздействий касательной и нормальной сил. В первом случае энергия движения совпадает с продольной раскачкой вагонов, что мало влияет на колебания почвы, т.к. касательное ускорение равно нулю при постоянстве скорости. Во втором – центробежное ускорение величиной 0,115 м/с² вызывает силу, направленную к центру радиуса движения. Поэтому, когда поезд начинает выходить из кругового движения, эта сила дает раскачку на боковые перемещения, которые ярко выражены на диаграмме X компоненты более низкими частотами 18–20 Гц на фоне 30 Гц по Y и 35 Гц по Z

компоненте. В этих условиях критический максимум амплитуды ускорения почвы $a_{y, ср. кв} = 0,000812$ (0,001161) м/с² отмечается на Y компоненте в момент времени 55 с от начала записи, где воздействие тепловоза уже снижается. Горизонтальные перемещения хвостовой части поезда на компоненте Y отмечаются меньшей амплитудой ускорения ввиду ориентировки акселерометра под углом 90° к источнику возбуждения. Такой момент регистрации уровня вибраций наступает, когда тепловоз находится на удалении 142 м (5–6 вагоны) от места начала регистрации. Далее, на 60 секунде, на компоненте X отмечается максимальная амплитуда ускорения – $a_{x, ср. кв} = 0,000903$ (0,001291) м/с², а именно в момент прохождения хвоста поезда на минимальном расстоянии от пункта наблюдения. В это время подстилающие грунты в пункте наблюдения в районе развития оползней подвержены максимальной энергии сдвига и кручения от вибродинамического воздействия.

Заключение

Развитие оползневых процессов на данном участке обусловлено природно-техногенными факторами, состоящими из внутренних сил напряжения склона и внешнего воздействия вибродинамического поля, исходящего в основном от движения поезда по дуге. Кроме того, при пропитке грунтов водой увеличиваются силы гравитации. В результате этих

смешанных сил происходят существенные изменения несущих свойств грунтов, лежащих вблизи путей, которые в итоге проявляют себя снижением уровня положительной дилатансии на фоне одновременного снижения предельных значений отрицательной дилатансии, снижением угла откоса для песков и снижением сопротивления по сдвигу для глин.

Ввиду того, что амплитуда ускорения смещения почвы в зоне затухания прямых волн, исходящих от движения поездов, больше (на 20–30%), чем от автомобильного транспорта, а продолжительность вибрации превышает в десятки раз, то процесс восстановления структурных связей в этих грунтах более затруднителен. Поэтому грунты вблизи железных дорог отличаются снижением степени устойчивости к внешнему вибродинамическому воздействию в 1,5–2 раза по сравнению с грунтами, подвергающимися воздействию движения автомобилей и городского шума.

С точки зрения возможности возникновения чрезвычайных ситуаций от оползневых процессов на данном участке железной дороги, по нашему мнению, их следует

ожидать не с правой, а с левой стороны полотна по отношению к движению поезда от станции «Сыктывкар». Здесь, согласно нашей модели, в будущем возможны грунтовые подвижки более глубокого генезиса с включением нижних горизонтов – пластичных суглинков, с потенциалом, во много раз превышающим потенциал оползней правой стороны.

Список литературы

1. Востриков К.В. Устойчивость земляного полотна железных дорог, упроченного инъекциями грунтоцементного раствора, с учетом динамического воздействия поезда на грузки: диссертация на соискание канд. техн. наук. – Новосибирск, 2014. – С. 4–5.
2. Лютоев В.А., Лютоева Н.В. Сейсмоустойчивость грунтов северной части Волго-Уральской антеклизы // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: материалы XIV Геологического съезда Республики Коми. – Сыктывкар, 2004. – Т. 2. – С. 29–31.
3. Попов И.В. Инженерная геология. – М.: МГУ, 1959. – 505 с.
4. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. Минтранс РФ. Утверждена распоряжением правительства Российской Федерации от 22.11.2008 г. № 1734-Р. www.mintrans.ru.
5. Экспериментальная динамика сооружений. Мониторинг транспортной вибрации / Е.К. Борисов, С.Г. Алимов, А.Г. Усов и др. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2007. – 128 с.

УДК 621.644.07

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ РЕЗЕРВУАРОВ НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ. ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ВЫБОРА РАЗМЕРОВ РАСЧЕТНОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ КРАЕВЫХ ЭФФЕКТОВ**Марков Е.В., Пульников С.А.***ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»,
Тюмень, e-mail: markov.ev@mail.ru, spulnikov@mail.ru*

На сегодняшний день обеспечение устойчивости резервуаров в условиях многолетнемерзлых грунтов является актуальной задачей проектирования. Выбор конструкции фундамента резервуара должен подтверждаться тепловым расчетом, который обычно выполняется на ЭВМ с использованием численных методов решения дифференциального уравнения теплопроводности. Использование численных методов расчета сопровождается возникновением краевых эффектов, которые снижают точность. Показаны основные недостатки существующего подхода к определению размеров расчетной области, отвечающих необходимой точности решения. Предложены аналитические выражения оценки величины краевых эффектов. Эти выражения использованы при составлении номограмм и методики для определения оптимальной глубины расчетной области в зависимости от требуемой точности решения, предполагаемой глубины и радиуса ореола оттаивания. Получена формула для расчета оптимального радиуса массива грунта по известной глубине.

Ключевые слова: многолетнемерзлый грунт, резервуар, стационарное уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах, уравнение Лапласа, граничные условия, краевые эффекты, ряды Фурье – Бесселя, функция Грина для полупространства в цилиндрической системе координат, оптимальный размер расчетной области

TERMAL CALCULATION OF TANKS ON THE PERMAFROST. OPTIMISATION OF THE COMPUTATIONAL DOMAIN SELECTION PROCESS FOR FRINGE EFFECT REDUCTION**Markov E.V., Pulnikov S.A.***Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, e-mail: markov.ev@mail.ru, spulnikov@mail.ru*

Today the tank's stability on the permafrost is actual problem in designing. The choice of the foundation construction must be confirmed by thermal calculation, which are usually making on the computer and with using of numerical methods to find the solution of heat transfer differential equation. Using of the numerical methods is accompanied by fringe effects, which reduce the accuracy. The main limitation of current approach for finding the size of the computational domain for necessary accuracy has been shown. Analytical expression for estimation of the fringe effects has been proposed. This expression has been used for creating new nomograms and method for finding the optimal depth of computational domain depending on necessary accuracy, estimated depth and radius of thawing halo. The expression for the calculation optimal computational domain radius has been found.

Keywords: permafrost, tank, stationary heat transfer equation in cylindrical coordinate system, Laplace's equation, boundary condition, fringe effect, Fourier – Bessel series, Green's function for half-space in cylindrical coordinate system, optimal size of the computational domain

Резервуарный парк является одним из наиболее ответственных объектов в нефтяной отрасли. Обеспечение устойчивости и безаварийной эксплуатации в условиях многолетнемерзлых грунтов (ММГ) часто осложняется необходимостью хранения продуктов при положительной температуре. Техногенное тепловое воздействие приводит к оттаиванию ММГ в основании и развитию неравномерных осадок. В подобных условиях особенно актуален вопрос о повышении достоверности прогнозных тепловых расчетов ореолов оттаивания ММГ, т.к. именно тепловой расчет является определяющим в выборе конструкции фундамента резервуара.

На сегодняшний день задача прогнозирования глубины ореолов оттаивания

решается численными методами [1, 3–5, 7–14]. Однако время решения таких задач нелинейно зависит от точности решения (кубическая зависимость для двумерных задач и 4-я степень для трехмерных при использовании явных схем метода конечных разностей). К тому же численные методы не позволяют учитывать неограниченность размеров грунтового массива в основании резервуара в связи с математическими ограничениями. Последнее обстоятельство приводит к появлению краевых эффектов, которые искажают расчетное температурное поле вблизи границ расчетной области (под расчетной областью будем понимать грунтовой массив, в котором ощущается тепловое влияние резервуара). Это заставляет выбирать размер расчетной области

настолько большим, чтобы величина краевых эффектов была меньше предельно допустимой погрешности расчета. Процесс поиска подходящего размера расчетной области состоит из этапов по последовательному его увеличению. Если на очередном этапе по увеличению размера расчетной области температура перестала изменяться на величину большую, чем предельно допустимая погрешность, значит, искомый размер расчетной области найден, а краевые эффекты достаточно малы. Описанный процесс имеет ряд существенных недостатков:

1. Требуются значительные временные затраты, возрастающие на каждом этапе.

2. Поиск размера массива грунта указанным путем в условиях дефицита времени может привести к выбору неоптимальных его геометрических параметров (под оптимальным размером массива грунта здесь и далее будем понимать такой размер, который обеспечивает заданную точность решения при наименьшей площади).

Данная статья посвящена совершенствованию методики поиска оптимального размера массива грунта. Приведенная ниже методика позволяет найти оптимальный размер массива грунта исходя из необходимой точности решения.

Наиболее простым способом определения величины краевых эффектов является сравнение двух решений для одной задачи. В одном из решений краевые эффекты присутствуют, а в другом отсутствуют.

Сначала найдем решение задачи, в которой краевые эффекты присутствуют. Расчетная схема приведена на рис. 1.

В общем случае процесс изменения температурного режима основания и образования ореолов оттаивания является нестационарным. Однако наибольшее тепловое влияние на ММГ достигается в конце срока службы резервуара. К этому времени температурный режим основания стабилизируется, а краевые эффекты достигают максимального значения. Это позволяет решать задачу об определении

краевых эффектов в стационарной постановке на основании линейного дифференциального уравнения теплопроводности в цилиндрической системе координат (уравнение Лапласа):

$$\frac{d^2V}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dV}{dr} + \frac{d^2V}{dz^2} = 0. \quad (1)$$

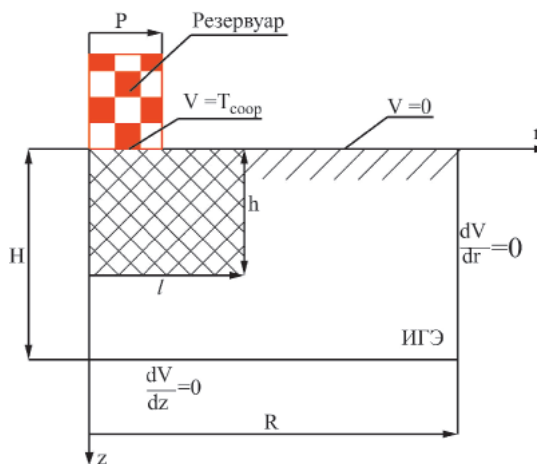


Рис. 1. Расчетная схема для определения температуры под резервуаром:

T_{coop} – температура на границе контакта резервуар-грунт, °С;

P – радиус резервуара, м;

H – глубина моделируемого массива грунта, м;

R – радиус моделируемого массива грунта, м;

h – предполагаемая глубина ореола оттаивания;

l – предполагаемый радиус ореола оттаивания;

ИГЭ – инженерно-геологический элемент

Граничные условия для расчетной схемы на рис. 1:

$$\left. \frac{dV}{dz} \right|_{z=H} = 0; \quad (2)$$

$$\left. \frac{dV}{dr} \right|_{r=R} = 0; \quad (3)$$

$$V = \begin{cases} T_{coop}, & r < P; \\ 0, & r > P. \end{cases} \quad (4)$$

Решение для рассматриваемого случая хорошо известно. Оно представляет собой ряд Фурье – Бесселя [6]:

$$V_1 = T_{coop} \frac{P^2}{R^2} + \sum_{n=1}^{\infty} T_{coop} \frac{2PJ_1(a_n^1 P/R) J_0(a_n^1 r/R) \cosh(a_n^1 (H-z)/R)}{a_n^1 R (J_0(a_n^1))^2 \cosh(a_n^1 H/R)}, \quad (5)$$

где $J_\nu(x)$ – функция Бесселя первого рода, ν -го порядка, вещественного аргумента; a_n^1 – n -й положительный корень функции Бесселя первого рода, ν -го порядка, вещественно-го аргумента.

Мы получили выражение (5)–(6), для температуры в ограниченном цилиндрическом массиве грунта с теплым резервуаром на поверхности. Теперь необходимо решить ту же задачу для неограниченного массива грунта $R \rightarrow \infty, H \rightarrow \infty$, т.е. для случая с отсутствием краевых эффектов. Для этого применим теорию функций Грина для полупространства $z > 0$ в цилиндрической системе координат [2] с учетом аксиальной симметрии задачи и граничного условия (4):

$$V_2 = T_{coop} \frac{z}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi_0 \int_0^P \frac{r_0}{(r_0^2 + r^2 - 2 \cdot r \cdot r_0 \cdot \cos(\varphi_0) + z^2)^{3/2}} dr_0. \quad (6)$$

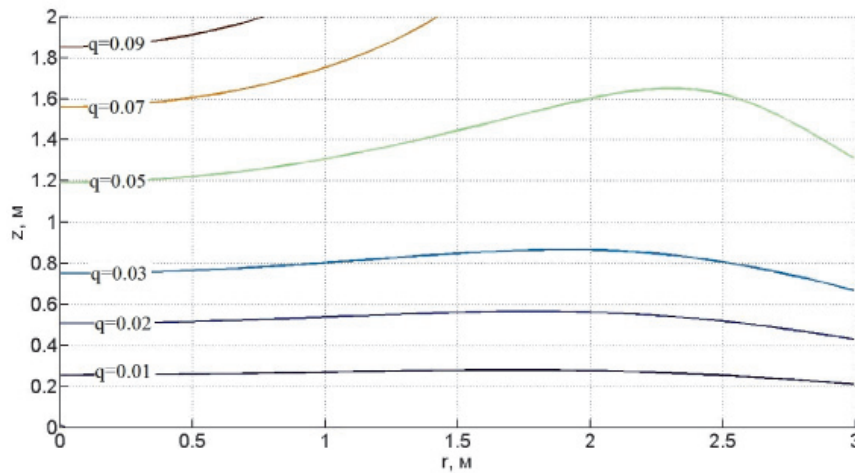


Рис. 2. Изолинии величины ΔW . Расчет выполнен для случая $H = 2$ м, $R = 3$ м, $P = 1$ м

Теперь, когда известны формулы, определяющие распределение температур как для случая с краевыми эффектами (5), так и без них (6), можно рассчитать их приведенную разницу, которая и будет представлять приведенную величину краевых эффектов:

$$\Delta W = |V_2 - V_1| / T_{coop}. \quad (7)$$

На рис. 2 изображен график приведенной величины краевых эффектов, рассчитанный по формулам (5)–(7).

Из графика видна характерная особенность краевых эффектов – на поверхности они отсутствуют, т.к. граничные условия первого рода (4) – совпадают. При увеличении глубины краевые эффекты монотонно увеличиваются, достигая максимального значения на максимальной глубине. А значит, при вычислении краевых эффектов достаточно проверять отклонения на нижней границе.

С использованием формул (5)–(7) были составлены номограммы и методика, которые позволяют найти оптимальный размер расчетной области, исходя из требуемой точности расчета и предполагаемой глубины ореолов оттаивания. Далее приведена последовательность действия читателя при использовании предлагаемой методики:

1. Сбор исходных данных:
 - ΔT_{max} – необходимая точность решения, °С;
 - ΔT_{coop} – модуль разности температуры сооружения и температуры грунта на глубине нулевых годовых амплитуд, °С;
 - h_{max} – максимальная глубина, на которой необходимо обеспечить заданную точность решения ΔT_{max} (соответствует предполагаемой глубине ореола оттаивания), м;
 - l_{max} – максимальный радиус, на котором необходимо обеспечить заданную точность решения ΔT_{max} (соответствует предполагаемому радиусу ореола оттаивания), м;
 - P – радиус резервуара, м.
2. Расчет безразмерных величин:
 - $q = \frac{\Delta T_{max}}{T_{coop}}$ – приведенная точность расчета;
 - $h = \frac{h_{max}}{P}$ – приведенная максимальная глубина, на которой необходимо обеспечить заданную точность решения q .
 - $l = \frac{l_{max}}{P}$ – приведенный максимальный радиус, на котором необходимо обеспечить заданную точность решения q .
3. Нахождение безразмерной минимальной глубины массива грунта H : используя

номограммы (рис. 3–5), необходимо найти величины h , l и q . Откладывая перпендикуляр от оси h вертикально вверх, необходимо найти точку пересечения с изолинией q . От найденной точки откладывается перпендикуляр влево до пересечения с осью $\ln H$.

4. Расчет абсолютной глубины массива грунта:

$H_{\text{абс}} = P \cdot H$ – минимальная глубина массива грунта, которая обеспечит заданную точность решения ΔT_{max} , м.

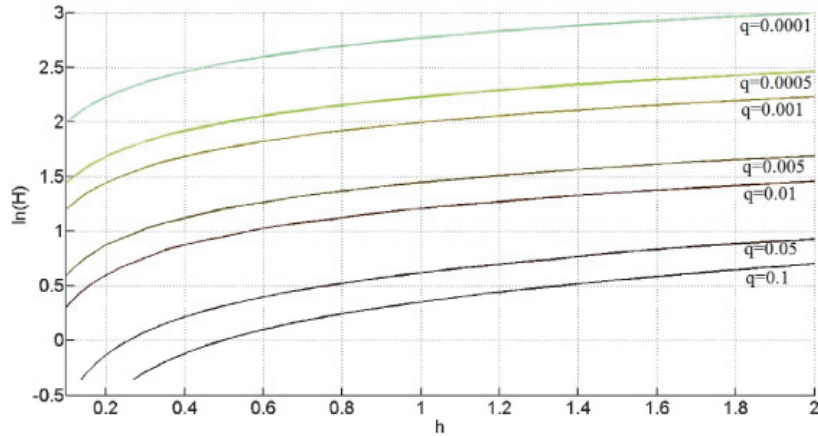


Рис. 3. Номограмма для определения оптимальной глубины расчетной области H для случая $h \in [0, 1; 2]$, $l = 1$

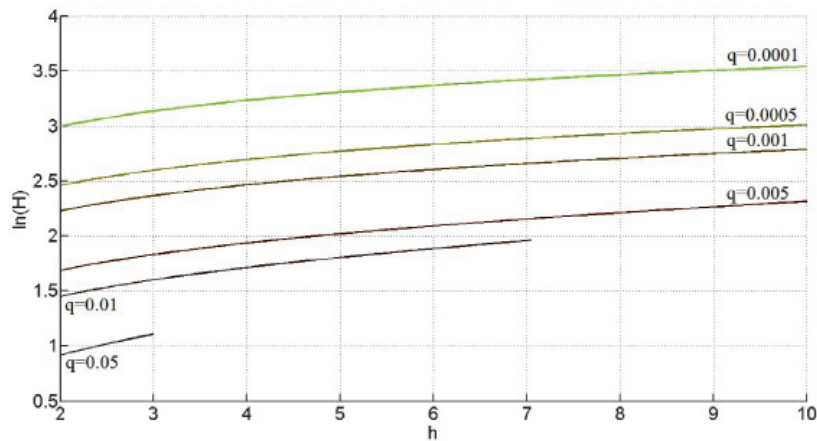


Рис. 4. Номограмма для определения оптимальной глубины расчетной области H для случая $h \in [2; 10]$, $l = 1$

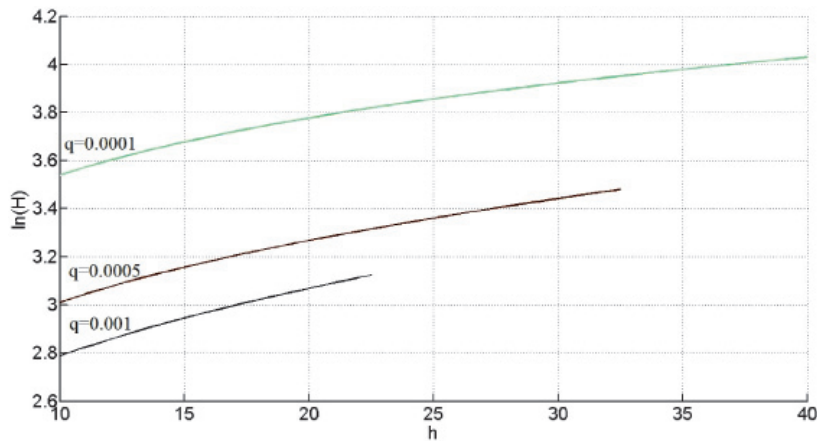


Рис. 5. Номограмма для определения оптимальной глубины расчетной области H для случая $h \in [10; 40]$, $l = 1$

5. Определение оптимального радиуса массива грунта:

$$L_{abc} = P \cdot H \cdot \left(1,15 \cdot \left(\frac{0,6714}{H} \right)^{1,75} + 1,3266 \right). \quad (8)$$

Формула (8) позволяет найти оптимальный радиус массива грунта. Она действительна в диапазоне $H \in [0,7; +\infty]$.

Выводы

Найдены аналитические выражения для распределения температуры под резервуаром в однородном ограниченном и неограниченном массивах грунта с учетом аксиальной симметрии. Рассчитаны величины краевых эффектов, по которым составлены номограммы и методика для определения оптимальной глубины расчетной области в зависимости от требуемой точности решения и предполагаемой глубины и радиуса ореола оттаивания. Получена формула для расчета оптимального радиуса массива грунта по известной глубине.

Список литературы

1. Алескерова З.Ш., Пульников С.А., Сысоев Ю.С., Казакова Н.В. Оценка эффективности геотехнического мониторинга магистральных газопроводов по качеству продуцируемой информации // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2015. – № 3. – С. 81–86.
2. Араманович И.Г., Левин В.И. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1969.
3. Вагнер В.В., Пульников С.А., Кушнир С.Я. Распределение стрелы прогиба арочного выброса по длине подземного газопровода // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2008. – № 4. – С. 101–105.
4. Горковенко А.И., Вагнер В.В., Пульников С.А. Результаты исследований взаимодействий вибронгруженных магистральных подземных газопроводов с окружающими грунтами // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2007. – № 4. – С. 73–77.
5. Карнаухов М.Ю., Лазарев С.А., Пульников С.А., Сысоев Ю.С. Исследование процесса формирования эксплуатационного положения протяженных участков МГ Уренгой – Челябинск в сложных гидрогеологических условиях // Газовая промышленность. – 2015. – № S724 (724). – С. 53–58.
6. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964.
7. Кушнир С.Я., Пульников С.А., Малюшин Н.А., Сенев Д.М. Пространственная устойчивость подземных магистральных трубопроводов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2012. – № 1. – С. 51–56.
8. Кушнир С.Я., Пульников С.А., Серебренников А.А., Сенев Д.М. Устойчивость призм обвалования подземных магистральных нефтегазопроводов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2010. – № 4. – С. 65–70.
9. Кушнир С.Я., Пульников С.А., Сысоев Ю.С., Карнаухов М.Ю. Аналитическая задача определения удлинения газопровода в области аркообразования // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2011. – № 4. – С. 74–80.
10. Марков Е.В., Пульников С.А., Гербер А.Д. Проблема задания граничных условий при моделировании теплового взаимодействия «горячих» трубопроводов с многолетнемерзлыми грунтами // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–10. – С. 2106–2110.
11. Марков Е.В., Пульников С.А., Гербер А.Д. Расчет температурного режима многолетнемерзлых грунтов с учетом радиационного излучения в инфракрасной области спектра и термического сопротивления снежного покрова // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 11–1. – С. 100–104.
12. Марков Е.В., Пульников С.А., Казакова Н.В. Особенности задания граничных условий третьего рода на поверхности многолетнемерзлого грунта при моделировании его теплового взаимодействия с «горячим» трубопроводом в программе comsol multiphysics 4.3b // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 11–2. – С. 287–291.
13. Марков Е.В., Пульников С.А., Сысоев Ю.С. Анализ типовых методик расчета глубины протаивания вечномерзлых грунтов под трубопроводами // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – С. 142.
14. Пульников С.А., Сысоев Ю.С., Лазарев С.А. Влияние теплового режима подземного магистрального газопровода на его пространственные деформации в сложных геологических условиях // Нефть и газ западной Сибири: материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Тюменского индустриального института. – 2013. – С. 52–56.

УДК 552.513:551.86(571.62)

**ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ И ФЛОРИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ
ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ МЕЗОЗОЙСКОГО ПАЛЕОКЛИМАТА
(НА ПРИМЕРЕ БУРЕЙНСКОГО ОСАДОЧНОГО БАСЕЙНА,
ДАЛЬНИЙ ВОСТОК, РОССИЯ)**

Медведева С.А.

*ФГБУН «Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина» Дальневосточного отделения
Российской академии наук, Хабаровск, e-mail: medvedeva@itig.as.khb.ru*

В работе показана хорошая сопоставимость реконструкций палеоклимата, которые были проведены в разное время независимыми друг от друга методами. Литологический метод показал, что наличие угольных линз и слоев в отложениях верхней юры и нижнего мела Буреинского бассейна характеризует теплый влажный климат в поздней юре и раннем мелу. На основе изучения остатков растений В.А. Красиловым (1973 г.) были выявлены периоды относительного потепления и похолодания в этом возрастном интервале. Сходные колебания климата реконструируются автором данной статьи с использованием стандартных методов литохимии (CIA-индекс и CIW-индекс). Очевидно, что литохимические методы позволяют достаточно надежно выявить обстановку климата прошлых геологических эпох в областях сноса кластического материала при отсутствии флористических данных.

Ключевые слова: палеоклимат, юра, мел, валовый химический состав, псаммиты, алевропелиты, индекс, Буреинский осадочный бассейн

**LITHOCHEMICAL AND FLORAL EVIDENCE FOR RECONSTRUCTION
OF THE MESOZOIC PALEOCLIMATE, AS EXEMPLIFIED
FROM THE BUREYA BASIN, FAR EAST OF RUSSIA**

Medvedeva S.A.

*Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,
Khabarovsk, e-mail: medvedeva@itig.as.khb.ru*

The paper shows a good correlation of the climatic reconstructions made at different times by using independent methods. Lithologically, it was established that the existence of coal lenses and strata in Upper Jurassic and Lower Cretaceous sediments of the Bureya Basin are evidence of Late Jurassic to Lower Cretaceous warm humid climate. Based on paleofloral study (Krassilov, 1973), periods of relative warming and cooling at that age interval have been distinguished. Similar climatic fluctuations are reconstructed by the author using standard lithochemical methods (CIA and CIW). It is obvious that lithochemical methods make possible paleoclimatic environments to be reliably determined in denudation areas in the absence of the floral data.

Keywords: paleoclimate, Jurassic, Cretaceous, gross chemical composition, psammites, aleuropelites, index, Bureya sedimentary basin

Климат является одним из основных факторов, определяющих общий облик осадочных ассоциаций. Определение климата прошлых геологических периодов проводится различными методами. Литологическим методом о палеоклимате можно судить по типу осадочной породы: соли – сухой, угли – влажный и т.д. Для детализации применяют различные палеонтологические и палеофлористические методы, основанные на изучении окаменевших остатков фауны и флоры, с помощью которых можно получить более точные сведения в относительно узких возрастных промежутках. Теплолюбивые организмы и растения характеризуют теплый климат, холодоустойчивые, соответственно, характеризуют холодный климат. Ограничением этих методов является неравномерность местонахождений окаменевших остатков и сложность их поисков. Считается, что для реконструк-

ции климата при отсутствии флористических заключений необходимо использовать комплекс литологических, литохимических и геохимических данных. Но существует проблема сопоставления результатов реконструкций, полученных разными методами, поскольку они иногда бывают противоречивыми. Целью данной работы является сравнение палеоклиматических реконструкций для мезозоя Буреинского бассейна, проведенных в разное время независимыми друг от друга методами.

Методы и фактический материал

Идея литохимического метода, позволяющего применять данные о валовом химическом составе терригенных пород (литохимические данные), заключается в том, что химическое выветривание пород протекает интенсивнее в теплом и влажном климате, чем в холодном и сухом

(или сухом), в результате чего изменяется химический состав пород. С помощью расчетов можно количественно определить степень химического выветривания и затем проинтерпретировать климат. В существующих формулах расчета индексов химического выветривания (WI, MWPI, CIA, CIW и др.) используются разные порообразующие элементы. Индекс изменения (*chemical index of alteration*) $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)] \times 100$ был предложен в 1982 г. [7], а обновленный (*новый, улучшенный*) индекс выветривания (*a new chemical index of weathering*) $CIW = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)] \times 100$ – в 1988 г. [6]. Индексы рассчитываются по молекулярным количествам оксидов, где CaO^* – количество CaO в силикатной части породы. Чем выше степень химического выветривания, тем теплее климат. Исследователи определяют границу между холодным и теплым климатом по значению $CIA = 70$ [7] или по значению $CIW = 80$ [6] в глинистых сланцах (далее алевропелиты).

Тем не менее считается, что изменения флоры более информативны и надежны. Следовательно, реконструкцию палеоклимата, обоснованную палеоботаническими методиками, можно принять за эталон. В Буреинском бассейне подобные исследования проводились В.А. Вахрамеевым, В.А. Красиловым, В.В. Кирьяновой, Н.Д. Литвиненко, В.С. Маркевич, Е.В. Бугдаевой [3, 4, 5 и др.]. Поскольку нами впервые были получены литохимические данные для терригенных пород Буреинского бассейна, то впервые появилась возможность сравнить результаты реконструкций палеоклимата. Для этого были применены CIA – индекс, CIW – индекс терригенных пород и цикадофитовый индекс растений [3].

Фактический материал представлен определениями валового химического состава алевропелитов (20) и псаммитов (46) из юрско-меловой осадочной толщи Буреинского бассейна. Опробование коренных выходов пород было проведено вдоль полотна железной дороги БАМ (р. Солони), в выемках и карьерах автомобильных дорог вдоль рек Солони, Эльганджя, Чегдомын, Умальта (рис. 1). Определение валового химического состава пород выполнено в Лаборатории рентгеноспектрального анализа СВКНИИ ДВО РАН (г. Магадан) рентгенофлуоресцентным методом (аналитики Т.Д. Борходоева и В.И. Мануилова). Числовые значения ЦИ растений взяты из публикации В.А. Красилова [3].



Рис. 1. Схема расположения района исследований

Геологический очерк

Буреинский бассейн расположен на окраине Буреинского микроконтинента и является краевым прогибом [2]. Он выполнен морскими отложениями поздне-триасово-позднеюрского возраста и прибрежно-морскими и континентальными отложениями поздней юры – раннего мела. Стратиграфия приводится по [2]. Разрез юрских отложений в центральной части Буреинского бассейна (ББ) состоит из нижнеюрской дешской ($J_1 ds$), среднеюрских синкальтинской ($J_2 sn$), эпиканской ($J_2 ep$), эльгинской ($J_2 el$), чаганыйской ($J_2 cg$), талынджанской ($J_{2,3} tl$) и верхнеюрской дубликанской ($J_3 db$) свит. Меловой разрез сложен солонийской ($K_1 sn$), чагдамынской ($K_1 cg$), чемчукинской ($K_1 cm$), йорекской ($K_1 jr$) и кындальской ($K_{1,2} kn$) свитами. Мощности юрских отложений варьируют по латерали от 4300 до 7500 м, меловых – от 2500 до 3500 м. В разрезе по р. Солони доминируют алевропелиты (песчаные алевролиты, алевролиты, аргиллиты). Значительное распространение имеют псаммиты (песчаники и алевропесчаники). Присутствуют конгломераты, гравелиты, туфогенные и известковистые разности пород, пепловые туфы, в верхней части – линзы угля. В северо-восточном направлении (к р. Эльганджя и р. Умальта) и к югу разрез становится более грубым [2]. В разрезе по р. Эльганджя нижнеюрских отложений нет. Возраст допозднеюрских свит обоснован находками

ископаемой фауны, возраст более молодых свит – находками ископаемой флоры [1 и др.]. Фауна представлена различными группами организмов: двусторки, белемниты, аммониты, брахиоподы, гастроподы, черви. Флора – это папоротники, сосновые, гинкговые, беннеттитовые [3–5 и др.].

Вещественный состав пород (петрография и литохимия)

Петрографическим методом установлено, что песчаники состоят из обломков кварца, калиевых полевых шпатов, кислых плагиоклазов, биотита, серицита, различных пород. Обломки пород представлены вулканитами кислого, среднего, редко основного составов, вулканическими стеклами, мелкозернистыми гранитами, аплитами, реже кварцитами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами. Обломки угловатые, плохоокатанные.

В соответствии с широко используемыми отечественными исследователями классификацией В.Д. Шутова (1967) и более поздней «Систематикой и классификацией осадочных пород и их аналогов...» (1998) нижне-среднеюрские сероцветные псаммиты по петрографическому составу являются преимущественно полевошпатовыми граувакками, реже граувакковыми аркозами либо аркозами [2]. Массивные светлые, почти белые псаммиты вышележащих дубликанской и солонийской свит – это аркозы. Псаммиты

чагдамынской и чемчукинской свит относятся к граувакковым аркозам [2 и др.].

Валовый химический состав псаммитов следующий (здесь и далее в мас.%): SiO_2 – 62,4–78; TiO_2 – 0,08–0,9; Al_2O_3 – 11–15,8; Fe_2O_3 – 1,0–7,0; MgO – 0,07–3,4; CaO – 0,1–3,7; Na_2O – 1,3–4,9; K_2O – 1,5–5,0; алевропелитов: SiO_2 – 63–67; TiO_2 – 0,6–0,7; Al_2O_3 – 13,5–16; Fe_2O_3 – 4–6; MgO – 1,5–2,1; CaO – 1–4,2; Na_2O – 2,7–3,1; K_2O – 2,5–3,7.

В соответствии с общепринятыми литохимическими классификациями Ф. Петтиджона с соавторами (1976), Я.Э. Юдовича с М.П. Кетрис (1981) по валовому химическому составу большинство нижне-среднеюрских псаммитов относится к грауваккам, меньшинство – к аркозам; алевропелиты по М. Хиррону (1988) относятся к глинистым сланцам (рис. 2). Большинство псаммитов дубликанской, солонийской и чагдамынской свит – аркозы. Несмотря на достаточно широкий разброс абсолютных содержаний оксидов фигуративные точки разных типов пород на классификационных диаграммах локализуются в пределах изолированных или в какой-то степени перекрывающихся друг с другом полей. Особенно заметно обособление псаммитов талынджанской, солонийской, чагдамынской свит, а также псаммитов и алевропелитов дубликанской свиты от пород нижележащих свит, что обусловлено изменениями валового химического состава (рис. 2).

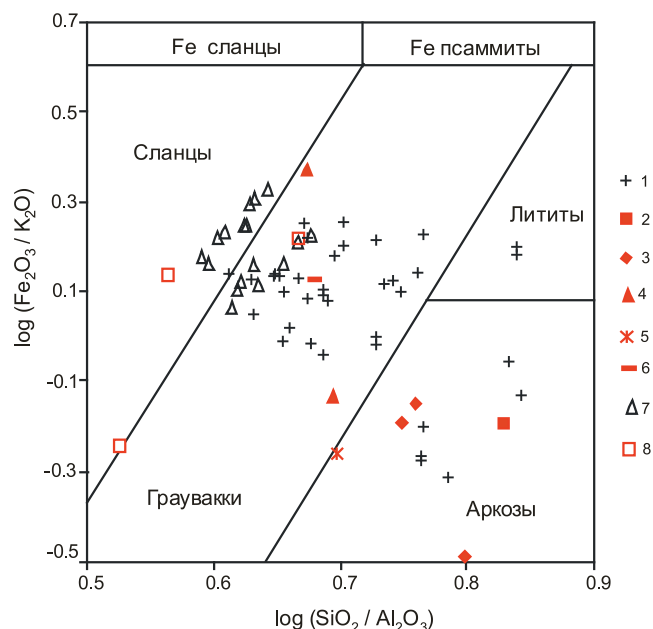


Рис. 2. Классификационная диаграмма по М. Хиррону (Heron, 1988).

Условные обозначения. 1 – 6 псаммиты: среднеюрские без подразделений на свиты – 1, верхнеюрские свиты: талынджанской – 2, дубликанской – 3, нижнемеловые свиты: солонийской – 4, чагдамынской – 5, чемчукинской – 6. Алевропелиты среднеюрские без подразделений на свиты – 7, алевропелиты дубликанской свиты – 8

Обсуждение результатов

Очевидно, что изменение состава разновозрастных пород отражает определенные геологические процессы. Вещественный состав терригенных осадочных пород является следствием сложного взаимодействия различных факторов, к которым относятся: состав пород области сноса, палеоклимат и рельеф питающей провинции, от которых зависит характер выветривания, дальность переноса обломочного материала, высокий или низкий уровень моря, диагенез. В основном влияние этих составляющих обусловлено тектоническим положением областей сноса и бассейнов, в которых происходит отложение сносимого материала. Следовательно, на основе вещественного состава пород с определенной долей достоверности можно реконструировать тектонические обстановки, палеоклимат, рельеф, состав пород областей сноса, а также проводить корреляцию стратиграфических подразделений.

Рассмотрим CIA, CIW, характеризующие палеоклимат, и их корреляцию между собой. Поскольку изученные алевропелиты и псаммиты залегают в переслаивающихся толщах, то характер распределения породообразующих элементов в них одинаков. Поэтому, хотя пограничные значения индексов химического выветривания CIA и CIW 70 и 80 предложены для глинистых сланцев (алевропелитов), данные по составам псаммитов можно привлекать. При этом следует учитывать, что значения CIA и CIW более крупнозернистых пород (псаммитов) будут меньше (табл. 1).

Это заключение иллюстрируется рисунком, на котором графики псаммитов имеют направление подобное графикам алевропелитов, но располагаются ниже (рис. 3).

На основе проведенных нами расчетов индексов химического выветривания CIA и CIW можно констатировать, что теплый палеоклимат был в поздней юре (дубликанское время), а умеренно холодный – в другие временные интервалы (табл. 1, рис. 3).

Таблица 1

| Возраст | CIA | | CIW | | n |
|----------------|------------|--------------|------------|--------------|----|
| | псаммиты | алевропелиты | псаммиты | алевропелиты | |
| K ₁ | 57,5 ± 1,8 | – | 67 ± 3,6 | – | 4 |
| J ₃ | 58,3 ± 3,8 | – | 73,3 ± 8,8 | – | 5 |
| J ₂ | 55,1 ± 4,1 | – | 63,3 ± 5,6 | – | 37 |
| J ₃ | – | 75,2 ± 6,3 | – | 87,2 ± 4,1 | 3 |
| J ₂ | – | 58,8 ± 4,8 | – | 65,3 ± 6,6 | 17 |

Примечание. J₂, J₃ – средняя, верхняя юра соответственно; K₁ – нижний мел; 57 – среднее значение индекса; ±4,1 – стандартное отклонение; n – количество проб; «–» – нет определений.

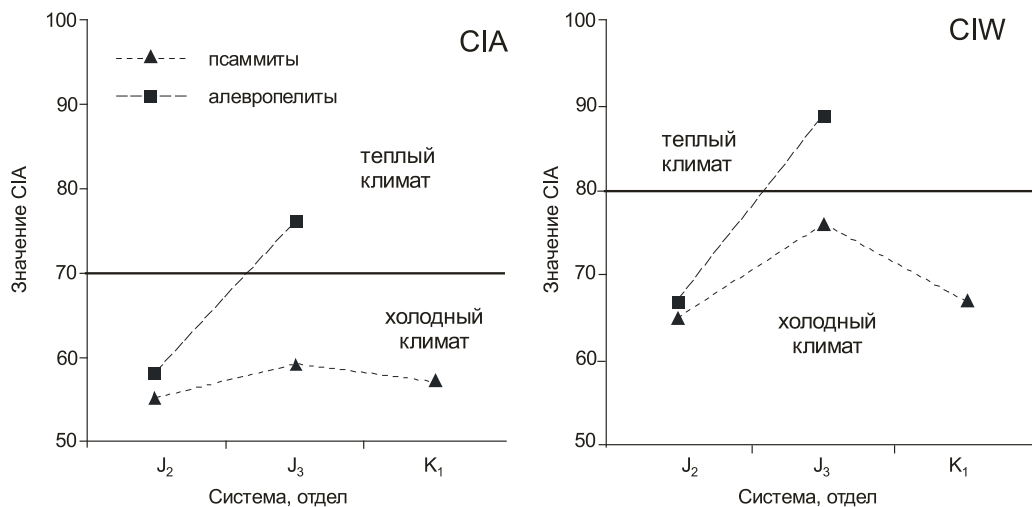


Рис. 3. Графики, иллюстрирующие изменения климата в юрское и меловое время

На характер и интенсивность выветривания пород существенно влияет рельеф, непосредственно связанный с тектонической активностью. В областях аридного климата химическое выветривание будет слабым как в холодном, так и в теплом интервале температур; как в горах (активная тектоника), так и на равнинах (спокойная тектоника). В областях гумидного климата при спокойной тектонике будет преобладать химическое выветривание над физическим, однако в тектонически активных горных районах оно будет проявлено значительно слабее, чем в равнинных областях.

Более надежными выводами для реконструкции палеоклиматов считают выводы на основе данных об изменениях растительных сообществ. В ББ наличие угольных прослоев в верхнеюрских и нижнемеловых отложениях, образовавшихся при захоронении большого количества разнообразных

влаголюбивых растений, предоставило уникальную возможность качественно подтвердить вывод о теплом влажном палеоклимате дубликанского времени, полученный нами на основе данных о валовом химическом составе терригенных пород.

Количественно обосновать этот вывод можно статистическим приемом, который использовал В.А. Красилов [3]. По формуле К. Раункиера

$$\text{ЦИ} = \frac{b_1}{a_1} \Big/ \frac{b}{a} \cdot 100,$$

где a – общее число родов голосеменных; b – общее число родов цикадофитов; a_1 и b_1 – те же показатели для свиты 1), он определил ЦИ растений из ББ и показал его изменение в разрезе верхнеюрских – нижнемеловых отложений. Повышение значений ЦИ указывает на потепление климата, что

Таблица 2

Средние значения CIA и CIW терригенных пород и цикадофитового индекса (ЦИ)

| Свита | Псаммиты | | Алевропелиты | | ЦИ [3] |
|-------------------------------|----------|------|--------------|------|--------|
| | CIA | CIW | CIA | CIW | |
| Талынджанская $J_3 tl$ | 53,2 | 61,5 | – | – | 90 |
| Дубликанская $J_3 db$ | 59,6 | 76,3 | 75,2 | 87,2 | 138 |
| Солонийская $K_1 sl$ | 57,9 | 67,7 | – | – | 111 |
| Чагдамынская $K_1 \check{c}g$ | 56,4 | 63,1 | – | – | 84 |
| Чемчукинская $K_1 \check{c}m$ | 57,7 | 69,5 | – | – | 99 |

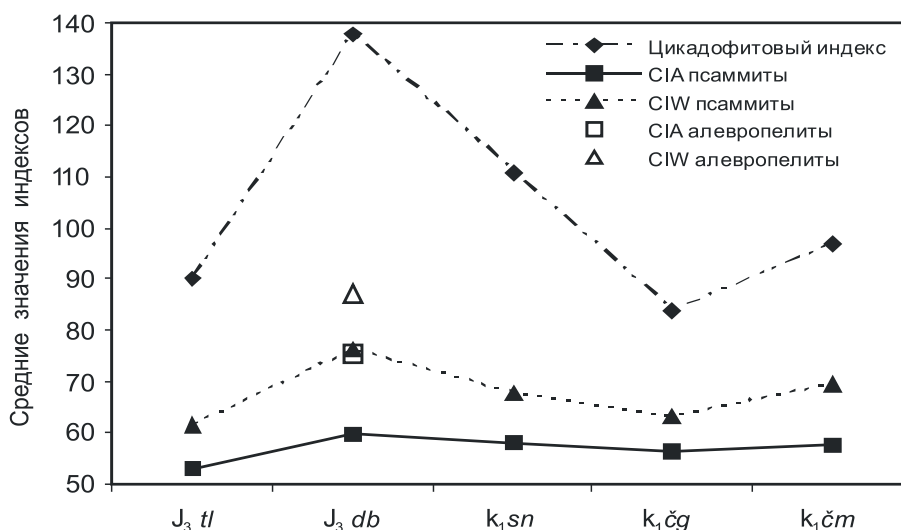


Рис. 4. Графики изменения средних значений индексов от поздней юры (талынджанская свита, $J_3 tl$) к раннему мелу (чемчукинская свита, $K_1 \check{c}m$).

В данном возрастном интервале $J_3 t$ – $K_1 \check{c}m$ алевропелиты были отобраны только из дубликанской свиты ($J_3 db$), поэтому их средние значения CIA и CIW на рисунке отображаются единичными точками. Примечание. Значения CIA и CIW всегда меньше 100.

Все графики иллюстрируют, что наиболее теплый период был в дубликанское время

позволило В.А. Красилову сделать следующее заключение: «Поскольку в мезозойских флорах низких широт больше цикадофитов, чем в высоких, изменение цикадофитового индекса указывает на потепление в дубликанское время, прогрессирующее похолодание в ургальское и чагдамынское и затем некоторое потепление в чемчукинское время. Такой ход событий подтверждается сменой доминирующих видов гинкговых и чекановских» [3, с. 47]. По значениям исследуемых индексов ЦИ, CIA и CIW (табл. 2) были построены совместные графики. Тренды графиков наглядно показывают синхронность палеоклиматических изменений (рис. 4).

Выводы

1. Реконструкции позднеюрского и раннемелового климата на основе данных о содержании породообразующих элементов в терригенных породах ББ сопоставимы с аналогичными реконструкциями на основе изучения флоры.

2. Использование литохимических данных терригенных пород позволяет сделать не менее достоверные (по сравнению с флористическими данными) заключения о характере палеоклимата и уверенно при-

менять CIA и CIW на других объектах, где нет находок флоры.

Автор выражает благодарность Г.Л. Кирилловой за консультации, замечания и рекомендации, которые помогли в написании статьи. Автор признателна Л.В. Яхно, Т.Л. Карповой, Г.М. Выхованец за помощь в оформлении графики, Л.Д. Песковой – за английский перевод.

Список литературы

1. Атлас мезозойской морской фауны Дальнего Востока России / И.И. Сей, Т.М. Окунева, Т.Д. Зонова, Е.А. Калачева. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. – 34 с.
2. Буреинский осадочный бассейн: геолого-геофизическая характеристика, геодинамика, топливно-энергетические ресурсы / отв. ред. Г.Л. Кириллова (Серия «Осадочные бассейны Востока России») / гл. ред. А.И. Ханчук; т. 4. – Владивосток: Дальнаука, 2012. – 360 с.
3. Красилов В.А. Палеоэкологический метод корреляции континентальных толщ. Бюллетень Моск. о-ва исп. природы, отд. геологии. – 1973. – Т. XLVIII (4). – С. 37–50.
4. Маркевич В.С., Бугдаева Е.В. Позднеюрско – раннемеловые растения – углеобразователи Буреинского бассейна (Российский Дальний Восток) по Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2014. – Т. 22, № 3. – С. 14–30.
5. Роганов Г.В., Кириллова Г.Л., Кирьянова В.В., Литвиненко Н.Д. Состав и биота переходных юрско-меловых отложений в эпиконтинентальных бассейнах Приамурьяно. Тихоокеанская геология. – 2005. – № 4. – С. 3–23.
6. Harnois L. The CIW index: a new chemical index of weathering. Sedimentary Geology. – 1988. – № 55. – P. 319–322.
7. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. Nature. – 1982. – Vol. 299. – P. 715–717.

УДК 574.4(470.344)

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА
ЧЕБОКСАРСКОГО ГОРОДСКОГО ОКРУГА****Мулендеева А.В., Никонорова И.В.***ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»,
Чебоксары, e-mail: alena-mulendeeva@yandex.ru, niko-inna@yandex.ru*

Исследование посвящено особенностям построения экологического каркаса Чебоксарского городского округа на ландшафтно-экологической основе. Для построения экологического каркаса Чебоксарского городского округа проанализирована физико-географическая характеристика территории, показатели эрозионного смыва, антропогенных нагрузок, использованы материалы ООПТ, выявлена степень озеленения территории для каждого административного района Чебоксарского городского округа, дана эстетическая и рекреационная оценка лесов, биологическая устойчивость и степень ценности пород лесных ландшафтов. Создана карта типов местности с выявлением плакорного, склонового, склонов речных долин оврагов и балок, надпойменно-террасового, пойменного и зандрового типов местности. Изучено более 2040 разнообразных урочищ. Итогом работы стала предлагаемая карта экологического каркаса территории Чебоксарского городского округа с выделением Заволжского ядра каркаса, экологического коридора, межмагистральных клиньев, особо охраняемых территорий города и точечных элементов.

Ключевые слова: геосистема, ландшафты, типы местности, экологический каркас, элементы экологического каркаса

DESIGN THE ECOLOGICAL FRAME–WORK OF CHEBOKSARY CITY DISTRICT**Mulendeeva A.V., Nikonorova I.V.***Chuvash State University, Cheboksary, e-mail: alena-mulendeeva@yandex.ru, niko-inna@yandex.ru*

The research is devoted to the peculiarities of the construction the ecological frame of Cheboksary city district on landscape-ecological basis. For the constructing the ecological framework of Cheboksary city district we have analyzed physical and geographical characteristics of the territory, indicators of erosion runoff, anthropogenic pressure, were used PA materials, explores the territory of landscaping for each administrative district of Cheboksary city district, were given the aesthetic and recreational evaluation of forests, biological stability and the degree of value species forest landscapes. We have created a map with the identification of types of terrain: upland, slope, slopes of river valleys, ravines and gullies, floodplain, and terrace, floodplain and outwash terrain types. Were studied more than 2040 different tracts. The result of the work became a proposed map of the territory of the ecological framework of Cheboksary city district with allocation Zavolzhsy frame core, ecological corridor, interline wedges, especially preserved areas of the city and point elements.

Keywords: geosystems, landscapes, types of terrain, ecological framework, Environmental elements of the framework

Для урбанизированных территорий ландшафтно-экологическое планирование становится экологически ориентированным инструментом для достижения устойчивого развития и реализации политики рационального природопользования. Компетентное планирование блоков экологического каркаса территории (ЭКТ), связанных между собой и их бесперебойное функционирование, безусловно отразится на улучшении экологической обстановки города, так как на них возлагается задача «оздоровления» окружающей среды и обеспечения условий для ведения рекреационной деятельности. Лишь оценив потенциал территории, выявив отрицательные и положительные предпосылки, можно разработать рекомендации по включению территорий в состав экологического каркаса и обеспечить баланс природных и антропогенных геосистем.

Развитие экологического каркаса предусматривает воссоздание его природных

элементов, формирование новых зеленых пространств, восстанавливающих непрерывность природно-ландшафтной структуры города, сохранение, выявление, зрительное раскрытие и акцентирование исторически характерных ландшафтных панорам, садово-парковых комплексов и силуэта города [1]. Итак, ландшафтно-экологический подход является приоритетным при планировании экологического каркаса, позволяющим оценить степень нарушения или сохранности ландшафтов и выявить их связь с основными видами использования земель.

Тенденция к расширению урбанизированных территорий приводит к увеличению антропогенной нагрузки на геосистемы Чебоксарского городского округа (ЧГО), а затем их деградации в результате интенсивного строительства, застройки водоохранных зон, несанкционированных свалок, приводящих к трансформации природных

геосистем, усилению эрозионной деятельности, развитию оползневых процессов, загрязнению поверхностных и подземных вод и приводящих к дестабилизации социально-экологической обстановки города. В конечном итоге все это приводит к сокращению природно-ресурсного потенциала территории и ухудшению экологической обстановки и здоровья населения [6].

Однако функции восстановления природы и здоровья населения в городах возлагаются в основном на особо охраняемые природные территории (ООПТ). Но все большее количество специалистов в области охраны природы и природопользования приходит к пониманию того факта, что отдельные особо охраняемые природные территории не могут обеспечить должного уровня сохранности природно-антропогенных ландшафтов, поддержания на необходимом уровне средообразующих, природоохранных, социальных и других функций природных экосистем. Эти задачи могут быть решены в том числе и формированием экологического каркаса территории.

В настоящее время многие города пренебрегают экологическим каркасом, так, например, в Чебоксарском городском округе назрела острая необходимость в корректировке и дополнениях Генерального плана с учетом специфики ландшафтной дифференциации и ландшафтно-экологического планирования, ориентированного на предотвращение и снижение ущерба природно-антропогенных ландшафтов с усилением антропогенной трансформации. В Генеральном плане Чебоксарского городского округа, утвержденного в 2015 г., предоставлены общие рекомендации создания экологического каркаса территории, однако методика и конкретные предложения по созданию каркаса не сформулированы.

Цель исследования. В этой связи особую актуальность приобретает построение модели экологического каркаса городского округа, обеспечивающего санитарно-гигиеническую, рекреационную и экологическую привлекательность территории, без чего невозможно оптимальное территориальное планирование и последующее устойчивое развитие. Цель данной статьи – предложить решение построения модели ЭКТ ЧГО.

Материалы и методы исследования

Формирование экологического каркаса Чебоксарского городского округа должно базироваться на ландшафтно-экологическом подходе как факторе планирования и проектирования целого ряда природостабилизирующих и оптимизирующих экологических ме-

роприятий. В целом площадь природных территорий должна быть достаточной для сохранения способности природных сообществ к саморегуляции [7, 8].

Для изучения ландшафтной структуры территории была использована стандартная методика ландшафтных исследований, сводившаяся к заложению ключевых участков и построению ландшафтных профилей в меридиональном и широтном направлении, проходящих через различные типы урочищ.

Результаты исследований и их обсуждение

Территория ЧГО расположена в северной части денудационной равнины Приволжской возвышенности и аккумулятивной равнины низменного Заволжья. Река Волга является естественной границей выделения бореальных ландшафтов южной тайги низменного Заволжья и суббореальных ландшафтов лесостепной зоны Приволжской возвышенности.

В результате анализа фондовых материалов и полевых исследований и построена карта типов местности с выделением плакорного, склонового, склонов речных долин оврагов и балок, надпойменно-террасового, пойменного и задрового типов [7, 8]. Отмечено преобладание плакорного типа местности в правобережье р. Волги, а в левобережье – надпойменно-террасового (рис. 1). Изучено более 2040 разнообразных урочищ, обусловленных особенностями рельефа, литологическим и геоморфологическим строением территории.

Применение принципа учета типов местности определено следующими положительными сторонами:

1) каждый отдельный тип местности имеет свой характер увлажнения, почвенную разность и отдельный тип биотопа, что делает его уникальным;

2) ранг типов местностей является одним из оптимальных по площади при планировании экологического каркаса территории отдельных регионов;

3) появляется возможность учитывать устойчивость природно-территориальных комплексов к негативному воздействию;

4) наличие как линейно вытянутых, так и целостных типов местности упрощает проблему выбора территорий под различные элементы экологического каркаса (естественные биотопы на плакорах идеально подходят под ядра, а долины рек – под экологические коридоры) [3, 4].

Для отображения современного состояния геосистемы проанализирована физико-географическая характеристика территории, позволившая построить серию тематических карт (геологическую, геоморфологическую, крутизны (уклонов) склона, экспозиции

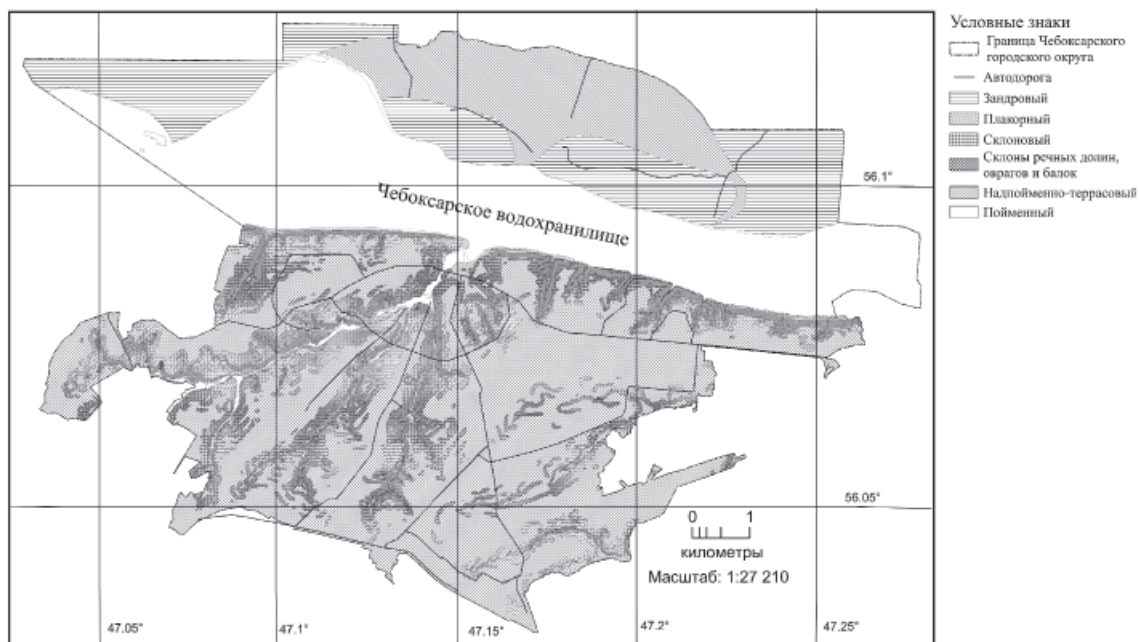


Рис. 1. Карта типов местности Чебоксарского городского округа (составитель А.Н. Молостов)

склонов, почвенную, растительную). Далее проанализированы такие показатели, как значения эрозионного смыва, комплексные показатели антропогенных нагрузок, устойчивость геосистем бассейнов малых рек с выявлением возможных негативных процессов, использованы материалы ООПТ, данные Красной книги Чувашской Республики и РФ.

Так как лесные ландшафты являются неотъемлемой частью экологического каркаса Чебоксарского городского округа, выявлена степень озеленения территории для каждого административного района Чебоксарского городского округа, дана эстетическая и рекреационная оценка лесов, биологическая устойчивость и степень ценности пород лесных ландшафтов.

Следовательно, на территории Чебоксарского городского округа предложены следующие блоки (элементы) экологического каркаса (рис. 2).

– **Зеленое пригородное кольцо.** На данный момент зеленое пригородное кольцо Чебоксарского городского округа в явной форме не наблюдается. Для формирования размера зеленого пригородного кольца необходимо определить численность населения города и лесистость территории. При лесистости свыше 25% размер зеленой зоны определен как 200 га на каждую тысячу человек. Вследствие этого площадь зеленого пригородного кольца Чебоксарского городского округа должна составить 93745 тыс. га [7]. Выделенное зеленое коль-

цо должно быть функционально зонировано с рекомендацией последующего уточнения зонирования с установлением лесопарковой и лесохозяйственной зон.

– **Ядро экологического каркаса.** Ядром экологического каркаса выделен Заволжский лесной массив, представленный на низменном левобережье р. Волги. Заволжское ядро расположено территориально на левобережье городского округа. Простирается на задровом и надпойменно-террасовом типе местности низменного Заволжья. Леса Заволжья в основном сосновые на аллювиальных песчаных почвах. Изредка в боры вкраплены участки березняков, осинников, липняков; в западной части – дуб (в качестве подчиненной породы) [2]. Вся территория Заволжья является низменностью, на которой распространены речные террасы Волги. Территория подробно обследована, в том числе в ходе выполнения проекта, в связи с обоснованием создания «Национального парка Заволжье» площадью 32 тыс. га [8].

При выделении перечисленных выше элементов должны соблюдаться следующие принципы:

- 1) сохранность коренных растительных формаций на соответствующем почвенном типе;
- 2) значительное видовое разнообразие растительного и животного мира, наличие видов, занесенных в Красную книгу РФ и Чувашской Республики;
- 3) наличие ООПТ в составе ядра [3, 4].

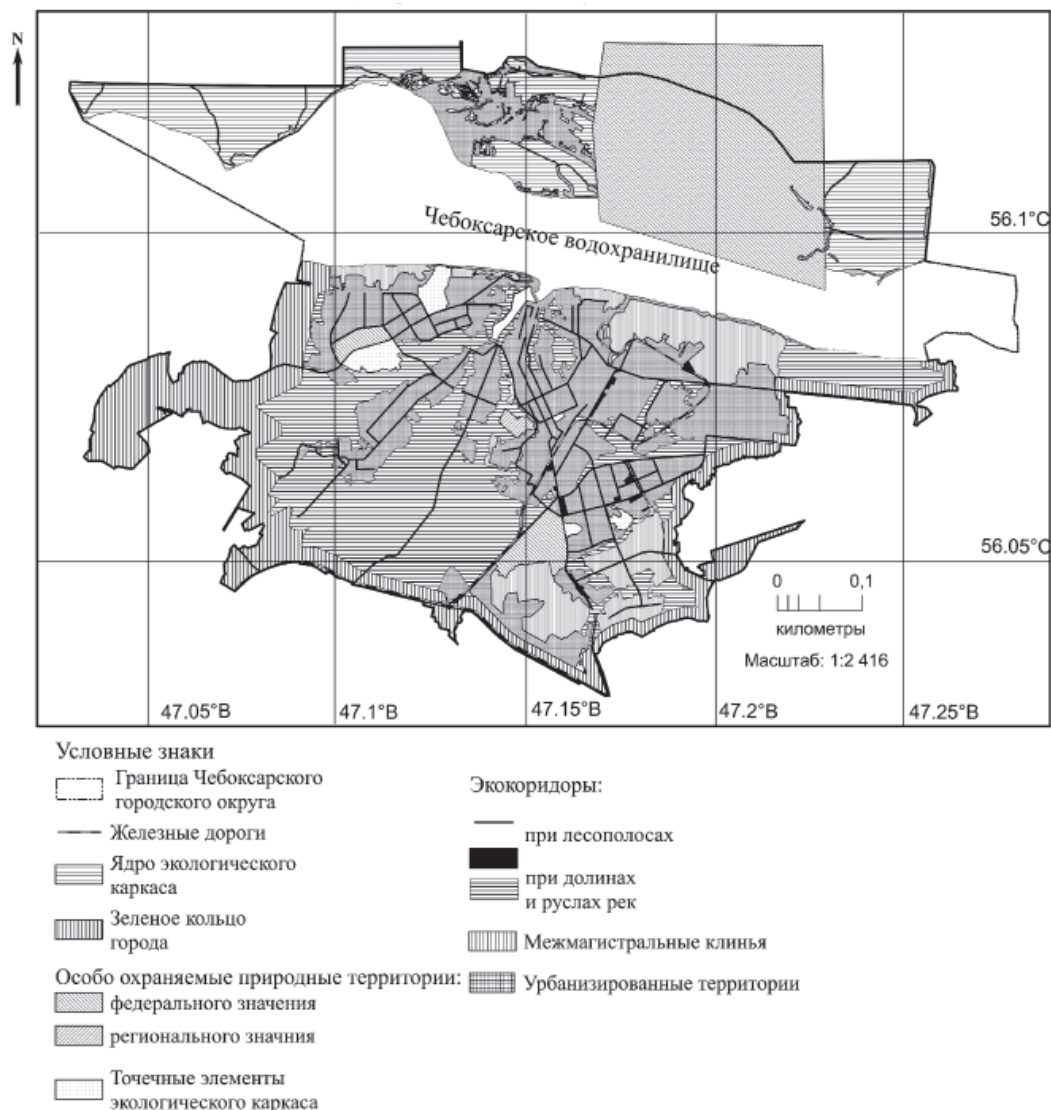


Рис. 2. Карта планируемого экологического каркаса территории Чебоксарского городского округа (составители – А.Н. Молостов, А.В. Мулендеева)

– **Экологические коридоры.** Соотношение элементов экологического каркаса изучаемой территории – ядер и коридоров – высчитывается как доля склонового типа местности к общей площади. Исходя из чего возможно определение порогового значения количества и площади экологических коридоров, которое должно быть не меньше, чем это отношение. При планировании элементов ЭКТ на расчет ее оптимальной площади влияют показатели эрозионного смыва [4].

По экологическому состоянию включаемых в их состав геосистем они делятся на природные и природно-антропоген-

ные. Природные экологические коридоры отличаются тем, что более 40% их территории является естественными сообществами. Природно-антропогенный тип экологических коридоров выделяется по карте антропогенных нагрузок преобладанием критического или неудовлетворительного состояния относимых к нему геосистем. Природно-антропогенный тип экологических коридоров, в отличие от природного типа, может войти в состав ЭКТ и выполнять возложенные на него функции только при проведении в них комплекса восстановительных мер по улучшению состояния биотопов [4].

В качестве связующих звеньев экологических коридоров рассматриваются долины рек Чебоксарка, Сугутка, Трусиха, Кукшум, М. Кувшинка, Кайбулка и Шалмас, лесополосы железных и шоссе-ных дорог, государственные защитные лесные полосы, пойменные и приречные леса, водоразделы рек. Общая протяженность малых рек в черте городского округа составляет 39 км. Долины малых рек Чебоксарского городского округа представлены плотной сетью овражистых участков склонов малых рек и являются зелеными насаждениями общего пользования, основными компонентами формирования экологического коридора экологического каркаса.

В соответствии с Программой по сохранению долин малых рек, действующей на территории Чебоксарского городского округа, а также режимов использования водоохраных зон и прибрежных защитных полос проектом предлагается освободить территории долин малых рек от хлама и сорной растительности, проложить пешеходные дорожки и использовать в рекреационных целях [6].

Особое внимание необходимо уделить реставрации уже существующих экологических коридоров и формированию единой системы зеленых насаждений и целенаправленное формирование облика природных и культурных ландшафтов, улучшение эстетических качеств ландшафтов, учитывая историко-культурную специфику регионального природопользования, которые вследствие значительной антропогенной нагрузки оказались под угрозой деградации.

Создание непрерывных экологических коридоров в черте города довольно сложно, поскольку долины рек сильно трансформированы хозяйственной деятельностью населения города, в связи с постройками дачных участков, частных коттеджей, мостов и градостроительства.

Режим экологических коридоров должен быть более жестким, тем самым ограничивать размещение новых хозяйственных объектов и поселений, а также интенсивность природопользования.

– **Межмагистральные клинья.** Связующим звеном ядер экологического каркаса, экологических коридоров, ООПТ города являются межмагистральные клинья [5]. К ним отнесены: луга, пастбища,

коллективные сады и огороднические товарищества, питомники, заболоченные поймы и т.д.

– **Особо охраняемые природные территории (ООПТ).** На территории ЧГО организованы 3 ООПТ федерального значения общей площадью 3698,05 га: Чебоксарский филиал Главного ботанического сада РАН, Округ санитарной охраны месторождения минеральных вод санаторно-курортного комплекса «Чувашия», Округ санитарной охраны месторождения минеральных вод санаторно-курортного комплекса «Чувашиякурорт». Региональные ООПТ представлены памятниками природы с общей площадью 57,6 га – Центральный парк культуры и отдыха «Лакреевский лес», памятник природы Озеро Астраханка, Лесной памятник природы «Культуры сосны 1903 года» [1].

ООПТ ЧГО должны иметь жесткий правовой состав, необходима корректировка нормативной базы с соблюдением режима регулирования градостроительной деятельности и разработка стратегии благоустройства и совершенствования ООПТ.

– **Точечные элементы.** К точечным элементам отнесены зеленые насаждения общего пользования – бульвары, скверы, парки, города, фруктовые сады, озелененные территории, общей площадью 252, га. Сохранившиеся природно-антропогенные ландшафты в три раза меньше норматива площади зеленых насаждений общего пользования и не могут выполнять в полной мере функции стабилизации природного комплекса. Согласно генеральному плану (2015 г.) площадь зеленых насаждений общего пользования должна составить 880 га (обеспеченность – 16 м²/чел). По нормативам ландшафтного планирования уровень озелененности в границах жилых районов в каждом административном районе города должны занимать не менее 25 % территории. Необходимо увеличить площадь озелененных насаждений на территории Калининского района ЧГО в 2 раза. Например на Московский район приходится 104,3 га зеленых насаждений, а на Калининский район 51,5 га.

Вывод

Для поддержания природных основ функционирования ландшафтов предложена модель экологического каркаса Чебоксарского городского округа, как

наиболее интенсивно освоенного в Чувашии. От функционирования предложенного экологического каркаса зависит способность территории поддерживать свое экологическое равновесие. Поэтому ландшафтное планирование без экологического каркаса не отвечает принципам устойчивого развития. Экологический каркас Чебоксарского городского округа состоит из следующих функционально важных, дополняющих друг друга компонентов: Зеленое пригородное кольцо, Заволжское экологическое ядро, экологические коридоры, межмагистральные клинья, особо охраняемые территории, точечные элементы.

Список литературы

1. Генеральный план Чебоксарского городского округа Материалы по обоснованию. Том I. Анализ потенциала развития городского округа. – СПб., 2015. – С. 28–70.
2. Гуменюк А.Е., Никонорова И.В. Оценка природно-рекреационного потенциала и зонирование урбанизированных ландшафтов (на примере г. Чебоксары и пригородов) // Вестник Чувашского госуниверситета. – Чебоксары. Изд-во Чуваш. ун-та. 2011. – № 3. Естественные и технические науки. – С. 227–234.
3. Ильин В.Н., Никонорова И.В. Оптимизация взаимодействия природных и антропогенных геосистем Чувашской Республики // Вестник Чувашского госуниверситета. – Чебоксары. Изд-во Чуваш. ун-та. 2011. – № 3. Естественные и технические науки. – С. 235–241.
4. Ильин В.Н., Никонорова И.В., Мулендеева А.В., Ефимова С.В. Принципы формирования экологического каркаса высокоурбанизированной территории (на примере Чувашской Республики) // Экология урбанизированных территорий. – 2010. – № 4. – С. 82–88.
5. Колбовский Е.Ю. Ландшафтное планирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Академия, 2008. – С. 228–229.
6. Мулендеева А.В., Караганова Н.Г., Никонорова И.В. Ландшафтная дифференциация береговой зоны малых рек Чебоксары (на примере рек Чебоксарка и Кукушум) // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3; URL: <http://www.science-education.ru/117-13720> (дата обращения 30.06.2014).
7. Мулендеева А.В., Молостов А.Н. Использование ГИС-технологий в формировании экологического каркаса города Чебоксары // Геопространственные исследования общественных и природных систем: теория и практика: сборник материалов Всерос. науч.-практ. конф. – Чебоксары: Новое время, 2014. – С. 122–127.
8. Мулендеева А.В., Молостов А.Н. Ландшафтно-экологический подход в формировании экологического каркаса Чебоксарского городского округа // География и регион: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Пермь, 23–25 сент. 2015 г.): в 6 т. – Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2015. – Т.1. Физическая география и ландшафтная экология. – С. 102–107.

УДК 551.86

СТРАТИГРАФИЯ СРЕДНЕ-ВЕРХНЕТРИАСОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ВИЛЮЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНОВ ПРЕДВЕРХОЯНСКОГО ПРОГИБА

Рукович А.В.

*Технический институт (филиал) Северо-Восточный федеральный университет,
Нерюнгри, e-mail: raul1975@mail.ru*

Данная статья публикуется автором как вводная для статей, посвящённых изучению палеогеографии средне- и поздне-триасовых отложений которые будут опубликованы в последующем, для понимания читателем строения разреза седиментогенных толщ изучаемых территорий. Исследования выполнены автором на основании изучения стратиграфии литологии, по материалам результатов глубокого бурения скважин на исследуемой территории. В основе проведенных исследований лежит детальная стратиграфия мезозойских отложений Виллюйской синеклизы и Предверхоаянского прогиба, разработанная такими исследователями, как Ю.Л. Сластенов, М.И. Алексеев, Л.В. Баташанова и др., которую автор конкретизировал именно для восточной части Виллюйской синеклизы и прилегающих районов Предверхоаянского прогиба, эти структуры в свою очередь являются промышленно газоносными районами республики Саха (Якутия). Для более точного понимания строения и взаимоотношения осадочных толщ Ю.Л. Сластеновым совместно с автором данной статьи выделено четыре стратиграфических района.

Ключевые слова: Предверхоаянский прогиб, Виллюйская синеклиза, свита, пачка, песчаник, алевролит, конгломерат, гравелит

STRATIGRAPHY OF AVERAGE AND UPPER PART TRIAS DEPOSITS OF EAST PART OF THE VILYUYSKY SYNECLISE AND ADJACENT REGIONS OF THE PREVERKHoyANSK DEFLECTION

Rukovich A.V.

Technical institute (branch) of North-Eastern Federal University, Neryungri, e-mail: raul1975@mail.ru

This article is published by the author as introduction for articles of the devoted to studying of paleogeography so-so and late Triassic deposits which will be published in the subsequent, for understanding by the reader of a structure of a section the sedimentogenykh of thicknesses of the studied territories. Researches are executed by the author on the basis of studying of a stratigraphy of a lithology, on materials of results of deep drilling of wells in the studied territory. The detailed stratigraphy of mesozoic deposits of the Vilyuysky syneclise and the Preverkhoyansk deflection by the developed such researchers as Yu.L. Slastenov, M.I. Alekseev, L.V. Batashanova, etc. which the author concretized for east part of the Vilyuysky syneclise and adjacent regions of the Preverkhoyansk deflection is the cornerstone of the conducted researches, these structures in turn are industrially gas-bearing areas of the Republic of Sakha (Yakutia). For more exact understanding of a structure and relationship of sedimentary thicknesses of Yu.L. By Slastenov together with the author of this article it is allocated four the stratigrafice of the area.

Keywords: Predverkhoyansk deflection, the Vilyuysky syneclise, suite, a pack, sandstone, aleurolite, a conglomerate, gravelit

Средне- и поздне-триасовые отложения на территории восточной части Виллюйской синеклизы и прилегающих районов Предверхоаянского прогиба представлены преимущественно терригенными часто грубо-зернистыми осадочными образованиями. На подстилающих раннетриасовых отложениях они залегают согласно без следов размыва.

Нижний – верхний отделы нерасчлененные $T_1 - T_3$

Тулурская свита согласно залегают на момской или на люксюгунской свитах и иногда связана с ними постепенным переходом. Она сложена разнозернистыми песчаниками, содержащими прослойки и пачки алевролитов и аргиллитов, тонкие прослойки гравелитов и конгломератов. В наиболее полных разрезах тулурская свита подразделяется на

три толщи. Нижняя сложена песчаниками зелено-серыми, мелко- и среднезернистыми, преимущественно палевошпат-граувакковыми и граувакково-аркозовыми. Песчаники слоистые, местами косослоистые. Содержат тонкие прослойки темно-зеленосерых глинистых пород и светло-серых кварцевых гравелитов. Мощность ее до 100 м и по положению в разрезе толща соответствует сыгынканской свите раннего триаса. Вторая толща сложена песчаниками разнозернистыми серыми и светло-серыми, слоистыми с углистым материалом на плоскостях наслоения, с включениями кварцевой и кремнистой гальки и кристаллов пирита. Мощность достигает 280 м. Верхняя толща тулурской свиты сложена песчаниками разнозернистыми, серыми и светло-серыми, преимущественно граувакково-аркозовыми,

слоистыми, встречаются прослои буровато-серых сидеритизированных песчаников, глинистых внутриформационных брекчий. Мощность 50–70 м. Общая мощность свиты достигает 730 м. К бортам синеклизы мощность свиты резко сокращается, вплоть до полного выклинивания. Тулурская свита, ее средняя и верхняя толщи развиты в пределах Вилюйско-Алданского стратиграфического района (табл. 2, рис. 2).

Средний отдел T₂

Толбонская свита распространена в пределах Ундюлюнг-Тукуланского и Бегиджанского стратиграфических районов

(табл. 2). Она сложена граувакково-кварцевыми мелкозернистыми и разномзернистыми песчаниками с прослоями алевролитов, аргиллитов, гравелитов, мелкогалечных конгломератов. Песчаники преимущественно среднезернистые, реже крупнозернистые, слоистые, иногда косослоистые, по наслонениям часто наблюдаются скопления углестого материала. Алевролиты и аргиллиты слоистые, обогащены обугленным растительным материалом, имеют темно-серую и черную окраску. Содержит комплекс среднетриасовых растений. Мощность свиты уменьшается к северу с 500 до 200 м.

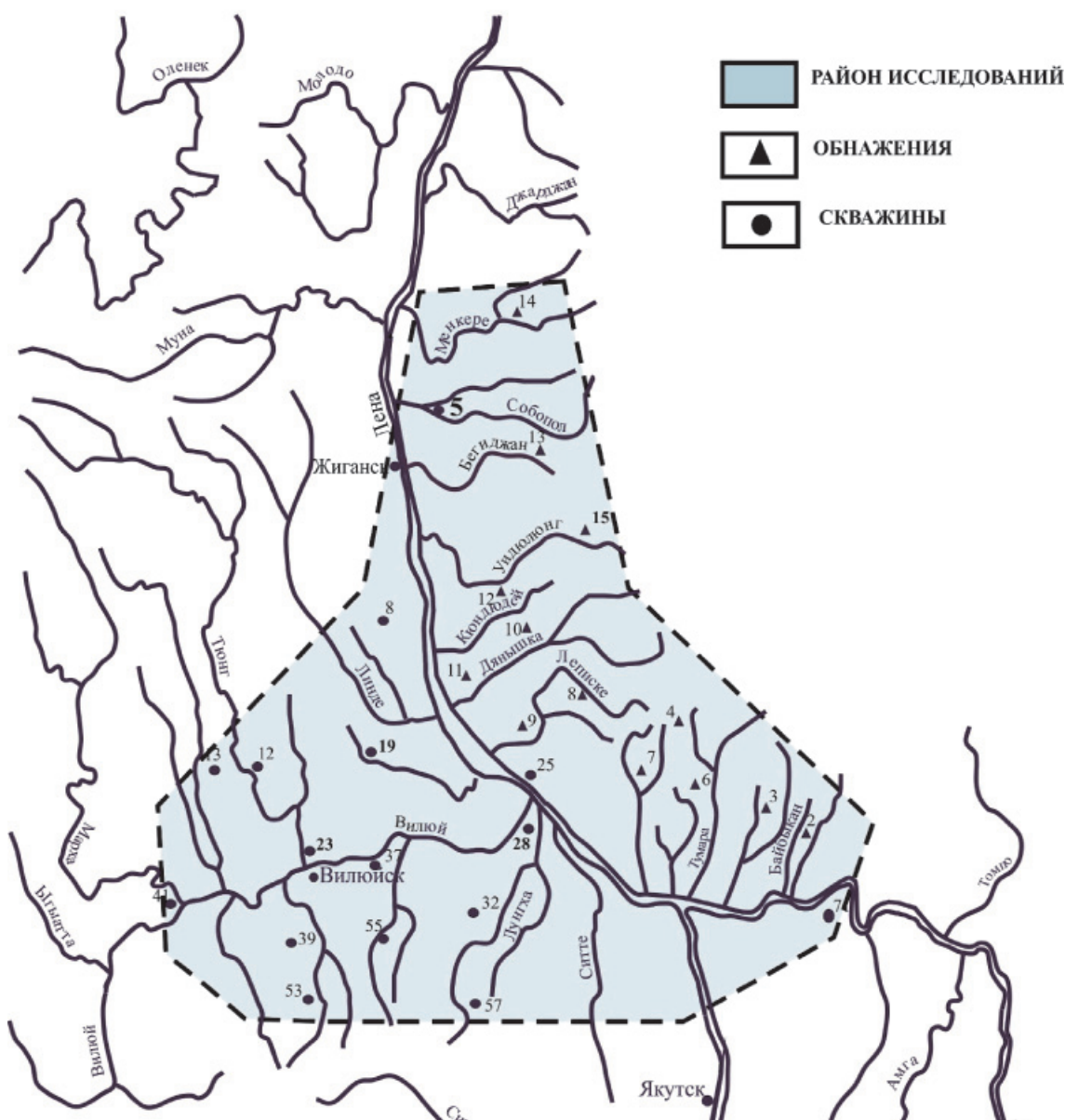


Рис. 1. Район исследований

Таблица 1

Основные обнажения и скважины, данные по которым использовались автором в процессе работы над статьей

| № п/п | Скважины и площади бурения | № п/п | Обнажения |
|-------|----------------------------|-------|--------------------------------------|
| 5 | Приленская | 2 | междуречье Байбыкан-Тукулан |
| 8 | Северо-Линденская | 3 | р. Тенкече |
| 12 | Средне-Тюнгская | 4 | р. Кельтер |
| 13 | Западно-Тюнгская | 5 | р. Кыбыттыгас |
| 19 | Хоромская | 6 | руч. Солнечный |
| 23 | Усть-Тюнгская | 7 | р. Елюнджен |
| 25 | Китчанская | 8 | р. Леписке, Моусучанская антиклиналь |
| 28 | Нижне-Виллойская | 9 | р. Леписке, Китчанская антиклиналь |
| 32 | Южно-Неджелинская | 10 | р. Дянышка (среднее течение) |
| 37 | Средне-Виллойская | 11 | р. Дянышка (нижнее течение) |
| 39 | Быраканская | 12 | р. Кюндюдей |
| 41 | Усть-Мархинская | 13 | р. Бегиджан |
| 53 | Чыбыдинская | 14 | р. Менкере |
| 55 | Хайлахская | 15 | р. Ундюлюнг |
| 57 | Байская | | |
| 71 | Ивановская | | |

Таблица 2

Схема корреляции местных стратиграфических подразделений среднего и верхнего триаса Виллойской синеклизы и Предверхоанского прогиба

| Отдел | Ярус | Подъярус | Район | | | |
|---------|------------|----------|---------------------|--------------------------------------|--------------------|----------------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | | Виллойско-Алданский | Удулюнг-Тукуланский | Бегиджанский | Менгкеринский |
| Верхний | Рэтский | | | Кыбыттыгас-ская свита (нижняя часть) | Бырандянская свита | |
| | Норийский | | Муосучанская свита | | | |
| | Карнийский | Верхний | Хедаличенская свита | | | |
| Нижний | | | | | | |
| Средний | Ладинский | Верхний | Толбонская свита | | | Эселяхюрх-ская свита |
| | | Нижний | | | | |
| | Анизийский | Верхний | Толбонская свита | | | |
| | | Средний | | | | |
| Нижний | | | | | | |

Средний – верхний отдел не расчлененные T_2 – T_3

Эселяхюрхская свита распространена в Менгкеринском стратиграфическом районе. Залегаet на сыгынканской со следами размыва. Кровля сыгынканской свиты неровная, бугристая, с карманообразными углублениями (до 10–12 см). Свита сложена преимущественно крупнозернистыми олигомикто-кварцевыми и олигомиктовыми песчаниками с прослоями кварцевых гравелитов и кварцево-кремнистых конгломератов. Характерно присутствие линз гравелитов и мелкой кварцевой гальки

в песчаниках, грубая, часто косая слоистость пород. Органические остатки в ее породах не обнаружены. Возраст свиты определяется по ее положению в разрезе. Мощность свиты около 100 м.

Верхний отдел T_3

Верхнетриасовые отложения на Западном Предверхоанье в пределах Ундулюнг-Тукуланского, Бегиджанского и Менгкеринского стратиграфических районов выделяются в *хедаличенскую свиту*, которая начинается пачкой чередования темно-серых и черных алевролитов и аргиллитов



Рис. 2. Схема расположения стратиграфических районов:
1 – Вилюйско-Алданский; 2 – Удулюнг-Тукуланский; 3 – Бегиджанский; 4 – Менгкеринский

и серых мелкозернистых песчаников. Породы содержат обильные включения мелкого углистого детрита и отпечатки растений. Мощность этой пачки 40–60 м. Выше по разрезу свита сложена разнозернистыми олигомиктово-кварцевыми песчаниками с резко подчиненными прослоями алевролитов, аргиллитов, мелкогалечных полимиктовых конгломератов и кварцевых гравелитов. Слоистость песчаников косая, волнистая, реже горизонтальная. В песчаниках часто встречаются включения угловатой и плоской гальки глинистых пород. Мощность свиты изменяется от 540 до 380 м. Содержит остатки растений.

Муосучанская свита перекрывает с размывом эсэлхюряхскую и хедаличенскую свиты (табл. 1). В этой свите распространены кварцитовидные кварцевые песчаники, которые в отдельных разрезах расклиниваются полимиктовыми песчаниками алевролитами и аргиллитами. Свита в наиболее полных разрезах имеет трехчленное стро-

ение. Ее нижняя и верхняя части сложены белыми, иногда слабожелезненными с поверхности кварцевыми кварцитовидными песчаниками. Мощность нижнего и верхнего пласта варьирует от 5 до 40 м, при этом верхний пласт всегда мощнее нижнего. Средняя часть свиты сложена темно-серыми полимиктовыми мелкозернистыми песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Эти породы содержат многочисленные сидеритовые желваки, остатки корневой системы растений. Мощность свиты изменчива, в наиболее полных разрезах составляет 70–100 м. Содержит остатки верхнетриасовых растений.

Бырандянская свита распространена в пределах Бегиджанского и Менгкеринского районов. В основании свиты отмечаются следы перерыва в осадконакоплении, выраженные в неровной поверхности подошвы и присутствии мелкой гальки кварца и кремней в ее основании. Свита сложена преимущественно зелено-серыми, мелко-

зернистыми полимиктовыми песчаниками, с ходами илоедов, мелкой рассеянной кварцевой и кремнистой галькой и со знаками ряби, которые чередуются с алевролитами и аргиллитами. В породах встречены верхнетриасовые двустворки и аммониты. Мощность свиты около 100 м.

Нерасчлененные отложения триасовой и юрской систем T_3-J_1

Кыбыттыгасская свита распространена по Ю.Л. Сластенову в пределах Виллойско-Алданского и Ундулюнг-Тукуланского районов. Свита с размывом залегает на муосучанском или на более древних триасовых отложениях. Сложена полимиктовыми песчаниками с прослоями и пачками переслаивания алевролитов и аргиллитов. Мощность 120–220 м. В нижней части свиты обнаружены *Tosapekten efmoae*, а в 70 м от подо-

швы – нижнеюрские *Pseudomytiloides ex gr. sinuosus*. Нижняя часть свиты сопоставляется с бырандянской, а верхняя – с юрской эмпирийской свитой (табл. 1).

Список литературы

1. Сластенов Ю.Л. Геологическое развитие Виллойской синеклизы и Предверхоянского прогиба в позднем палеозое и мезозое // Минералогия, тектоника и стратиграфия складчатых районов Якутии. – Якутск 1986. – С. 107–115.
2. Сластенов Ю.Л. Стратиграфия Виллойской синеклизы и Предверхоянского прогиба в связи с их нефтегазоносностью: автореф. дис. ... д-ра геол. мин. наук. – СПб., 1994. – 32 с.
3. Сластенов Ю.Л., Гриненко В.С., Зинченко В.Н., Урзов А.С. Новые данные по стратиграфии триаса и юры Предверхоянского прогиба // Стратиграфия, тектоника и полезные ископаемые Якутии. – Якутск, 1992. – С. 3–23.
4. Сластенов Ю.Л. Стратиграфия и история заполнения мезозойскими отложениями Западного Предверхоянья: автореф. дис. ... канд. геол. мин. наук. – Якутск, 1965. – 24 с.
5. Сластенов Ю.Л., Алексеев М.И., Баташанова Л.В. Новые данные о геологическом строении Алданской ветви Предверхоянского прогиба // Докл. АН СССР. – 1986. – Т. 230, № 3. – С. 693–696.

УДК 574.45

**БИОГАЗОВЫЕ СТАНЦИИ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЕ
СРЕДСТВО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БИОПРОДУКЦИОННОЙ
СПОСОБНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И КУЛЬТУРНЫХ ЛАНДШАФТОВ**¹Садчиков А.В., ²Кокарев Н.Ф.¹ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, e-mail: lyohantron@mail.ru;²ООО «Комплексные системы утилизации», Оренбург, e-mail: office@kompleksu.ru

В данной статье рассмотрены: Современные проблемы естествознания в области наук о Земле. Взаимосвязи результатов антропогенной деятельности и природных процессов биоты и почв на различных уровнях локализации. Отходы как результат антропогенного воздействия. Отходы агропромышленного комплекса, твердые бытовые отходы. Способы переработки отходов. Организация процесса анаэробного сбраживания на биогазовой станции ООО «Комплексные системы утилизации». Продукты, получаемые в результате переработки в биотермическом реакторе. Применение двухкомпонентного биопрепарата «Микс+». Использование биогазовых станций для эффективного повышения биопродукционной способности естественных и искусственных ландшафтов. Переработка проблемных субстратов. Способы переработки птичьего помета, увеличение полезной вместимости полигонов птичьего помета. Способ повышения эффективности полигонов ТБО. Биоремедиация и нефтеструкция как неотъемлемая часть процессов рекультивации почвенных покровов и нарушенных земель. Применение биопрепарата на основе метанового эффлюента для ликвидации последствий нефтезагрязнений.

Ключевые слова: биогазовая станция, культурный ландшафт, биоремедиация, анаэробное дигерирование, рекультивация, переработка отходов

**BIOGAS PLANT AS AN ENVIRONMENTALLY SAFE MEANS TO INCREASE
THE BIOLOGICAL PRODUCTIVITY OF NATURAL AND CULTURAL LANDSCAPES**¹Sadchikov A.V., ²Kokarev N.F.¹Orenburg State University, Orenburg, e-mail: lyohantron@mail.ru;²LLC «Integrated Recycling Systems», Orenburg, e-mail: office@kompleksu.ru

In this article: Modern problems of natural sciences in the field of earth sciences. The relationship of the results of human activities and natural processes of soil biota at different levels of localization. Waste as a result of human impact. Wastes from agriculture, municipal solid waste. Waste treatment methods. Organization of the process of anaerobic digestion in the biogas plant LLC «Integrated Recycling Systems». The products obtained by processing a biothermal reactor. The use of two-component biological product «Mix +». Using biogas plants to effectively increase bioproduction capacity of natural and artificial landscapes. Processing of problematic substrates. Methods of processing of poultry litter, increase usable capacity ranges for poultry litter. Method of increasing the efficiency of landfills. Bioremediation as an integral part of the processes of soil and reclamation of disturbed lands. Application of biological products on the basis of methane effluent to eliminate the effects of oil pollution.

Keywords: biogas plant, cultural landscape, bioremediation, anaerobic digestion, reclamation, recycling

В настоящее время стремительный темп развития технического прогресса, направленный на повышение энергооборуженности и улучшения комфортных условий труда и быта человека, все чаще приводит к нарушению естественных природных процессов, истощению биотического потенциала экосистем и снижению биопродукционной способности естественных и культурных ландшафтов. Именно этот факт в первую очередь определяет сегодня повышение актуальности естествознания в сфере наук о Земле.

Особое внимание сегодня уделяется изучению взаимосвязи результатов антропогенной деятельности и природных процессов биоты и почв на различных уровнях локализации. В рамках концепции агроландшафта

сформулировано понятие *агрогеосистемы*. *Агрогеосистема* – это техноприродная ресурсовоспроизводящая и средообразующая гео(эко)система, которая служит объектом сельскохозяйственной деятельности и одновременно средой обитания культурных растений, домашних животных и человека. В ней эксплуатируется уникальный природный процесс, свойственный зеленым растениям, – фотосинтез, создающий живое вещество из неорганических веществ, энергетической основой которого является солнечное излучение.

Агрогеосистема во многом отличается от природной геосистемы. Прежде всего это коренная трансформация биогеохимического круговорота веществ. В природных геосистемах лишь около 10% первичной

биологической продукции, создаваемой зелеными растениями, утилизируется в трофических (питательных) цепях травоядными и всеядными животными, а остальная растительная масса после отмирания идет на расширенное воспроизводство плодородия почвы. В пахотных агрогеосистемах отчуждение с убранным урожаем подавляющей части биомассы приводит к резкому дисбалансу биогеохимического круговорота. Как следствие, происходит обеднение почв гумусом, питательными элементами, разрушается структура пахотного горизонта. Почва теряет свое плодородие, становится податливой к эрозионным процессам. Возникает необходимость восстановления плодородия почв за счет внесения органических и минеральных удобрений. К этому добавляется и другая химическая нагрузка: разнообразные ядохимикаты, химические мелиоранты (известь, гипс).

Кроме того, в процессе хозяйственной деятельности человека помимо основной продукции и услуг непрерывно образуются непригодные к употреблению продукты – отходы. В общем случае отходы определяются как остатки продуктов или дополнительный продукт, образующиеся в процессе или по завершении определенной деятельности и не используемые в непосредственной связи с этой деятельностью [3]. По структуре и агрегатному состоянию отходы могут быть твердыми, жидкими (сбросами), газообразными (выбросами), шламами и смесями на различных этапах их технологического цикла и рассматриваются как биосферозагрязнители.

В настоящее время в России ежегодно производится около 3,8 млрд т всех видов отходов. Во многих случаях объемы образующихся отходов превышают объемы производимой продукции. Так, например, животноводческие комплексы и птицефабрики можно рассматривать в первую очередь как производителей отходов, поскольку объемы навоза и помета в сотни и тысячи раз превышают объемы основной продукции.

Количество отходов агропромышленного комплекса России сегодня достигает 600 млн т в год (225 млн т сухого вещества), причём большая часть этих отходов не утилизируется. Это приводит к проблемам окисления почв, отчуждению сельскохозяйственных земель (под хранение навоза), загрязнению грунтовых вод и выбросам в атмосферу метана – парникового газа.

Значительную долю отходов в общей массе составляют твердые бытовые отхо-

ды (ТБО), представляющие собой сложную гетерогенную смесь биологических (кости, пищевые и растительные отходы), синтетических (бумага, древесина, текстиль), нефтепродуктов (кожа, резина, пластмассы), стекла, различных металлических и прочих отходов. Свалки бытовых отходов служат источником пищи синантропным видам – переносчикам инфекции, прежде всего крысам. Банки, бутылки и прочие ёмкости с остатками органики могут играть роль ловушек для диких животных, для насекомых.

В странах СНГ образуется около 100 млн т ТБО в год. На долю России приходится около половины этого количества (около 63 млн т в год). При этом ежегодно количество мусора возрастает примерно на 3% по объему.

Наиболее распространённым методом утилизации ТБО является сжигание с последующим захоронением образующейся золы на специальном полигоне. Метод обладает серьезными недостатками, такими как образование сильно ядовитых химических соединений, например диоксинов и фуранов. Существует довольно много технологий сжигания мусора – камерное, слоевое, в кипящем слое. Мусор может сжигаться в смеси с природным топливом. Наиболее опасным с экологической точки зрения является низкотемпературное сжигание в котлах.

Полигоны по захоронению ТБО представляют собой земельные участки (котлованы), заполненные твердыми бытовыми отходами и являются по сути биохимическими реакторами, в которых при анаэробном разложении органических компонентов образуется метаносодержащий газ – так называемый «свалочный» биогаз, далее – СГ (с содержанием метана 35–65%). СГ в случае прямого попадания в атмосферу является газом, значительно увеличивающим «парниковый» эффект (метан по сравнению с углекислым газом проявляет 32-кратное вредное воздействие на атмосферу Земли). Кроме того, СГ вызывает целый ряд изменений в теле полигона, которые могут представлять существенную угрозу для агроэкосистемы (разрушение полигона вследствие сброса давления газа на поверхность полигона, миграция СГ в грунте, горение СГ на поверхности (открытое горение) и в теле полигона (скрытое, пиролизическое горение) с распространением продуктов сгорания на значительные расстояния, увеличение концентрации опасных металлов в воздухе в некоторых случаях в тысячи раз в форме солей или оксидов, то есть в устойчивом виде).

Таким образом, решение многих проблем, связанных с ухудшением экологических показателей и понижением биопродукционной способности естественных и культурных ландшафтов, возможно только при условии организации высокоэффективного экологически безопасного рециклинга отходов на всех уровнях локализации агроэкосистем.

Основным видом деятельности ООО «Комплексные системы утилизации» (г. Оренбург) является утилизация и переработка отходов на биогазовой станции УГБ-25. Процесс переработки осуществляется в условиях анаэробного дигерирования сырья в биотермическом реакторе [9]. Сырьем для энергонезависимого процесса служат различные группы отходов органического (растительного или животного) происхождения: навоз КРС, конский навоз, свиной навоз, птичий помет, растительные отходы, пивная дробина, биологические отходы и прочее. Продуктами переработки являются: эффлюент – жидкие и твердые продукты переработки биоотходов в метантенке; высокоэффективное биоорганическое удобрение «Самородово»; двухкомпонентный микробиологический препарат «Микс+»; биогаз; биометан – очищенный биогаз с объемной долей метана 93–98%.

Следует отметить, что наиболее распространенным заблуждением является представление о биогазовых станциях как об источниках возобновляемых энергоресурсов. Действительно, в процессе переработки образуется биогаз, позволяющий исключить расходы энергоресурсов на собственные нужды установки (тепло, электроэнергия, заправка автомобиля биометаном) и получить определенную прибыль, и все-таки главным назначением биогазовой станции является экологически безопасная утилизация и переработка отходов, поэтому основным направлением деятельности предприятий, эксплуатирующих биогазовые установки, является оказание услуг в области рециклинга отходов. Так, в настоящее время ООО «КомплеСУ» оказывает услуги по утилизации и переработке отходов многим предприятиям Оренбургской области, в их числе контрагенты – поставщики отходов – ООО «МЕТРО Кэш энд Керри», некачественные продукты питания (далее – НПП), ООО «Оренбив», отходы после переработки технических фабрикатов убойного производства, навоз, каньга КРС, отходы убойного производства; ЗАО ТД «Перекрёсток», НПП; ООО «Форпост»,

НПП; Управление Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору по Оренбургской области (Управление Россельхознадзора по Оренбургской области), санкционные продукты; ООО «Агрофирма «Промышленная», навоз КРС; ЗАО «Уральский бройлер», птичий помет.

По производимым объемам товарной продукции биогазовых станций на первом месте выступает эффлюент, объемная производительность которого равна объемной загрузке перерабатываемого субстрата, при этом уникальное сочетание его микробиологического и микроэлементного состава позволяет получать на его основе ценные продукты переработки.

На основании ряда исследований, проведенных за период с 2011 по 2016 гг., ООО «Комплексные системы утилизации» совместно с ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» предложен и освоен на практике принципиально новый подход к решению проблем утилизации и переработки отходов. Основной задачей исследований является повышение экологичности и биопродуктивности культурных ландшафтов и агрогеосистем за счет применения технологий и продуктов на основе метанового эффлюента.

В результате исследований и производственных испытаний получена группа препаратов «Микс+» («Микс+Грунт», «Микс+КРС», «Микс+ПП», «Микс+ТКО»), предназначенных для повышения биопродукционной способности естественных и искусственных ландшафтов, повышения плодородия почв, входящих в состав агроэкосистем, обработки проблемных субстратов с целью повышения эффективности процессов их утилизации, повышения эффективности рекультивации и дегазации полигонов ТБО, биоремедиации и нефтеструкции грунтов.

Наиболее ярким примером проблемных субстратов является птичий помет (ПП). Его отличают высокая концентрация аммиака и сероводорода, а также повышенная кислотность. Переработка в реакторе БГУ чистого куриного помета представляет собой сложную задачу, до сих пор серийно не решаемую европейскими производителями биогазовых установок [2].

С другой стороны, как питательный субстрат ПП является весьма ценным компонентом загрузки и позволяет существенно повысить метановую составляющую в биогазе [5]. В результате исследований были установлены оптимальные пределы

по загрузочным характеристикам ПП и по массовой доле внесения в общий объем загружаемого субстрата [4, 8]. При этом во время обработки ПП эффлюентом было отмечено в качестве сопутствующего эффекта значительное уменьшение объема ПП в бурте. Этот факт послужил основанием для проведения серии экспериментов на полигоне ПП ЗАО «Уральский бройлер». Опыты проводились с декабря по март 2015 г. В результате были отмечены положительные результаты, в том числе существенное уменьшение объема ПП в чеке после обработки (до 60% от первоначального), улучшение микроэлементных и других качественных показателей обработанного субстрата, снижение выделений аммиака и сероводорода до допустимых значений, улучшение структуры субстрата. При этом получено ферментированное биоудобрение «Цыпа», приготовленное на основе способа, предложенного в [7]. Таким образом были решены две наиболее значимые для птицефабрик проблемы: проблема загруженности полигона ПП и проблема реализации ПП как продукта.

В ходе исследований, направленных на решение проблем рекультивации и дегазации полигонов ТБО, были изучены процессы, протекающие в теле полигона ТБО. В результате установлены основные факторы, оказывающие влияние на экологичность и интенсивность процессов переработки, выявлены причины негативных воздействий на агрогеосистему, предложен способ повышения эффективности рекультивации и дегазации полигонов ТБО,

предполагающий микробиологическую обработку субстрата в теле полигона микробиологическим препаратом на основе метанового эффлюента [8].

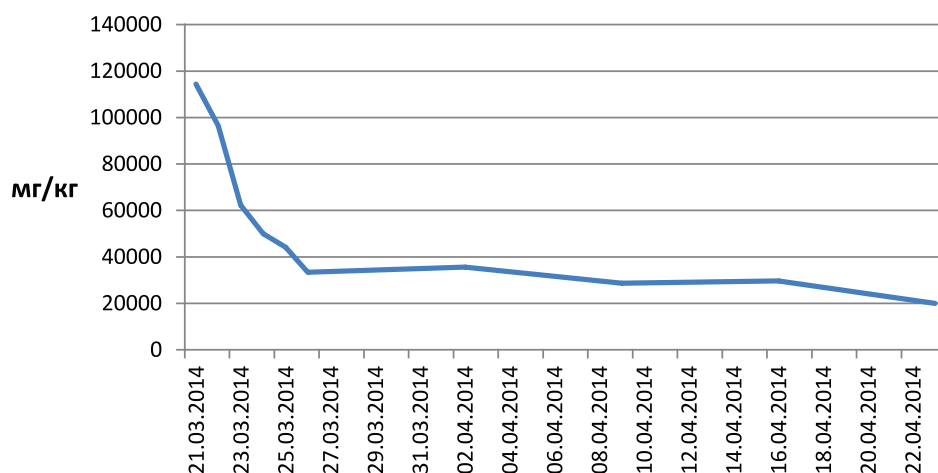
Техническим результатом применения предлагаемого способа являются:

- более высокая активность метаногенного консорциума, содержащегося в эффлюенте, при отсутствии затрат на культивирование штаммов микроорганизмов;
- повышение эффективности и скорости переработки отходов, сопровождаемое снижением класса опасности с IV до V;
- увеличение полезной вместимости полигона и геометрической высоты тела полигона за счет исключения возгораний свалочного газа;
- обеспечение необходимых параметров свалочного газа для последующего его использования в энергоустановках, прежде всего по количеству азота и углекислого газа;
- повышение метановой составляющей свалочного газа и его калорийности.

Значительное влияние на экологические показатели агрогеосистем оказывают загрязнения почвенного покрова и водоемов нефтью и нефтепродуктами. Ежегодный рост объемов нефтяных загрязнений вызывает необходимость разработки экологически эффективных и экономически оправданных способов биоремедиации и нефтедеструкции как неотъемлемой части процессов рекультивации почвенных покровов и нарушенных земель.

Для оценки эффективности использования метанового эффлюента в мероприятиях по рекультивации почв, загрязненных

Почва+нефть 150 г/кг + эффлюент 10 л/м²



Результаты внесения эффлюента в количестве 10 л/м² в загрязненную почву с начальной концентрацией нефти 150 г/кг

нефтепродуктами, весной 2014 г. в условиях микрополевого опыта были произведены эксперименты. В результате выявлены окисляющие и деструктивные свойства эффлюента, позволяющие использовать его в качестве основы для микробиологического препарата для биоремедиации нефтезагрязненных почв [1]. При исследовании образцов почвенных грунтов земель в районе п. Самородово (Оренбургская обл., Оренбургский район) с тремя типами загрязнителей (нефть, бензин, дизельное топливо) отмечен положительный эффект на седьмой – четырнадцатый день после внесения эффлюента. Наиболее наглядные результаты получены для образцов, загрязненных нефтью (рисунок).

По итогам исследований получен двухкомпонентный микробиологический препарат «МИКС+Грунт», который в настоящее время применяется для ликвидации последствий нефтяных загрязнений, обработки замазученных грунтов и нефтешламов, как в специально отведенных местах захоронения, так и на открытых участках, степень загрязнения которых по массовой доле нефтепродуктов в грунте лежит в пределах от 5 до 200 г/кг. Отмечено, что наибольшую активность биопрепарат проявляет при концентрации нефти от 0,05 до 15,0 %.

Таким образом, применение биопрепарата на основе метанового эффлюента для ликвидации последствий нефтезагрязнений позволяет обеспечить высокоэффективную биологическую очистку почв и нейтрализо-

вать экотоксическое действие промежуточных продуктов разложения нефтяных углеводородов на окружающую среду.

Список литературы

1. Демин А.В., Костин М.В., Садчиков А.В. Применение продукта биогазовой установки как нефтеструктора при биоремедиации нефтезагрязненных земель // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4; ISSN 2070-7428.
2. Идигенов Б.Б., Садчиков А.В., Кокарев Н.Ф. Применение субстратов с быстрым расщеплением для повышения метаноотдачи биогазовых установок с комбинированной загрузкой // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 330; ISSN 2070-7428.
3. Межгосударственный стандарт ГОСТ 30772-2001 «Ресурсосбережение. обращение с отходами. Термины и определения».
4. Садчиков А.В., Идигенов Б.Б., Кокарев Н.Ф., Никоноров И.Н., Идигенов А.Б. / Способ предварительной подготовки птичьего помета для последующего его использования в составе многокомпонентного загрузочного сырья однокамерной биогазовой установки (бгу) // Пат. 2563377 РФ. Опубликовано 20.09.2015. Бюл. № 26.
5. Садчиков А.В., Идигенов Б.Б. Повышение эффективности работы биогазовых установок с комбинированной загрузкой путем добавления в качестве компонента предварительно дигерированного птичьего помета // «Приволжский научный вестник», № 5 (33) – 2014. – С. 58–60; ISSN 2223-5213.
6. Садчиков А.В., Кокарев Н.Ф., Идигенов Б.Б., Никоноров И.Н., Идигенов А.Б. / Способ микробиологической переработки птичьего помета // Пат. 2525251 РФ. Опубликовано 10.08.2014. Бюл. № 22.
7. Садчиков А.В., Кокарев Н.Ф., Никоноров И.Н., Идигенов А.Б. / Способ повышения эффективности полигонов твердых бытовых отходов (тбо). // Пат. 2555143 РФ. Опубликовано 10.07.2015. Бюл. № 19.
8. Садчиков А.В., Кокарев Н.Ф., Никоноров И.Н., Идигенов А.Б. / Способ подготовки птичьего помета для анаэробного сбраживания // Пат. 2515038 РФ. Опубликовано 10.05.2014. Бюл. № 13.
9. Стандарт организации СТО 69393208-003-2013 «Энергонезависимый процесс по переработке отходов агропредприятий».

УДК 338.462

ТРАНСЛЯЦИЯ МЕТОДОВ СУПЕРВАЙЗИНГА НЕФТЕГАЗОВОГО БУРЕНИЯ В ОРГАНИЗАЦИЮ БУРЕНИЯ, ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ, ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ И ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

Сизов А.В., Боярко Г.Ю.

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Томск, e-mail: sizov@tpu.ru, gub@tpu.ru

Одной из основных тенденций развития супервайзинга строительства и капитального ремонта нефтегазовых скважин является перенос опыта в иные сферы деятельности и отрасли промышленности. Предлагается внедрить супервайзинг как основной инструмент технико-технологического контроля в сферы колонкового бурения на твердые полезные ископаемые, инженерные изыскания, строительство водозаборных скважин. Условность подобного внедрения объясняется неопределенным конечным результатом производственного процесса, в котором технологические процессы будут иметь волатильный характер, поэтому правильность исполнения технологии производства будет иметь основополагающее значение. Несмотря на достоверность полученных результатов при проведении первых операций производства, они могут быть испорчены при дальнейшем проведении работ. Обосновано, что супервайзинг может повысить качество геологической информации, посредством повышения представительности ядра при производстве колонкового бурения на твердые полезные ископаемые. При внедрении супервайзинга в сферу строительства водозаборных скважин повысится качество сооружения водозаборных объектов, а также представительность опытных откаток, при испытании водозаборных скважин. Внедрение супервайзинга в сферу инженерных изысканий сформирует противофальсификационный входной контроль полученных изыскательских материалов, а также поможет в решении вопроса обоснованности затрат, связанной с целесообразностью выполнения того или иного этапа намеченной программы изыскательских работ.

Ключевые слова: супервайзинг, контроль качества, технико-технологический контроль, сервисные услуги, колонковое бурение, инженерные изыскания, водозаборная скважина

TRANSLATION OF OIL AND GAS DRILLING SUPERVISING METHODS TO THE EXPLORATORY, ENGINEERING SURVEY AND WATER WELLS DRILLING ORGANIZATION

Sizov A.V., Boyarko G.Yu.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «National Research Tomsk Polytechnic University», Tomsk, e-mail: sizov@tpu.ru, gub@tpu.ru

Transferring training to other areas of industry activity is one of the main trends of construction and oil and gas wells workover supervising. It is proposed to implement supervising as the main technical and technological tool to control the spheres of core drilling for solid minerals, engineering surveys as well as water wells construction. The conventionality of the implementation is relevant due to the uncertainty of final process results where technological processes will be of volatile nature. Thus, production technology satisfying will be of fundamental importance. Although the results obtained during the first production operation are accurate, they can become misleading during further work realization. Supervising can improve the quality of geological information by increasing the core sample representativeness during core drilling for solid minerals. The introduction of supervising into water wells construction will increase the quality of water intake facilities, as well as the representativeness of pumping samples during water wells testing. Implementation of supervising in the sphere of engineering survey will create the anti-falsification control of the received survey materials, and will also help in solving the issue of the costs reasonableness related to the appropriateness of the planned exploration work program phase realization.

Keywords: supervising, quality control, technical and technological control, services, core drilling, engineering surveys, water well

Супервайзинг доказал свою эффективность в нефтегазовой отрасли, положительный эффект от деятельности сервисных организаций в области входного контроля качества исполнения строительства и ремонта нефтегазовых скважин очевиден. Поэтому одной из основных тенденций его развития является переложение опыта и внедрение как основного инструмента входного контроля качества подрядных работ в иные сферы деятельности и отрасли промышленности. Авторами предлагается

перенести успешный опыт супервайзинга в следующие сферы деятельности: колонковое бурение в составе геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые, строительство и сооружение водозаборных скважин, инженерные изыскания, проведение экологических работ.

Цель исследования – рассмотреть основные предпосылки внедрения супервайзинга в сферы колонкового бурения в составе геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые, строительство

и сооружение водозаборных скважин, инженерные изыскания, спроецировать основные организационно-управленческие процессы такого внедрения и обосновать его эффективность.

Результаты исследования и их обсуждение

Строительство нефтегазовых скважин, строительство водозаборных скважин, колонковое бурение в составе геолого-разведочных работ на твердые полезные ископаемые, инженерные изыскания представляют собой сложный производственный процесс, основной спецификой которого является факт, что основные технологические операции производятся в условиях неопределенности конечного результата. Это обуславливает чрезвычайно широкое разнообразие условий производства работ, вероятностный характер действующих факторов, из-за потребности в достоверной информации о горно-геологических и технических условиях производства. Несмотря на достоверность полученных результатов при проведении первых операций производства они могут быть испорчены при дальнейшем проведении работ. В условиях неопределенности данные проблемы можно решить путем внедрения супервайзинга, как основного инструмента технико-технологического контроля качества исполнения работ. Таким образом, общность, концептуальная схожесть представленных сфер деятельности со строительством и ремонтом нефтегазовых скважин будет заключаться в том, что производственный процесс может носить неопределенный конечный результат, а значит, и технологические процессы будут иметь волатильный характер, поэтому правильность исполнения технологии производства будет иметь основополагающее значение и является основной объединяющей стезей в вопросах внедрения супервайзинга в иные сферы деятельности.

Способы и цели, поставленные заказчиками при сооружении водозаборных скважин, заказчиками геологоразведочных работ при колонковом бурении на твердые полезные ископаемые, а также функциональные требования в сфере инженерных изысканий, перед исполнителями схожи по содержанию, поэтому имеются все предпосылки для внедрения опыта супервайзинга, наработанного в нефтегазовой отрасли как эффективно-

го инструмента надзора и контроля таковых. Услуги супервайзинга прямым образом не регламентированы действующим Гражданским законодательством, в связи с чем оказание таких услуг базируется на основном принципе свободы договора, что делает супервайзинг более адаптивным под любой род деятельности, исходя из потребностей и желаний заказчика. Таким образом, супервайзер, осуществляя внешний контроль и надзор, замотивирован в добросовестном исполнении своих обязательств посредством штрафов и взысканий, установленных договорными отношениями и начисляемых за невыявленные упущения и дефекты в работе исполнителя [2, 7].

Наиболее ценным с точки зрения привлечения супервайзерских услуг является то, что супервайзер постоянно присутствует при производстве работ, контролирует качество процесса, а не ведет единичный инспекционный контроль, основанный на одномоментном снимке текущего положения дел в определенный момент времени. В связи с чем исполнителю работ наиболее сложно сфальсифицировать результат от проведенных операций на объекте контроля. Серьезной проблемой оценки достоверности величины выхода керна – основного показателя геологической информации о строении недр при колонковом бурении являются случаи подлога и фальсификации кернавого материала. Поскольку мотивация рабочих буровых бригад ориентирована на выполнение плановых показателей выхода керна любой ценой, нередко следующие факты фальсификации материала керна скважин [3]:

1) подсыпка шлама из зумпфа в выкладку керна текущей проходки – шлам сложен не только из материала выбуривания текущей проходки, но и из высыпок со стенок скважины по всей ее длине (наиболее частые события);

2) помещение в выкладку керна, находящегося в проходке скважины, керна из уже пробуренных скважин;

3) фальсификация керна угля или руды – выточкой цилиндров из подходящего материала на токарном станке.

Полезность привлечения супервайзера при сооружении водозаборных скважин выражается при проведении операции опытной откачки на них. Данная операция должна производиться также в соответствии с отраслевыми нормами, которыми

установлено, что общая продолжительность откачек должна составлять 1–2 суток на каждое понижение после установления постоянного динамического уровня при заданном дебите. По продолжительности данная операция может занимать от первых дней до трех месяцев. Хоть данная операция и характеризуется высокой степенью автоматизации, но на практике имеют место быть случаи фальсификации результатов испытаний скважины организацией производящей работы [5].

При отсутствии надлежащего контроля инженерных изысканий специалисты, производящие работы, опираясь на материалы прошлых лет или косвенные признаки, могут не выполнить необходимые исследования в полном объеме. К примеру, они могут увеличить расстояния между реальными горными выработками, что может привести к пропуску или ошибочному оконтуриванию мест с развитием опасных в инженерном отношении геологических процессов. Также возможны: уменьшение реальной глубины параметрических скважин, пропуск и отсутствие проб грунтов, неправильное определение инженерно-геологических элементов и уровня грунтовых вод и др. Подрядчики часто используют подобные подходы на практике, особенно при наличии у них обширного опыта изыскательской деятельности, и при этом очень осторожно подгоняют полученные результаты по формальным признакам. Таким образом, заказчик может получить фальсифицированные или неподставительные материалы изысканий, что, безусловно, скажется при дальнейшем производстве работ на объекте [4].

Во всех описанных случаях фальсификации результата при производстве работ основной задачей супервайзера будет являться повышение представительности таких результатов. Которое будет иметь исключительно прикладной характер контроля соответствия технологии по специфике предназначения отраслевым и внутренним регламентам заказчика при производстве работ. Из колонковой трубы, к примеру, извлекается сплошной (без разрывов) столбик керна при бурении сплошного бестрещинного горного массива плотных пород, сложенных зернами минералов близких по твердости и истираемости (абразивности). Напротив, снижение может быть обусловлено такими геолого-техническими факторами, как истирание торцов и по диаметру совмещённых кусков керна при вращении

в приемной колонковой трубе, рыхлого состояния грунта и песчаных пород, наличия очень мягких и растворимых минералов, диспергируемость тонких частиц плотных иловатых пород, перемежаемость тонких слоёв твердых и мягких пород, резкие переходы из твердых пород в пласт мягких. Возможно и обоснованное снижение выхода керна до 0% при наличии каверн и пустот при бурении в условиях закарстованности горного массива, при наличии высокого уровня льдистости грунтов – при комнатной температуре объём грунта «усыхает» иногда на 60–70%. Для каждого случая известных факторов, вызывающих разрушение керна со снижением его выхода разработаны технологии бурения: с пониженной скоростью; укороченными рейсами; «всухую» (без бурового раствора); с применением двойных колонковых снарядов (с внутренней невращающейся трубой), с использованием «соленых», густых, глинистых растворов, при бурении с применением заполнения внутренней трубы герметиком и др. Данные факторы, влияющие на кондиционный выход керна, безусловно, требуют освидетельствования со стороны супервайзера, который должен в первую очередь анализировать и руководствоваться правильностью текущего протекания процесса производства колонкового бурения, исключая причинно-следственный фактор нарушения технологии при производстве геологоразведочных работ и обязательно анализировать состояния извлеченного керна, в том числе подтверждая его отсутствие.

Главным условием сооружения водозаборной скважины является её месторасположение. Место расположения должно соответствовать санитарным правилам и не должно находиться на паводковых, оползневых участках, близ транспортных магистралей и организованных скотомогильников, многие из которых забыты за давностью лет. Данные условия носят основополагающий характер исключения возможности загрязнения водоносных слоёв. Несвоевременное выявление нарушений подобного рода приводит к загрязнению водоносных пластов, даже если эксплуатируемые водоносные слои не пройдены бурением. Плохой тампонаж затрубного пространства, характеризующийся плохим перекрытием водоносных слоёв, является грубым нарушением технологии строительства водозаборных скважин. При несоблюдении технологии изоляции

затрубного пространства между эксплуатируемым и неэксплуатируемым водоносными пластами начинается водопереток, постепенно размывающий и увеличивающий зазоры между обсадной колонной и породой [1]. Так, воды загрязненных слоёв могут попадать в эксплуатируемый слой, ухудшая качество его вод. Так супервайзер, присутствуя при выполнении работ, может фиксировать вышеизложенные факты и давать предварительное заключение о технических условиях пригодности объекта к эксплуатации по формальным признакам месторасположения объекта и правильности соблюдения технологии сооружения водозаборной скважины. Супервайзер может подтверждать факт фиксации соединения труб и отсутствия трубного зазора. Известны случаи обсадки скважины без соблюдения основных правил крепления, а также применения контрафактных материалов. Подрядчики реставрируют ранее использованное водоподъемное оборудование, используют бывшего употребления трубы, фильтры, бракованные материалы вопреки санитарным нормам и правилам. Данные факты не удается выявить, так как подделываются маркировки, сопроводительные документы, заказчики осложняют процессы выявления подобных фактов ввиду незаинтересованности в организации приемки товарно-материальных ценностей подрядчика. Проводя противофальсификационный входной контроль, супервайзер может не только улучшить качество строительства, но и существенно снизить риск возникновения аварий на объекте.

На результаты инженерных изысканий влияют не только технологические, но и такие факторы, как наличие инфраструктуры на объекте, географические (ландшафтные, климатические, тектонические), геологические. Представленные факторы носят вероятностный характер, напрямую зависящий от изученности объекта изысканий. От данного перечня факторов будет зависеть не только качество инженерных изысканий, но и стоимость работ, а именно удорожание в процессе производства изысканий. Зачастую исполнители инженерных изысканий всячески пытаются скрыть факт, что дальнейшая реализация программы изысканий нецелесообразна, с целью увеличения финансирования, увеличивая объемы работ, убеждая заказчика в невозможности поступить иначе. Супервайзер при этом подвергает анализу первичные результаты изысканий и выдвигает свои

предложения относительно внесения изменений в намеченную программу работ, решив таким образом проблему обоснованности затрат, целесообразности выполнения каждого этапа этой программы.

В настоящее время контроль качества в сфере колонкового бурения на твердые полезные ископаемые, инженерных изысканий, строительства водозаборных скважин проводится преимущественно заказчиком. Экспертиза и технадзор со стороны государственных органов дают определённые результаты, но все же не являются достаточно эффективными, так как процесс производства остается в тени. Контролирующие органы производят единичный инспекционный контроль, что опять же может отразить только текущее положение дел на объекте в момент проверки, при этом наиболее заинтересованным в качестве работ субъектом является заказчик работ. В настоящее время для организации надзора и контроля заказчики формируют и наделяют подобными полномочиями внутренние службы контроля в своей структуре, что делает их малоэффективными в вопросах качества. Внутренний контролер не всегда автономен от своих коллег, он также зависим от начальства, зачастую ориентированного на выполнение плановых показателей. Что приводит к сокрытию фактов, отклонений и нарушений допущенных при исполнении работ. Такой контролер неэффективен, испытывая давление со стороны, он теряет объективность при оценке качества не только результата, но и процесса производства. Данный факт создает определенную потребность в непредвзятости оценки качества исполнения работ с позиции независимой от внешних факторов стороны. Данные функции, как показывает практика отрасли строительства и ремонта нефтегазовых скважин, может с легкостью выполнить супервайзинг. Супервайзер замотивирован в надлежащем исполнении своих обязательств не только штрафными санкциями, но и репутацией, которая в условиях конкуренции будет являться основополагающим фактором в вопросах качества оказания самих супервайзерских услуг [6].

Следует отметить, что отчетность супервайзера носит доказательное значение в судебных спорах, доказывающих или опровергающих правильность действий, порядок работ, а также качество их выполнения исполнителем перед заказчиком или иными заинтересованными лицами.

Вывод

Спроецировав основные организационные процессы перенесения опыта супервайзинга нефтегазовой отрасли в сферы колонкового бурения на твердые полезные ископаемые, инженерных изысканий, строительства водозаборных скважин следует отметить полезность подобного мероприятия. Эффективность такого внедрения обусловлена противофальсификационным контролем результатов работ, а также надзором и контролем за правильностью исполнения технологии производств как процесса. Данное мероприятие не только повысит качество контроля производства, но и подтолкнет исполнителей работ к добросовестному исполнению своих обязанностей. Обосновано, что наиболее полезным с точки зрения привлечения супервайзера будет являться факт повышения представитель-

ности результатов работ в рассматриваемых сферах деятельности.

Список литературы

1. Башкатов Д.Н., Сердюк Н.И. Базовые технологии бурения и их реализация при сооружении скважин на воду // Недропользование – XXI век. – 2008. – № 5. – С. 70–74.
2. Нестерова Т.Н. Отечественный буровой супервайзинг – опыт и проблемы. Часть 1 // Бурение и нефть. – 2009. – № 5. – С. 52–54.
3. Сизов А.В., Боярко Г.Ю. Супервайзинг при колонковом бурении в составе геолого-разведочных работ // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2014. – № 6. – С. 50–53.
4. Сизов А.В., Боярко Г.Ю. Супервайзинг как инструмент контроля качества инженерных изысканий // Инженерные изыскания. – 2014. – № 13–14. – С. 24–29.
5. Сизов А.В., Боярко Г.Ю. Технический надзор при строительстве водозаборных скважин // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 2. – С. 35–38.
6. Чуркин О.Ф. Популярно о серьезном: супервайзинг в инженерных изысканиях // Инженерные изыскания. – 2013. – № 13. – С. 14–17.
7. Ширенкова Е.А. Юридические аспекты супервайзерских услуг // Бурение и нефть. – 2010. – № 9. – С. 52–55.

УДК 584.83: 627.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ РАЗНОРОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Стручкова Г.П., Капитонова Т.А., Попов К.А., Ефремов П.В.

ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова» СО РАН,
Якутск, e-mail: g.p.struchkova@iptpn.ysn.ru, kapitonova@iptpn.ysn.ru

Для обеспечения безопасности в техногенной сфере и снижения рисков возникновения ЧС необходимо наличие информационных ресурсов и своевременный их анализ, а также методы и технологии их использования на предмет своевременной оценки ситуации для принятия решения по их предупреждению. В статье предлагаются научно-методические принципы создания структуры базы геоинформационных данных для комплексного использования при эксплуатации и обследовании линейных технических систем, проложенных в условиях криолитозоны. Данная задача решается с помощью мониторинга состояния линейных технических систем, полученных с применением дистанционного зондирования аэрофото- и аэровидеосъемки, космоснимков и их привязки при оценке состояния и картирования протяженных линейных технических систем и опасных природных процессов и прогнозирования их динамики для обоснования принятия оптимальных технических и управленческих решений, оценки потенциальных угроз и районирования территории прохождения линейных технических систем по уровню риска возникновения ЧС. Для оценки состояния протяженных линейных систем создана структурированная база данных, обеспечивающая информационную поддержку функционально различных модулей ГИС.

Ключевые слова: базы геоинформационных данных, мониторинг, плано-высотное положение, дешифровка, данные дистанционного зондирования, многолетнемерзлые породы, термокарст, полевые обследования

USE OF GEOINFORMATIONAL DATABASE OF HETEROGENEOUS INFORMATION FOR ESTIMATE OF STATE OF LINEAR TECHNICAL SYSTEMS UNDER CONDITIONS OF CRYOLITHOZONE

Struchkova G.P., Kapitonova T.A., Popov K.A., Efremov P.V.

The Institution of Russian Academy of Sciences the V.P. Larionov's Institute
of Physical-Technical Problems of the North, Siberian Branch of the RAS, Yakutsk,
e-mail: g.p.struchkova@iptpn.ysn.ru, kapitonova@iptpn.ysn.ru

For provision of security in a technogenic sphere and a reduction of risks of occurrence of emergency situations it is necessary presence of information resources and timely analysis of them, and also methods and technologies of their use for the purpose of timely estimate of situation for making a decision for their prevention. In this paper there are offered scientific and methodical principles of creation of structure of base of geoinformational data for complex use during exploitation and inspection of linear technical systems built under conditions of cryolithozone. This problem is solved with the help of monitoring the state of linear technical systems obtained with the use of remote sensing of air photographic and video survey, satellite images and their tie-in during the estimate of state and mapping of extensive linear technical systems and hazardous natural processes and predicting their dynamics to justify adoption of optimal technical and managerial solutions, an estimate of potential threats and zoning of territory of passing of linear technical systems according to a level of risk of occurrence of emergency situations. For the estimate of state of extensive linear systems it was created the structured database providing information support of functionally different modules of geoinformational system (GIS).

Keywords: bases of geoinformational data, monitoring, planned-high-altitude position, deciphering, data of remote sensing, permafrost rocks, thermokarst, field reconnaissance

В настоящее время особое внимание уделяется вопросам изучения взаимодействия технической системы с окружающей природной средой. В результате такого взаимодействия образуются сложные природно-технические системы (ПТС), которым уделено серьезное внимание в работах ряда ученых: Н.Ф. Реймерса, А.Л. Ревзона, А.В. Садова, Р.О. Самсонова, А.П. Камышева, И.И. Мазура, С.Г. Павлова, Б.Н. Семенякина и др.

Для оценки состояния природно-технической системы, функционирующей в сложных климатических условиях, используется

комплекс показателей: степень нарушенности ландшафтов, наличие и стадии природных и природно-техногенных процессов, изменение пространственного положения и изменение состояния защитных покрытий технической системы.

Использование комплексного подхода к оценке состояния ПТС базируется на использовании современных эффективных информационных технологий, включающих применение:

– многоспектрального аэрокосмического зондирования;

– наземных ландшафтно-индикационных исследований для обоснования результатов дешифрирования;

– наземных инженерно-геологических исследований для определения и контроля развития опасных геокриологических процессов на участках ПТС и ранжирования их по степени опасности;

– методов наземного контроля планово-высотного положения протяженных линейных природно-технических систем;

– оценки состояния ПТС, комплексно используя результаты вышеуказанных исследований и геоинформационные технологии.

Цель исследования – разработка научно-методических принципов создания и структуры базы геоинформационных данных для комплексного использования аэрофото- и аэровидеосъемки, космоснимков и данных наземного обследования линейных технических систем.

Исходными данными для работы послужил следующий комплекс материалов:

- материалы архивной космической съемки высокого и среднего разрешения;
- материалы полевых обследований;
- материалы аэровизуальных обследований;
- материалы инженерных изысканий.

Наиболее значимые изменения окружающей среды, обусловленные влиянием природных и антропогенных факторов, в большинстве случаев проявляются в ландшафте, что находит свое отражение в динамике геоморфологических, геоботанических, гидрографических, теплофизических и других индикаторов земной поверхности [2]. Использование данных дистанционных наблюдений позволяет определять изменения ландшафтных индикаторов.

Анализ работ, касающихся разработки геоинформационного обеспечения для решения задач безопасности нефтегазопроводов, показал, что основными принципами при построении являются: системный подход к составу и способу хранения данных; актуализация; комплексирование данных; модульность и ориентация на современные программные продукты [3], возможность корректировки информации со стороны пользователей без изменения состава и содержания баз данных; открытость в смысле возможного пополнения состава баз данных и их расширения, блочность; взаимосвязанность блоков через транзитную область; единство в использовании языков программирования, средств выборки данных и средств управления геоинформационными

потоками [4], возможность поиска при вводе основных и дополнительных параметров объектов, синхронизация выбора данных в картах, технологических схемах, профилях [1]. Также для решения подобных задач необходимо проведение экспресс-анализа изменения состояния участка магистрального трубопровода со сложными геологическими условиями для прогнозирования аварийных ситуаций и совершенствования системы геотехнического мониторинга [5].

Геоинформационные технологии позволяют обеспечить доступ к базам данных (БД) разнородной пространственно привязанной информации для решения задач оценки состояния ПТС и визуализации полученного результата.

База данных структурирована так, чтобы обеспечить информационную поддержку работы функционально различных модулей геоинформационной системы: модуля справочной информации, модуля подготовки и экспорта данных для решения задач по оценке параметров, размеров опасных зон, ранжирования участков трубопровода по степени опасности; и другие задачи по оценке состояния протяженной линейной технической системы.

Характерный объект базы данных ГИС имеет следующие признаки: форму; привязку к выбранной системе координат; характеристики, изменяющиеся во времени.

Схема базы данных представлена на рис. 1. Для увеличения производительности БД все данные, не относящиеся к геоданным, содержатся в БД в виде ссылок на файлы, расположенные на сервере, а геоданные хранятся непосредственно в самой базе данных. На сервере организован контроль учетных записей для доступа к папкам, что позволяет устанавливать запрет на доступ к каталогам для добавления информации пользователями, но позволяет просматривать и копировать данные из них. Информацию в базу добавляет администратор БД.

Содержание объектов, хранящихся в базе данных ГИС

Перечень объектов картографической базы данных (пространственные данные) ГИС содержит следующие разделы: гидрографическая сеть; рельеф местности; населенные пункты; растительность; дороги. С их помощью удастся построить изображение местности, дающее пространственную привязку к элементам трубопроводной системы.

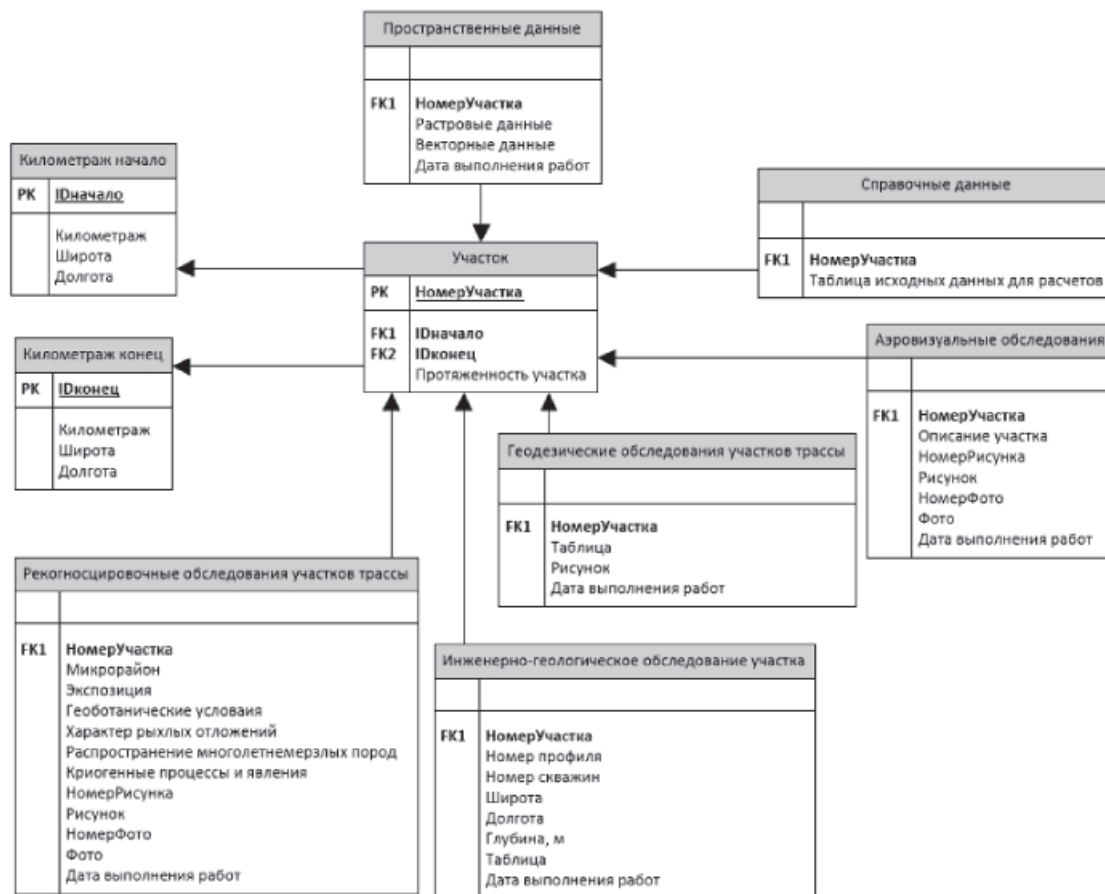


Рис. 1. Схема геоинформационной базы данных мониторинга состояния протяженных линейных ПТС

Элементы трубопроводной системы взаимодействуют с геологической средой, при определенных условиях эксплуатации они могут оказать заметное влияние на изменение скорости развития опасных геологических процессов.

Исследования по оценке взаимодействия окружающей природной среды и магистрального трубопровода включают следующие этапы:

- анализ состояния территории, на которой находится ПТС;
- оценка взаимовлияний ПТС и их последствий;
- определение мероприятий, смягчающих или предотвращающих негативные взаимодействия.

Для отображения результатов анализа состояния протяженных линейных природно-технических систем на территории, где есть взаимное влияние элементов трубопроводной системы и геологической среды, по результатам мониторинга выделяются зоны с изменяющимися во времени границами

и параметрами. Зонирование определяет границы участков с однородными признаками и выполняется по типу геологических опасностей и степени опасности.

Языком программирования для разработки был выбран язык C++. C++ содержит средства создания эффективных программ практически любого назначения, от низкоуровневых утилит и драйверов до сложных программных комплексов самого различного назначения. Недостатком C++ обычно выделяют то, что код крупных проектов получается слишком большим. Но так как библиотека MapWinGis написана на C++, то для рассматриваемых задач он определенно подходит. Архитектура приложения с указанием всех крупных модулей и взаимосвязей между ними представлена на рис. 2.

Основной модуль отвечает за взаимодействие практически всех модулей, а также занимается загрузкой и отображением основной информации (векторные и растровые изображения, информация по участкам и др.).

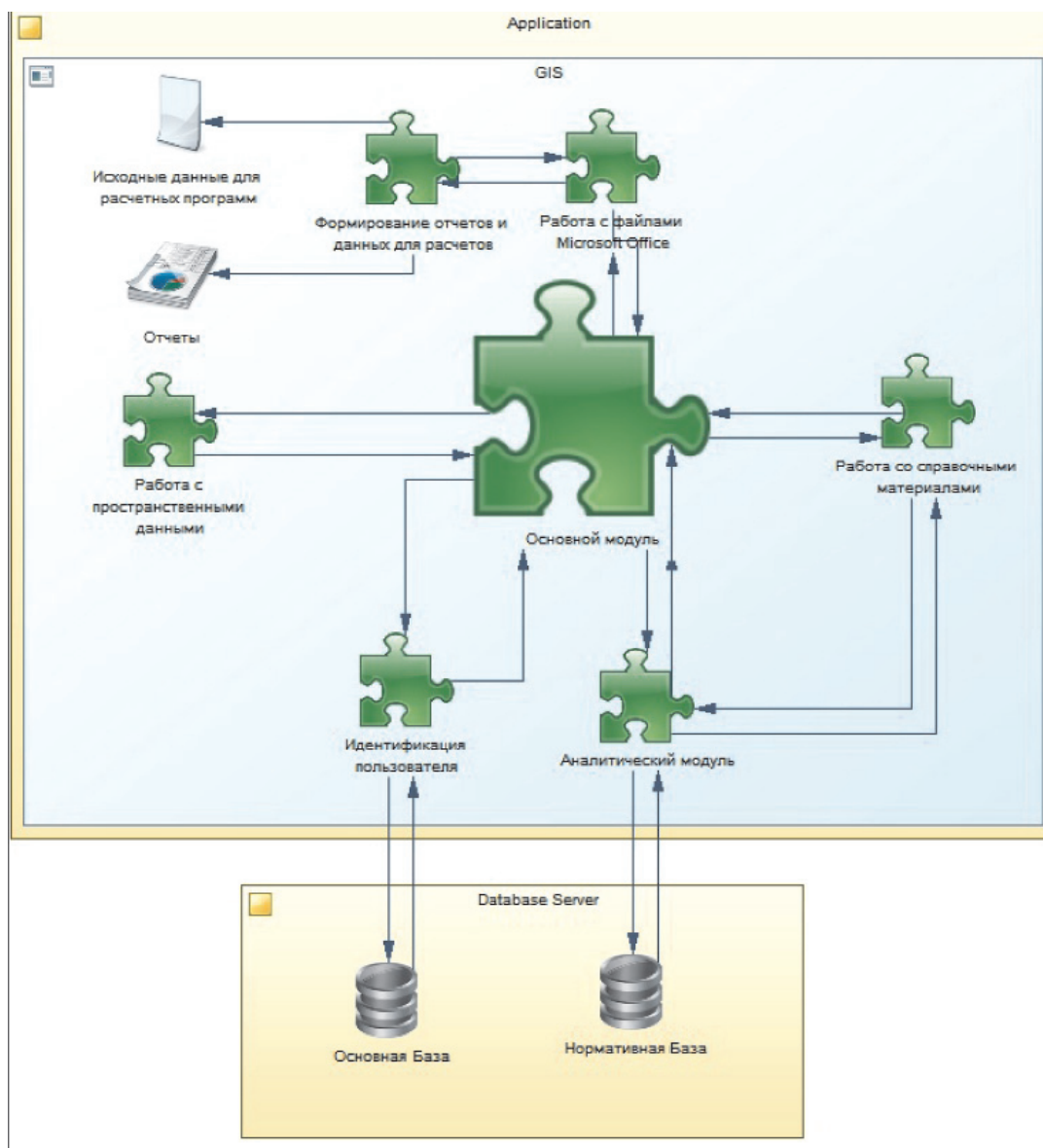


Рис. 2. Архитектура ГИС-приложения

Модуль для работы с пространственными данными содержит алгоритмы для создания и редактирования растровых и векторных данных, он также отвечает за пространственную привязку и работу со слоями, проекциями.

Модуль идентификации пользователя отвечает за работу с базой данных: выбор используемой базы данных; открытие подключения; проверку уровня доступа к базе, что в дальнейшем включает или отключает некоторые функции в программе; закрытие подключения.

Модуль работы со справочными материалами требуется для сбора и хранения

табличных значений разных величин и характеристик, которые используются в других модулях. В состав справочно-информационного модуля ГИС входят: комплекс баз данных по техническим и конструктивным характеристикам объектов НГК республики, статистика по авариям, имевшим место на объектах; природно-климатическая характеристика региона расположения объекта, характеристика опасных геологических участков; нормативно-справочная информация, которая содержит перечень и краткое содержание государственных нормативов по проектированию и строительству объектов НГК, отраслевых норм и правил

по сооружению и эксплуатации объектов, а также инструкций по проведению на объектах отрасли различных исследований.

Аналитический модуль позволяет проводить анализ данных и расчеты для дальнейшего прогнозирования, используя справочный модуль и нормативную базу.

Модуль работы с файлами Microsoft Office используется для получения данных из Word, Excel документов (в основном данные из таблиц), а также необходим модулю формирования отчетов.

Модуль формирования отчетов и данных для расчетов предназначен для подготовки готовых шаблонов для отчетов и данных для экспорта в специализированные расчетные программы (формируется файл исходных данных для конкретной программы).

На данный момент создана база данных и реализовано приложение с начальным функционалом: загрузка данных (векторные слои и растры) с разными проекциями, выделение и редактирование области на слое, работа с метками и надписями.

Заключение

Для оценки состояния протяженных линейных систем создана структурированная база данных и структурированное приложение на языке C++, обеспечивающее информационную поддержку функциональ-

но различных модулей ГИС, позволяющее оперативно оценивать отклонение от проектного положения магистральных трубопроводов, обусловленное влиянием термораста, и нарушение охранной зоны.

Сокращения

ЧС – чрезвычайные ситуации
ПТС – протяженные технические системы
БД – база данных

Список литературы

1. Джаксыкельдинова К. Корпоративная ГИС магистральных газопроводов АО «Интергаз Центральная Азия». – 2008. – http://esri-cis.ru/news/arcview/detail.php?ID=1266&SECTION_ID=36.
2. Корниенко С.Г., Якубсон К.И. Аэрокосмические методы контроля состояния природной среды при разработке и эксплуатации нефтегазовых месторождений криолитозоны // *Фундаментальные проблемы разработки месторождений нефти и газа: сб. ст. Всеросс. конф. (Москва, 15–18 нояб. 2011 г.)*. – М.: ИПНГ РАН, 2000. – С. 125–128.
3. Павлов С.Г. Разработка технологии оценки геоэкологической безопасности газопроводов в условиях возникновения аварийных ситуаций: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2009. – 24 с.
4. Семякин Б.Н. Разработка информационного обеспечения для решения задач управления технологическим риском в газовой промышленности с использованием геоинформационных технологий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Иркутск, 2009. – 14 с.
5. Стручкова Г.П., Капитонова Т.А., Ефремов П.В., Тарская Л.Е. Использование аэровизуального обследования для оценки геологических рисков нефтегазопроводов Севера // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2014. – № 9. – С. 38–41. – www.rae.ru/upfs/?section=content&op=show_article&article_id=5784.

УДК 556.535.8

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАЛЫХ РЕК В БАСЕЙНАХ С РАЗЛИЧНЫМИ СИСТЕМАМИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ)

Суханова М.П.

*Национальный исследовательский университет «Белгородский государственный университет»,
Белгород, e-mail: mariel0313@yandex.ru*

Рассмотрены особенности химического состава вод в малых реках Белгородской области, отличающихся реализуемой в пределах их бассейнов хозяйственной деятельностью: рр. Везелка, Осколец, Халань. Анализ проводился по совокупности 10 гидрохимических показателей. Методом кластерного анализа выявлены пространственные различия химического состава воды рек этих бассейнов. На основе анализа территориальной структуры бассейнов рек выделены каскадные системы, соответствующие участкам с различной степенью экологической напряженности / благополучия (защищенности). Пространственная организация рек как каскадных гидрохимических систем является реакцией на антропогенную трансформацию участков водосбора и должна быть учтена при планировании мониторинговых исследований и эколого-реабилитационных мероприятий.

Ключевые слова: малые реки, городской ландшафт, горнопромышленная зона, агроландшафт, гидрохимические каскадные системы, пространственная изменчивость, кластерный анализ, экологическая напряженность, экологическая защищенность

THE ANALYSIS OF THE SPATIAL REGULARITIES OF THE SMALL RIVERS HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS VARIABILITY IN BASINS WITH VARIOUS SYSTEMS OF THE NATURAL MANAGEMENT (ON EXAMPLE BELGOROD REGION)

Sukhanova M.P.

*The National Research University «The Belgorod state University», Belgorod,
e-mail: mariel0313@yandex.ru*

The features of the chemical water composition in the Belgorod region small rivers are considered. These rivers differ in economic activities which take place within their basins: rivers Veselka, Oskolez, Halan. The analysis was carried out according to 10 hydrochemical parameters. The cluster analysis revealed spatial differences of the water chemical composition in these basins. Based on the territorial structure of the rivers basins the cascade systems are identified which are corresponding to the areas with different degree of environmental stress / well-being (security). The spatial rivers organization as cascading hydrochemical systems is a response to anthropogenic transformation of the catchment areas and should be taken into account by the monitoring research and environmental rehabilitation.

Keywords: small rivers, urban landscape, agricultural landscapes, agrolandscape, hydrochemical cascading systems, spatial variation, cluster analysis, environmental tension, environmental protection

Возрастание темпов антропогенного воздействия на природные геосистемы, сопровождающегося введением в биохимические миграционные циклы и трофические цепи элементов в количествах и соотношениях, не соответствующих сложившемуся «геохимическому гомеостазу», приводит к быстрой трансформации эколого-геохимических факторов среды [1]. Согласно бассейновой структуре организации ландшафтов значительная часть химических веществ с территории водосбора поступает в конечные водоемы стока. Гидрохимические характеристики потоковых структур поверхностного и в конечном итоге речного стока, отражают, таким образом, геохимические особенности водосборных тер-

риторий. Это обуславливает актуальность исследования пространственной динамики гидрохимических показателей качества вод [4; 6]. Даже на протяжении сравнительно небольших бассейнов малых рек заметны существенные пространственные различия химического состава вод [5]. Речные воды представляют собой сложную динамическую среду, состав которой отражает условия формирования и протекания природно-антропогенных процессов, происходящий в бассейне реки [3]. Один из способов оценки этого воздействия – анализ пространственных особенностей набора гидрохимических параметров, выступающих в качестве индикаторов здоровья речной экосистемы.

Цель данного исследования – выявление пространственных различий гидрохимических характеристик малых рек, сток которых формируется в бассейнах с различными типами (системами) природопользования.

Материалы и методы исследования

Территория Белгородской области отличается разнообразием природно-антропогенных ландшафтов, в условиях которых реализуются различные системы природопользования. С учётом региональной специфики, площади распространения и важности для формирования речного стока наибольшее значение имеют системы сельскохозяйственного, промышленного и селитебного природопользования. В качестве объектов на предмет исследования гидрохимических характеристик речных вод и их пространственных различий нами были выбраны малые реки трех бассейнов Белгородской области, отличающиеся преобладанием одного типа природопользования и соответствующих ему ландшафтов: селитебных сельских и городских (бассейн р. Везелка), горнопромышленной зоны (бассейн р. Осколец) и агроландшафтов (бассейн р. Халань).

Р. Везелка (длина 26,7 км, площадь бассейна 407,7 км²) протекает в Белгородском районе Белгородской области, является правым притоком р. Северский Донец (Донской бассейн). В р. Везелка, на всем протяжении испытывающей влияние населенных пунктов, были выделены 19 точек пробоотбора, включая фоновый объект – родник в с. Пушкарное Белгородского района. Местоположения створов были обоснованы путем анализа геоэкологической ситуации в ее бассейне, а также с учетом антропогенных модификаций ее русла, произведенных в начале 1980-х годов, когда в его городском отрезке были произведены гидротехнические работы. В результате русло представляет собой каскад расширений с замедленным водообменом. Эти расширения играют противопаводковую роль, а также принимают поверхностный сток с городской части бассейна, способствуют осаждению взвешенных частиц, т.е. представляют собой природно-антропогенные очистные сооружения. На рис. 1, а представлена карта части бассейна р. Везелка с обозначением участков пробоотбора. Городской участок реки с каскадом искусственных расширений и расположенными после каждого из них створами отображен отдельной врезкой (рис. 1, б).

Р. Осколец (длина 44,8 км, площадь водосборного бассейна 520,4 км²) протекает по территории Губкинского городского округа, Старооскольского района и города Старый Оскол в Белгородской области, является правым притоком р. Оскол (Донской бассейн). Геоэкологическая ситуация в бассейне р. Осколец определяется совокупностью антропогенного преобразования территории, определяемого различными системами природопользования, преимущественно селитебного и горнопромышленного. Основная проблема связана прежде всего с влиянием горнодобывающей промышленности в Губкинском и Старооскольском районах. В пределах водосбора р. Осколец находятся два крупных железорудных карьера – Лебединского и Стойленского ГОКов, известных на всю страну своей производительностью. По результатам анализа геоэкологической ситуации в бассейне реки были выбраны местоположения створов для отбора проб воды с целью последующего гидрохимического

анализа. На рис. 1, в представлена карта части бассейна р. Осколец с обозначением участков пробоотбора. Было выделено 14 створов, включая фоновый объект – родник в с. Петровка.

Р. Халань (длина реки 34,5 км, площадь водосборного бассейна 286,5 км²) протекает в Корочанском и Чернянском районах Белгородской области, является правым притоком р. Оскол (Донской бассейн). Антропогенное влияние на качество воды р. Халань связано в первую очередь с сельскохозяйственной деятельностью в ее бассейне. Река протекает преимущественно по аграрной территории – большую часть ее бассейна занимают сельскохозяйственные угодья. На рис. 1, г представлена карта части бассейна р. Халань с обозначением участков пробоотбора. Было выделено 9 створов. Их местоположения обусловлены результатами анализа геоэкологической обстановки в бассейне реки: створы выбраны в соответствии с нахождением населенных пунктов, а также приурочены к участкам, расположенным на «выходах» из прудов (створы X2 и X4) и после впадения притоков в р. Халань (створы X3 и X8). В качестве фонового объекта был взят родник в районе сёл Прилепы и Ковылено.

В августе 2011 г. и августе 2012 г. были проведены гидрохимические анализы трех исследуемых малых рек. При выборе гидрохимических характеристик рек предпочтение отдавали общим показателям. В качестве гидрохимических индикаторов были выбраны следующие показатели качества воды (с указанием методов их определения): водородный показатель рН, окислительно-восстановительный потенциал Eh, ион аммония (NH₄⁺) – потенциметрическим методом с помощью анализатора «ЭКОТЕСТ-120»), растворенный кислород – амперметрическим методом с использованием анализатора «ЭКОТЕСТ-2000»; общая минерализация – кондуктометрическим методом с помощью анализатора WTW Cond 3110; перманганатная окисляемость – титриметрическим методом; тяжелые металлы (Pb, Zn, Cu) – вольтамперметрическим методом с помощью полярографа АВС-1.1; железо общее (Fe_{общ}) – спектрофотометрическим методом на спектрофотометре UNICO 2804.

В день пробоотбора проводился анализ воды на рН, Eh, минерализацию, содержание растворенного кислорода, азота аммонийного. Измерения окисляемости проводились на второй день после отбора проб в лабораторных условиях. Для вольтамперметрического (на определение содержания свинца, меди и цинка) и спектрофотометрического анализа (на определение содержания железа общего) пробы воды консервировались добавлением концентрированной азотной кислоты (2:500 мл).

Картирование фрагментов бассейнов рек с обозначением точек пробоотбора осуществлялось с использованием компьютерной программы MapInfo Professional 10.0.1.

Для выявления пространственных различий гидрохимических характеристик рек использовали кластерный анализ (программа STATISTICA 6.0). Для более четкого выделения кластеров использовали метод Уорда, который позволяет «расширять» признаковое пространство [2]. В качестве меры различий использовали Евклидово расстояние.

В таблице представлены данные гидрохимических наблюдений трех исследуемых бассейнов рек по определяемым показателям качества.

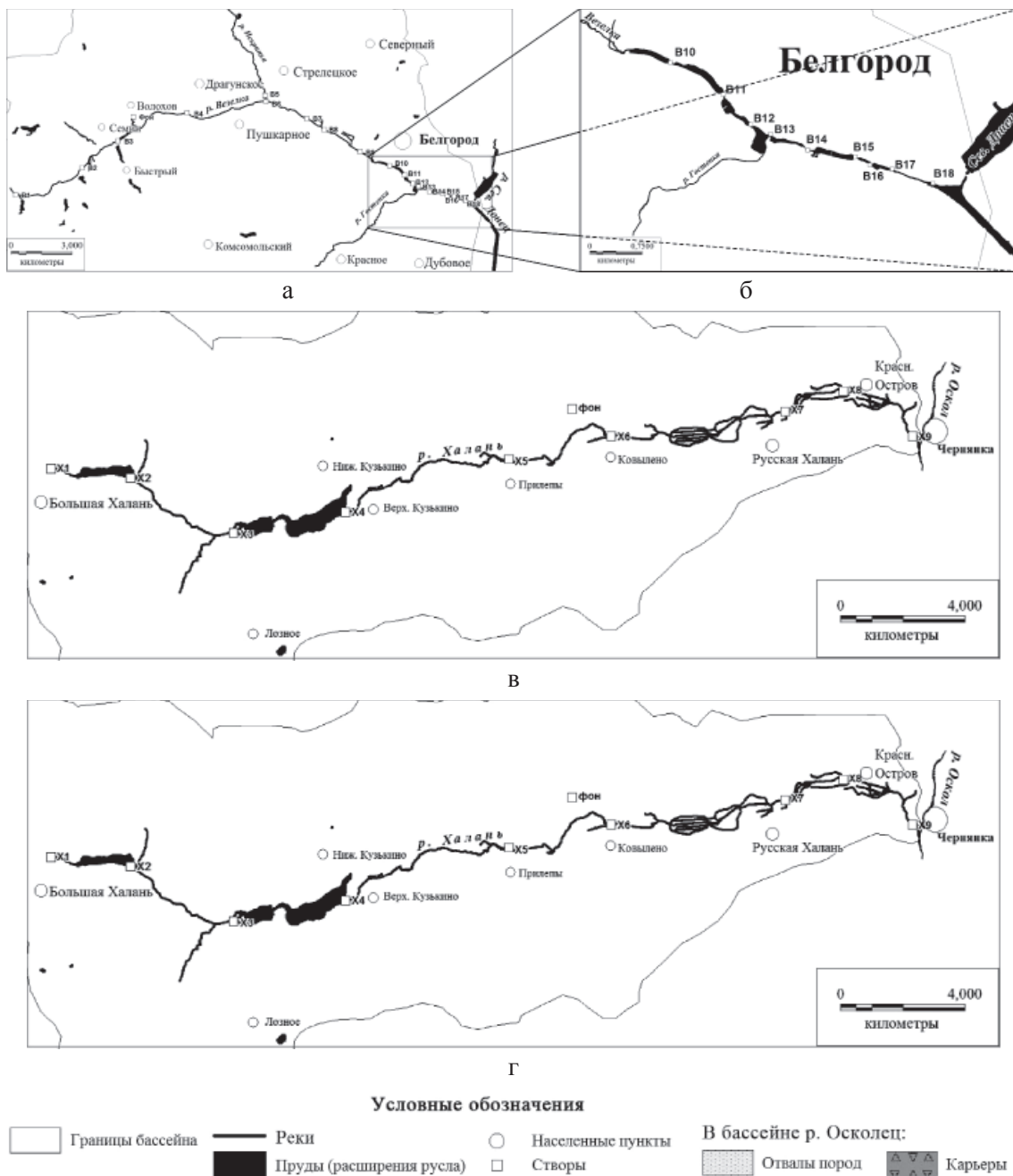


Рис. 1. Части бассейнов рр. Везелка (а) и ее городского участка (б), Осколец (в), Халань (г) с обозначением расположения контрольных створов – участков пробоотбора воды

Результаты исследования и их обсуждение

Для пространственного анализа гидрохимических показателей в реках целесообразно определить общность характеристик последовательности контрольных створов как замыкающих элементов каскадных систем водосбора. Выделение большого количества контрольных ство-

ров позволило выявить пространственные различия гидрохимических характеристик участков рр. Везелка, Осколец и Халань. Методом кластерного анализа были обработаны данные гидрохимических исследований за два периода наблюдений: август 2011 г. и август 2012 г.

На рис. 2 представлен результат кластерного анализа массива гидрохимических данных для р. Везелка.

Гидрохимические показатели качества рр. Везелка, Осколец, Халань
за два периода наблюдений (август 2011 г. и август 2012 г.)

| Обозначение створа | рН, ед. | | Еh, мВ | Растворенный кислород, мг/л | | Минерализация, мг/л | | Ион аммония, мг/л | | Окисляемость, мг/л О | | Тяжелые металлы, мг/л | | | | | | | |
|--------------------|---------|------|--------|-----------------------------|------|---------------------|------|-------------------|-------|----------------------|------|-----------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 2011 | 2012 | | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 | Железо общ. | | Медь | | Свинец | | Цинк | |
| | | | 2011 | | | | | | | | | 2012 | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 | 2011 |
| р. Везелка | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| V1 | 7,44 | 7 | 215 | 1,8 | 1 | 916 | 907 | 0,049 | 0,025 | 3,54 | 3,30 | 0,053 | 0,053 | 0,0052 | 0,0181 | 0,0073 | 0,0054 | 0,0015 | 0 |
| V2 | 7,75 | 7,43 | 238 | 2 | 1,15 | 1065 | 1065 | 0,059 | 0,036 | 11,19 | 8,94 | 0,397 | 0,38 | 0,0066 | 0,0201 | 0,0064 | 0,0045 | 0 | 0 |
| V3 | 7,56 | 7,91 | 223 | 5,65 | 5,6 | 1088 | 1091 | 0,063 | 0,028 | 9,26 | 8,46 | 0,331 | 0,238 | 0,0107 | 0,0325 | 0,0069 | 0,0059 | 0 | 0 |
| Фон | 7,8 | 6,98 | 257 | 2,54 | 1,83 | 829 | 862 | 0 | 0 | 2,90 | 8,62 | 0,003 | 0 | 0,005 | 0,0206 | 0,0058 | 0,0072 | 0,0005 | 0 |
| V4 | 8,31 | 8,02 | 237 | 3,6 | 8,87 | 1031 | 1088 | 0,073 | 0,029 | 5,40 | 7,33 | 0,543 | 0,395 | 0,0651 | 0,0395 | 0,0094 | 0,0075 | 0 | 0,0082 |
| V5 | 8,05 | 8,03 | 243 | 8,82 | 3,75 | 887 | 825 | 0,020 | 0,034 | 5,56 | 2,66 | 0,153 | 0,102 | 0,1162 | 0,0270 | 0,0084 | 0,0058 | 0,0162 | 0 |
| V6 | – | 8,11 | 235 | – | 6,43 | – | 954 | – | 0,027 | – | 4,75 | – | 0,443 | – | 0,0318 | – | 0,0075 | 0 | – |
| V7 | 8,65 | 8 | 241 | 5,72 | 3,75 | 904 | 942 | 0,069 | 0 | 4,75 | 5,56 | 0,167 | 0,111 | 0,0082 | 0,0225 | 0,0062 | 0,004 | 0,0032 | 0 |
| V8 | 8,32 | 8,24 | 252 | 5,32 | 6,92 | 904 | 941 | 0,009 | 0 | 3,70 | 5,07 | 0,201 | 0,1 | 0,0033 | 0,0087 | 0,0051 | 0,0026 | 0 | 0 |
| V9 | 8,5 | 8,07 | 261 | 5 | 7,75 | 907 | 950 | 0,009 | 0,018 | 5,15 | 5,48 | 0,127 | 0,1 | 0,0071 | 0,0108 | 0,0082 | 0,003 | 0 | 0,0080 |
| V10 | 8,34 | 8,13 | 237 | 8,71 | 6,7 | 836 | 938 | 0,078 | 0,046 | 8,62 | 8,54 | 0,177 | 0,431 | 0,007 | 0,0002 | 0,0074 | 0,0019 | 0 | 0,0323 |
| V11 | 8,18 | 7,75 | 258 | 8,16 | 5,1 | 745 | 848 | 0,02 | 0 | 9,10 | 8,94 | 0,114 | 0,132 | 0,0202 | 0,0036 | 0,0079 | 0,0019 | 0,0505 | 0,0015 |
| V12 | 8,15 | 7,94 | 259 | 5,96 | 4,9 | 693 | 683 | 0,016 | 0 | 6,77 | 7,01 | 0,11 | 0,108 | 0,0036 | 0,0177 | 0,0057 | 0,0043 | 0,0109 | 0,0303 |
| V13 | 8,63 | 8,05 | 248 | 9,54 | 7,14 | 703 | 637 | 0,04 | 0,027 | 5,32 | 7,09 | 0,132 | 0,143 | 0,0023 | 0,0194 | 0,0057 | 0,0053 | 0 | 0,0049 |
| V14 | 8,9 | 8,43 | 240 | 9,9 | 8,22 | 739 | 640 | 0,08 | 0,151 | 7,65 | 6,52 | 0,192 | 0,14 | 0,0032 | 0,0057 | 0,0055 | 0,0018 | 0 | 0,0057 |
| V15 | 8,63 | 8 | 238 | 8,53 | 7,51 | 761 | 604 | 0,32 | 0,237 | 9,18 | 8,13 | 0,266 | 0,17 | 0,0107 | 0,0056 | 0,0057 | 0,0047 | 0 | 0,0322 |
| V16 | 8,46 | 8,37 | 250 | 7,97 | 9,78 | 775 | 605 | 0,56 | 0,469 | 6,36 | 8,86 | 0,311 | 0,242 | 0,036 | 0,0033 | 0,0059 | 0,0026 | 0 | 0 |
| V17 | 8,6 | 7,8 | 240 | 8,79 | 4,94 | 792 | 599 | 0,401 | 0,413 | 9,83 | 8,62 | 0,302 | 0,15 | 0,1558 | 0,0033 | 0,0157 | 0,0038 | 0,1922 | 0 |
| V18 | 8,27 | 8,22 | 242 | 4,53 | 7,91 | 781 | 686 | 0,431 | 0,420 | 10,15 | 6,77 | 0,245 | 0,227 | 0,0346 | 0,0045 | 0,0083 | 0,0039 | 0 | 0 |
| р. Осколец | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Фон | – | 7,13 | 295 | – | 3,49 | – | 775 | – | 0 | – | 1,37 | – | 0,072 | – | 0,0067 | – | 0,0223 | – | 0,0147 |
| O1 | 7,27 | 7,18 | 297 | 3,1 | 3,23 | 773 | 745 | 0,6 | 0,033 | 2,90 | 2,01 | 0,132 | 0,522 | 0,01 | 0,0058 | 0,005 | 0,0082 | 0,1312 | 0 |
| O2 | 7,67 | 7,89 | 261 | 4,34 | 4,5 | 812 | 782 | 0,012 | 0,037 | 9,58 | 7,41 | 0,239 | 0,228 | 0,0072 | 0,0021 | 0,0107 | 0,0043 | 0,0193 | 0 |
| O3 | 7,3 | 7,55 | 261 | 4,5 | 2,15 | 681 | 504 | 0,04 | 0,065 | 11,11 | 7,33 | 0,403 | 0,176 | 0,0078 | 0,0076 | 0,0118 | 0,0182 | 0,0823 | 0 |
| O4 | 8,13 | 7,93 | 260 | 4,9 | 5,18 | 725 | 715 | 0,014 | 0,032 | 4,19 | 2,82 | 0,18 | 0,295 | 0,0203 | 0,0088 | 0,0099 | 0,0124 | 0,0725 | 0 |
| O5 | 7,86 | 7,95 | 113 | 6,32 | 6,02 | 662 | 653 | 0,072 | 0,067 | 7,17 | 4,11 | 0,154 | 0,083 | 0,0169 | 0,0062 | 0,0063 | 0,0229 | 0,1965 | 0,0345 |
| O6 | 7,62 | 7,92 | 240 | 4,24 | 5,63 | 726 | 833 | 0,041 | 0,003 | 6,77 | 6,28 | 0,355 | 0,292 | 0,0188 | 0,0065 | 0,0207 | 0,0166 | 0,1032 | 0,1062 |
| O7 | 7,6 | 7,65 | 241 | 4,16 | 3,75 | 853 | 888 | 0,025 | 0,018 | 6,20 | 2,82 | 0,308 | 0,163 | 0,0101 | 0,0051 | 0 | 0,0148 | 0 | 0,0054 |
| O8 | 7,54 | 8,01 | 246 | 6,92 | 6,89 | 887 | 890 | 0,029 | 0,065 | 6,36 | 2,50 | 0,225 | 0,13 | 0,0104 | 0,0039 | 0 | 0,0074 | 0,0018 | 0,0184 |
| O9 | 7,05 | 7,96 | 263 | 5,54 | 5,51 | 898 | 893 | 0,028 | 0,007 | 5,80 | 2,90 | 0,247 | 0,145 | 0,0165 | 0,0061 | 0,0282 | 0,0285 | 0,1367 | 0,0048 |
| O10 | 7,6 | 7,87 | 250 | 4,8 | 5,35 | 847 | 896 | 0,065 | 0,053 | 8,30 | 3,30 | 0,104 | 0,13 | 0,0063 | 0,0052 | 0 | 0,0102 | 0 | 0 |
| O11 | 9,67 | 8,27 | 234 | 17,5 | 8,82 | 664 | 803 | 0,02 | 0,054 | 6,36 | 6,60 | 0,078 | 0,106 | 0,0101 | 0,0052 | 0,0027 | 0,0245 | 0,0664 | 0,0201 |
| O12 | 8,92 | 7,85 | 253 | 12,38 | 8,07 | 663 | 775 | 0,015 | 0,03 | 7,09 | 6,12 | 0,181 | 0,127 | 0,0099 | 0,0057 | 0,0069 | 0,0113 | 0,0958 | 0,0236 |
| O13 | 7,7 | 7,55 | 250 | 4,9 | 4,15 | 672 | 632 | 0,03 | 0,046 | 6,68 | 4,83 | 0,162 | 0,126 | 0,0139 | 0,0074 | 0,0117 | 0,0292 | 0,0573 | 0,0315 |
| р. Халань | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X1 | 7,67 | 7,05 | 162 | 3,4 | 6,06 | 696 | 691 | 0,005 | 0,008 | 2,09 | 1,21 | 0 | 0,031 | 0,0149 | 0,0122 | 0,0074 | 0,0024 | 0,0304 | 0 |
| X2 | 8,41 | 7,47 | 108 | 3,4 | 2,05 | 618 | 689 | 0,032 | 0,041 | 6,20 | 5,48 | 0,497 | 0,554 | 0,0059 | 0,0276 | 0,0104 | 0,0056 | 0,0024 | 0,0047 |
| X3 | 7,17 | 7,41 | 265 | 3,9 | 6,6 | 793 | 777 | 0,063 | 0,015 | 3,06 | 3,46 | 0,166 | 0,237 | 0 | 0,0265 | 0,0036 | 0,0054 | 0,0505 | 0 |
| X4 | 8,18 | 7,78 | 243 | 3,51 | 6,18 | 520 | 477 | 0,012 | 0,023 | 5,88 | 7,49 | 0,98 | 0,471 | 0 | 0,0034 | 0,008 | 0,0066 | 0 | 0 |
| X5 | 8,33 | 7,61 | 272 | 10,84 | 7,73 | 725 | 770 | 0,001 | 0,004 | 6,20 | 6,04 | 0,728 | 0,529 | 0 | 0,0106 | 0,0054 | 0,0047 | 0 | 0 |
| X6 | 8,8 | 7,87 | 243 | 10,2 | 7,91 | 761 | 816 | 0,013 | 0,035 | 7,73 | 6,28 | 0,65 | 0,161 | 0,0314 | 0,0084 | 0,0089 | 0,0031 | 0 | 0 |
| X7 | 8,76 | 8,02 | 270 | 7,5 | 6,79 | 773 | 824 | 0,048 | 0,022 | 6,68 | 6,28 | 0,403 | 0,171 | 0,0077 | 0,0351 | 0,0056 | 0,007 | 0 | 0,0023 |
| X8 | 8,73 | 8,08 | 280 | 7,05 | 6,77 | 771 | 826 | 0,068 | 0,035 | 7,01 | 6,28 | 0,235 | 0,162 | 0,013 | 0,0319 | 0,0049 | 0,0052 | 0,0051 | 0 |
| X9 | 9 | 7,97 | 295 | 6,16 | 6,22 | 772 | 829 | 0,089 | 0,03 | 6,93 | 5,96 | 0,231 | 0,193 | 0,0739 | 0,0211 | 0,0091 | 0,0057 | 0 | 0 |
| Фон | – | 7,14 | –8,2 | – | 4,16 | – | 739 | – | 0 | – | 1,13 | – | 0,027 | – | 0,0113 | – | 0,0041 | – | 0,0133 |

Примечание. «–» – нет данных.

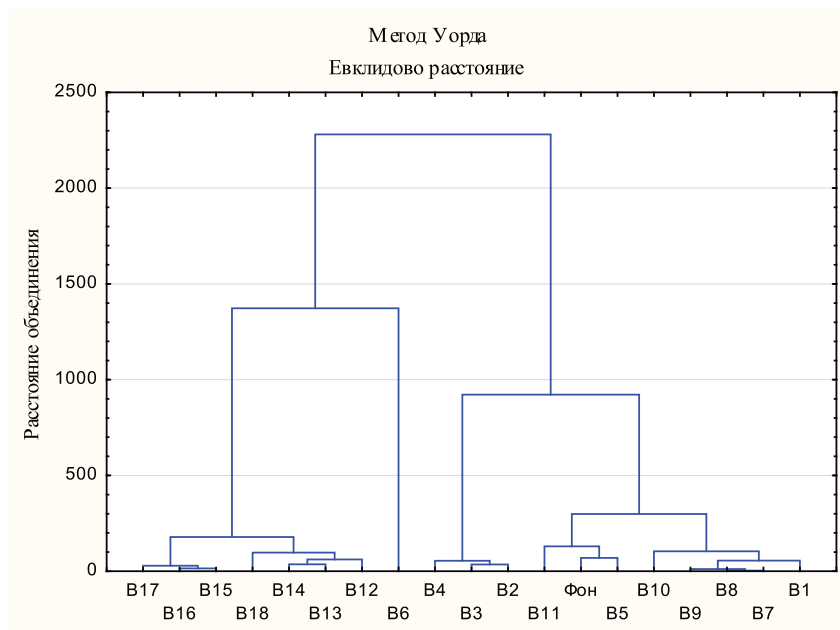


Рис. 2. Результат кластер-анализа массивов гидрохимических данных, сгруппированных по точкам отбора проб (р. Везелка)

По результатам кластерного анализа на р. Везелка четко можно выделить 3 каскадные системы, различающиеся гидрохимическими показателями:

1) начальная, соответствующая участку бассейна с сельским типом расселения (створы B2-B4);

2) средняя, с преимущественно пригородным типом расселения (створы B7-B11, а также B1, B5 и фон);

3) приустьевая, с городским типом застройки (створы B12-B18).

Створ B6 расположен на русле р. Везелка сразу после впадения в нее относительно крупного притока – р. Искринка, протекающей с севера на юг в северной части бассейна. По результатам кластерного анализа данный створ вынесен в отдельный гидрохимический участок.

Выделенные три каскадные системы можно отнести к «сельской», «пригородной» и «городской» гидрохимическим системам соответственно. Различия по совокупности гидрохимических показателей могут быть связаны с характером застройки территории бассейна («сельский», «пригородный» и «городской» тип) и, как следствие, с характером использования территории и антропогенного воздействия на водосбор. При этом наиболее значимые различия наблюдаются между приустьевой каскадной системой и объединенными на-

чальной и средней системами. Эти отличия могут быть связаны также с тем, что при переходе из средней в приустьевую систему водосбора русло реки существенно преобразовано и в «городском» типе застройки представлено каскадом техногенных водоемов – расширений и углублений русла (рис. 1, б). Такая неоднородная морфология русла определяет неравномерную скорость течения реки и, как следствие, различия в процессах трансформации гидрохимических компонентов.

Следует указать, что к средней каскадной системе оказались близки створы B1, расположенный у истока р. Везелка, B5 – створ на р. Искринка перед ее впадением в р. Везелка и фоновый объект – родник. В действительности участки бассейна с расположением на них данных створов сложно отнести к «сельскому» или к «городскому» типам использования территории. Участок реки со створом B1, являющийся начальным и расположенный в верховьях р. Везелка, как и фоновый объект, представлены родниковой водой и не испытывают существенного влияния поверхностного стока с территории сельской местности, в пределах которой они расположены. Но при этом по определенным гидрохимическим характеристикам вода данных участков реки близка к речной воде «пригородной» каскадной системы, к которой относится

и створ В5, расположенный на р. Искринка, в своем нижнем течении протекающей в условиях пригородной застройки. Исходя из этого, можно сделать вывод, что после слияния рр. Везелка и Искринка средняя, или «пригородная», каскадная система водосбора по своим гидрохимическим характеристикам близка к фоновым значениям, сохраняющимся вплоть до «городской» каскадной системы.

Результаты кластерного анализа по гидрохимическим характеристикам р. Везелка позволяют разделить бассейн по степени экологической напряженности на три зоны. К первой, с относительно благоприятной экологической ситуацией, относится средняя, или «пригородная», каскадная гидрохимическая система. Ее формируют такие показатели, как средний уровень минерализации (близкий к фоновому), относительно низкие содержания иона аммония и тяжелых металлов, в том числе железа общего, а также невысокие значения окисляемости. Ко второй зоне – со средней экологической напряженностью – относится начальная, или «сельская» каскадная система. От первой ее отличают более высокие значения тех же самых показателей качества, за исключением окисляемости, а также пониженное содержание растворенного кислорода, по

сравнению с двумя другими каскадными системами. К третьей зоне – с высокой экологической напряженностью – относится приустьевая, или «городская», гидрохимическая система водосбора реки. Ее формируют высокие показатели рН, повышенное содержание иона аммония и железа общего, особенно в 2011 году (таблица).

Гидрохимические особенности функционирования р. Везелка обусловлены как влиянием естественных угодий и агроландшафтов (на начальном отрезке течения), так и ее городским статусом (в приустьевой части) на значительной протяженности ее водосбора. Эколого-гидрохимические проблемы реки связаны, прежде всего, с сильной техногенной нагрузкой на водосбор в пределах городской агломерации. С одной стороны, каскад искусственных водоемов выполняет функцию первичных отстойников, в которых происходит осаждение взвешенных и коллоидных веществ, попадающих в реку с водосбора. Однако, с другой стороны, донные отложения таких водоемов являются потенциальными источниками вторичного загрязнения реки.

На рис. 3 представлен результат кластерного анализа массива гидрохимических данных для р. Осколец.

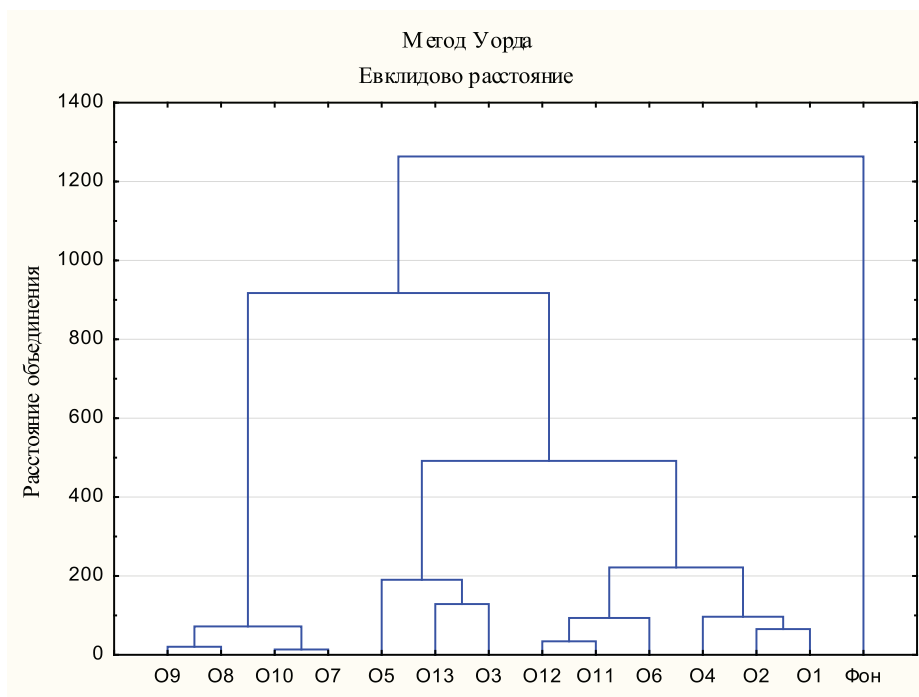


Рис. 3. Результаты кластер-анализа массивов гидрохимических данных, сгруппированных по точкам отбора проб (р. Осколец)

На р. Осколец отчетливо выделяется каскадная гидрохимическая система – участок реки, объединяемый створами О7-О10 и подверженный стоку, формируемому горнодобывающими комплексами Лебединского и Стойленского ГОКов. Данный участок бассейна можно условно отнести к «горнопромышленной» гидрохимической системе. Остальные выделенные кластеры представлены каскадными системами, располагающимися на различных по характеру использования участках бассейна. Объединение их в группы объясняется сходной реакцией речной системы на геоэкологическую ситуацию.

Один из кластеров образован отдельно лежащими друг от друга створами: О3, расположенном на «выходе» из крупного пруда в с. Осколец; О5, расположенном на русле реки на границе городской (г. Губкин) и сельской (пос. Салтыково) местностей; О13 – устье р. Осколец в его месте впадения в р. Оскол в сельской местности на окраине г. Старый Оскол (рис. 1, в). Общими для этих трех участков является близость сельской и городской (створы О5 и О13) местностей, что могло послужить основным критерием их объединения в один кластер, характеризующийся селитебным характером природопользования.

Ещё один кластер, представленный остальными шестью створами, можно разделить еще на две подгруппы: первая (створы О1, О2 и О4) начальный участок бассейна р. Осколец – расположена в сельской местности (сс. Петровки, Осколец и Кандаурово, соответственно) – определим ее как «сельская» подсистема; вторая (створы О6, О11 и О12) расположена в городской местности (г. Губкин – створ О6, г. Старый Оскол – О11 и О12) – «городская» гидрохимическая подсистема. Последние два створа второй подсистемы являются «выходами» из двух крупных городских прудов, в которых происходит отстаивание и, соответственно, частичное очищение речной воды. Участок реки со створом О6 «городской» подсистемы располагается в условиях промышленной застройки г. Губкин, однако непосредственно русло реки в данном месте находится в условиях естественной растительности на достаточно широкой территории, что могло активизировать естественные процессы самоочищения. Таким образом, «городскую» каскадную подсистему

можно отнести к территории бассейна с относительной экологической защищенностью. Ее формируют довольно высокие содержания растворенного кислорода, пониженная минерализация (особенно в 2011 году), невысокие концентрации тяжелых металлов (за исключением железа общего в створе О6 в 2011 году, где оно превышает ПДК). На втором месте по данному критерию – «сельская» каскадная гидрохимическая подсистема. От «городской» ее отличают более низкие содержания растворенного кислорода и более высокая минерализация; в отношении тяжелых металлов похожая ситуация: в одном створе (О1, 2012 г.) наблюдается повышенная концентрация железа общего, многократно превышающая ПДК; кроме того, данный створ формируют относительно низкие содержания иона аммония и в целом более низкая окисляемость (за исключением створа О2) (таблица).

«Сельско-городская» система (со створами О3, О5, О13) относится к территории со средней экологической напряженностью. Она отличается более высокими показателями содержания иона аммония, а также превышением ПДК по железу общему в створе О3 (2011 г.). Наконец, «горнопромышленная» система характеризуется высокой экологической напряженностью. Ее формируют более высокая минерализация, в сравнении с остальными системами, хотя концентрации тяжелых металлов существенных отличий от других зон не имеют (содержание железа общего в целом повышено в каждой из каскадных систем с превышением ПДК в отдельных створах) (таблица).

Степень загрязнения р. Осколец по разным показателям может иметь неоднозначную оценку. Это связано со спецификой антропогенного воздействия в бассейне реки, которое включает в себя и сельскохозяйственную составляющую, и влияние городской среды (г. Губкин и Старый Оскол), и негативное воздействие горнопромышленной деятельности. Однако если влияние агроландшафтов проявляется преимущественно на начальном отрезке течения реки, а воздействие ГОКов – на всем остальном протяжении реки, то селитебный ландшафт в данном случае способствует снижению концентрации примесей.

На рис. 4 представлен результат кластерного анализа массива гидрохимических данных для р. Халань.

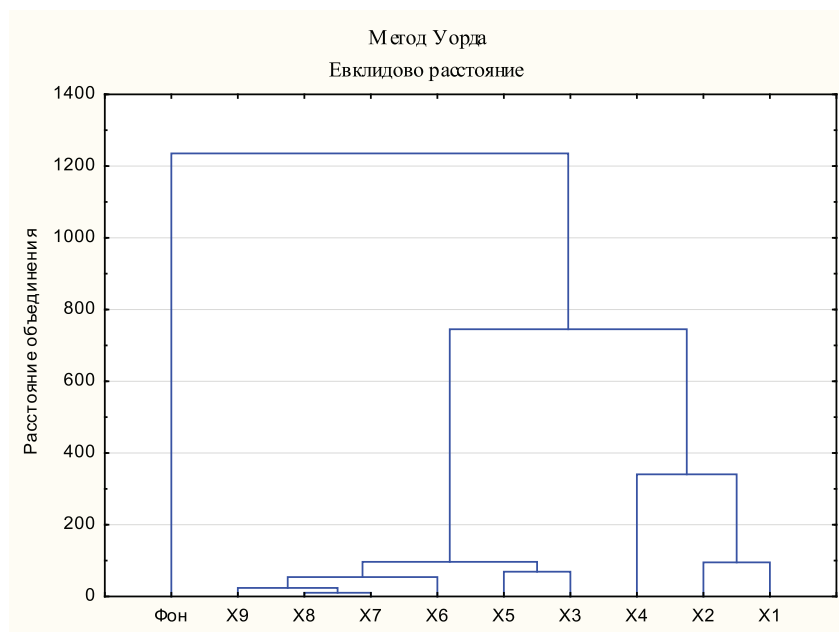


Рис. 4. Результаты кластер-анализа массивов гидрохимических данных, сгруппированных по точкам отбора проб (р. Халань)

В бассейне р. Халань по результатам кластерного анализа можно выделить как минимум три каскадные гидрохимические системы:

- 1) начальная (створы X1, X2 и X4);
- 2) средняя, разделенная двумя створами: X3 и X5;
- 3) приустьевая (створы X6-X9).

Поскольку р. Халань практически на всем своем протяжении протекает в условиях сельской местности и в ее бассейне реализована исключительно сельскохозяйственная деятельность, то выделенные каскадные системы нельзя разделить на «сельские» и «городские» – они представлены лишь сельским типом, а отличия между ними могут быть обусловлены геоэкологическими характеристиками и особенностями использования различных участков реки.

Начальная гидрохимическая система соответствует верхьям р. Халань (створы X1 и X2). Исток реки расположен в условиях относительной экологической защищенности: болотистая местность, по которой протекает начальный отрезок реки, является естественным фильтром, частично очищающим от примесей поверхностный сток с территории сельскохозяйственных угодий, заполняющих более половины площади всего бассейна. Далее данный участок реки переходит в расширение русла – пруд

в с. Большая Халань, в котором действуют физические процессы самоочищения реки. В данную гидрохимическую систему попадает также и участок реки со створом X4, который объединен с первыми двумя на довольно большом расстоянии объединения (рис. 4). Створ X4, как и створ X2, также является «выходом» из пруда, что могло повлиять на сходство гидрохимических характеристик. Отличают данный участок реки высокие концентрации железа общего, многократно превышающие ПДК (таблица).

Средняя гидрохимическая система представлена двумя отдельно лежащими друг от друга участками бассейна р. Халань: первый из них (участок реки со створом X3) расположен в условиях заболоченности после впадения в р. Халань небольшого правого притока, также протекающего по заболоченной местности; второй участок расположен в сельской местности после прохождения реки по большой по протяженности болотистой местности. При этом данная система характеризуется нестабильной геоэкологической обстановкой в отношении гидрохимических параметров. В частности, участок реки со створом X5 отличается низкими концентрациями иона аммония и минерализации, но высоким содержанием ионов железа общего, многократно превышающим ПДК (таблица).

Приустьевая каскадная гидрохимическая система соответствует участку реки, простирающемуся от с. Ковылено до устья р. Халань (до ее впадения в р. Оскол перед пос. Чернянка). Объединяющим гидрохимическим фактором для данной системы является закономерное повышение к устью некоторых показателей, в частности рН, Eh, иона аммония, окисляемости и минерализации вместе с понижением концентрации растворенного кислорода, что в совокупности говорит об ухудшении экологической обстановки в данной части бассейна. Однако при этом здесь отмечается понижение в реке концентрации ионов железа общего до уровня ниже ПДК, что говорит о процессах самоочищения реки от данного тяжелого металла и стабилизации экологической обстановки в отношении данного показателя (таблица).

Среднюю и приустьевую гидрохимические системы в итоге можно объединить в одну (по результатам кластерного анализа они находятся на близком расстоянии объединения (рис. 4)), характеризующуюся нестабильной геоэкологической обстановкой и, соответственно, отнести к территории со средней экологической напряженностью. Эти две системы (средняя и приустьевая) сильно отличаются от начальной, которую, соответственно, можно отнести к территории с относительной экологической защищенностью. Начальную каскадную систему формируют относительно низкие уровни минерализации наряду с повышенными концентрациями железа общего в отдельных створах (таблица).

Эколого-гидрохимическая характеристика р. Халань и результаты кластерного анализа по описанным гидрохимическим параметрам позволяют сделать вывод о том, что данная река, принимая стоки с сельскохозяйственных угодий, расположенных в пределах ее водосбора, в этой связи ухудшает качество воды в своем нижнем течении, судя по возрастанию показателей рН, Eh, иона аммония и окисляемости к устью реки (таблица). Однако загрязнение реки в большей мере обусловлено естественными факторами, связанными прежде всего с заболоченностью большей части поймы, а также с распространением в бассейне серых лесных почв, характеризующихся повышенным содержанием подвижного железа, что в совокупности способствует аномально высоким концентрациям растворенного железа в начальном и среднем течении реки (таблица).

Заключение

Эколого-гидрохимический анализ малых рек трех различных систем природопользования позволил выявить особенности пространственного распределения гидрохимических компонентов. В соответствии с характером антропогенной трансформации водосбора каждой реки, а также с естественными геоэкологическими факторами наблюдаются характерные для отдельного вида природопользования изменения совокупности гидрохимических параметров. Пространственная изменчивость гидрохимических показателей малых рек различных ландшафтов обусловлена комплексным функционированием бассейновых геосистем а также импактным воздействием источников загрязнения горнопромышленных, урбо- и агрогеосистем и формирует информационную основу для разработки эколого-реабилитационных мероприятий в бассейнах малых рек.

Разделение речного русла на гидрохимические каскадные системы позволяет, во-первых, выделить участки рек с различной экологической напряженностью или защищенностью и тем самым уделить особое внимание более уязвимым в экологическом отношении участкам при проектировании эколого-реабилитационных мероприятий; во-вторых, при дальнейшем исследовании пространственных различий гидрохимических характеристик реки выбрать наиболее информативные в данном отношении створы, которыми должны быть, как правило, замыкающие створы каждой из каскадных систем.

Список литературы

1. Елпатьевский П.В. Геохимия миграционных потоков в природно-техногенных геосистемах. – М.: Наука, 1993. – 252 с.
2. Ким Дж.-О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р. и др. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
3. Московченко Д.В., Пуртов В.А., Завьялова И.В. Гидрохимическая характеристика водосборных бассейнов Ханты-Мансийского автономного округа // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. Вып. 8. – Тюмень: ИПСО СО РАН, 2007 – С. 141–148.
4. Парфенова Г.К. Эволюция техногенеза гидрохимических показателей качества вод урбанизированных территорий (на примере бассейна Верхней Оби): автореф. дис. ... д-ра геогр. наук: 25.00.27. – Томск: 2004. – 38 с.
5. Прядко М.П., Голеусов П.В. Особенности трансформации гидрохимического режима функционирования малых городских рек // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 2. – С. 36–40.
6. Рохмистров В.Л. Малые реки Ярославского Поволжья. – Ярославль: Издание ВВО РЭА, 2004. – 54 с.

УДК 622.822

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ УВЛАЖНЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ НА ХИМИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ УГЛЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРОЦЕССОВ САМОВОЗГОРАНИЯ

¹Тимофеева С.С., ²Луговцова Н.Ю.¹ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Иркутск;²Юргинский технологический институт ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Юрга, e-mail: lnyu-70583@bk.ru

Увеличение объемов добычи угля в стране приводит к дополнительным негативным последствиям для окружающей среды. Совершенствование способов предотвращения эндогенных пожаров не может полностью исключить возникновение аварийных ситуаций на горнодобывающих предприятиях. Поэтому целесообразно использовать методы профилактики и раннего обнаружения процессов самовозгорания, а также применять новые способы быстрой ликвидации очагов самовозгорания. Из всех имеющихся методов определения склонности углей к самовозгоранию для проведения исследований был обоснован и выбран метод определения химической активности углей по скорости сорбции кислородом воздуха. В работе проводилось исследование влияния одновременного увлажнения и охлаждения на химическую активность угля. Исследования показали, что снижение температуры угля способно уменьшить скорость сорбции кислорода углем в 3-10 раз, тем самым можно рекомендовать предварительное охлаждение и увлажнение разрыхленных скоплений угля с целью предотвращения развития процессов самовозгорания.

Ключевые слова: процесс самовозгорания, эндогенные пожары, скорость сорбции, теплофизические параметры, химическая активность угля

THE STUDY OF COMPLEX INFLUENCE HUMIDIFICATION AND COOLING ON THE CHEMICAL ACTIVITY OF THE COAL TO PREVENT SPONTANEOUS COMBUSTION PROCESSES

¹Timofeeva S.S., ²Lugovtsova N.Yu.¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk;²Yurga Institute of Technology (branch) of National Research Tomsk Polytechnic University, Yurga, e-mail: lnyu-70583@bk.ru

The increase in coal production in the country leads to additional negative consequences for the environment. Improving ways to prevent endogenous fires can not completely eliminate the occurrence of accidents at mining enterprises. Therefore, it is advisable to use the methods of prevention and early detection of spontaneous combustion processes as well as new ways of rapid elimination of places of self-ignition. Of all the methods for determining the propensity of coal to spontaneous combustion, for research has been justified and chosen method of determining the chemical reactivity of coal sorption speed atmospheric oxygen. In the work was carried out investigation of the effect of simultaneous humidification and cooling on the chemical activity coal. Research has shown that reduction of temperature coal can reduce the rate of sorption of oxygen is 3-10 times, thereby, it is possible to recommend pre-cooling and moistening of coal to prevent the accumulation of spontaneous combustion processes.

Keywords: the process of spontaneous combustion, endogenous fires, the rate of sorption, thermal parameters, chemical activity coal

Добыча угля в России, как шахтным способом, так и в угольных разрезах, постоянно увеличивается. Кузбасс является одним из самых крупных по запасам угля и объемов его добычи бассейнов России и главным поставщиком технологического сырья для российской промышленности. На сегодняшний день запасы коксующихся углей Кузбасса составляют 73% от общего объема запаса этих углей освоенных угольных бассейнов России, и более 80% коксующихся углей России добывается именно в Кузбассе. В 2014 году предприятиями угольной отрасли добыто 208 млн т каменного угля, что на 4,4 млн т больше, чем в 2013 году [2].

Несмотря на применяемые способы профилактики, в угольных шахтах страны до настоящего времени продолжают происходить аварии, обусловленные возникновением эндогенных пожаров и взрывами метана. В свою очередь, пожары в шахтах и разрезах наносят огромный вред окружающей среде. При горении углесодержащей породы образуются в большом количестве оксиды углерода, газообразные соединения серы и легковоспламеняющиеся углеводороды. Опасны также выбросы метана, причем этот газ, кроме того, что он является парниковым газом, способен возгораться даже во влажном состоянии.

Анализ литературы показал, что процесс самовозгорания возникает по поверхностям угольных скоплений и, частично, по труднодоступным существующим и вновь образующимся пустотам и разломам, имеющим выход на поверхность.

Среди регистрируемых на угольных шахтах Кузбасса подземных пожаров основную долю составляют эндогенные пожары. Большая часть экономического ущерба, причиняемого угольным шахтам всеми видами аварий, также приходится на эндогенные пожары (табл. 1). Для снижения экономических потерь, обусловленных эндогенными пожарами, необходимо использовать методы профилактики и раннего обнаружения процесса самовозгорания, а также применять новые способы быстрой ликвидации очагов самовозгорания.

3. Методы, основанные на поглощении реагентов, адсорбирующихся углем физически, не вступая в химическое взаимодействие.

При методах первой группы берется тот же окислитель, который действует на угли в естественных условиях. Кислород проходит через измельченный уголь при постепенно возрастающей температуре. Недостатком этого метода является применение более высоких температур, чем температура начала окисления угля в шахтах.

В методах второй группы изучается действие на угли более энергичных искусственно подобранных окислителей. Активность угля по отношению к ним может не совпадать с активностью к кислороду, но с такими окислителями можно работать при более подходящей к природным условиям температуре.

Таблица 1

Динамика пожаров и их последствий в горных выработках и пластах угля в РФ с 2011 по 2015 гг.

| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|---|-------|--------|-------|------|-------|
| Уничтожено (единиц) | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Повреждено (единиц) | 4 | 4 | 5 | 4 | 2 |
| Прямой материальный ущерб от пожаров, тыс. руб. | 96957 | 259130 | 10914 | 41 | 13081 |

Проблема предотвращения эндогенных пожаров в шахтах осложняется зависимостью процесса самовозгорания от большого количества факторов, обусловленных свойствами угля и внешними воздействиями окружающей среды. Причем влияние многих факторов неоднозначно и зависит от целого комплекса других факторов, а их значение может варьироваться в широких пределах.

Для определения способности углей к окислению и склонности к самовозгоранию предложен целый ряд методов. К основным из них относятся:

1. Методы, основанные на изучении действия на угли чистого кислорода или воздуха. В данном случае определяется скорость поглощения кислорода, температура начала быстрого окисления угля, температура его воспламенения, скорость самонагрева угля в адиабатических условиях, количество легко уловимых продуктов окисления, образовавшихся при окислении угля в определенных условиях.

2. Методы, основанные на действии на угли других окисляющих реагентов.

Что касается методов третьей группы, при которых определяется способность угля к адсорбции того или иного реагента, то от них трудно ожидать хороших результатов. Способность к адсорбции может не совпадать с окисляемостью. Кроме того, далеко не все испытанные в этом отношении реагенты химически безразлично относятся к углям. При этом если поглощаемый углем реагент вступает во взаимодействие не с теми атомными группами, которые легче всего окисляются, то опыты с таким реагентом не могут дать правильной характеристики окисляемости угля.

Химическая активность углей при их окислении на воздухе оценивается по скорости поглощения кислорода. Для определения химической активности углей по скорости сорбции используется методика, разработанная ИГД им. А.А. Скочинского [1, 4–6]. Предпочтение данному методу отдается из-за того, что исследования проводятся при низких температурах, приближенных к естественным условиям.

Сущность метода состоит в том, что скорость сорбции кислорода углем характеризуется уменьшением концентрации

кислорода в сорбционном сосуде. Испытуемую пробу помещают в сосуд, заполненный воздухом, закрывают его герметически и по истечении определенного времени с помощью газового анализа определяют убыль кислорода в нем (рис. 1).

Так как скорость сорбции кислорода зависит от его концентрации, которая может иметь разные количественные значения и не остается постоянной во время опыта, показателем химической активности угля служит не сама скорость сорбции, а кинетическая константа скорости, не зависящая от концентрации кислорода в газовой среде.

Снижение температуры и увеличение влажности угольного скопления приводит к изменению удельной теплоемкости, коэффициента теплопроводности и плотности угля. Повышение влажности угольного скопления существенно скажется на процессе поглощения углем кислорода. Влага, покрывающая поверхность

угольных частиц, будет препятствовать проникновению кислорода к активным центрам, что снизит скорость окисления и уменьшит количество генерируемого в скоплении тепла.

Увеличение влажности угольного скопления приведет к изменению таких теплофизических параметров, как коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость и плотность. Причиной этого является замещение части воздуха, находящегося в порах и трещинах, на жидкость.

Для определения влияния увлажнения и охлаждения на химическую активность угля был проведен эксперимент. Брались 6 проб измельченного угля с температурами +25; +10; 0 °С. Одна часть проб с сухим углем, другая с увлажненным на 10%. Масса каждой пробы 200 г на объем сосуда 720 мл. Замеры производились с интервалом в 48 ч. Результаты исследований приведены в табл. 2.

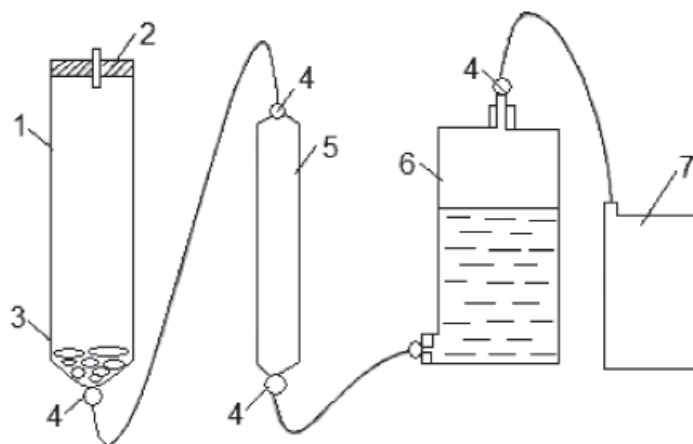


Рис. 1. Установка для определения химической активности углей:
1 – сорбционный сосуд; 2 – пробка; 3 – стеклянные палочки; 4 – кран;
5 – пробоотборная пипетка; 6 – емкость с раствором; 7 – вакуумный насос

Таблица 2

Результаты исследования увлажнения и охлаждения на химическую активность угля

| | Пр. 1 (+25 °С) сухой | Пр. 2 (+ 25 °С) увлажн. | Пр. 3 (+10 °С) сухой | Пр. 4 (+10 °С) увлажн. | Пр. 5 (0 °С) сухой | Пр. 6 (0 °С) увлажн. |
|---------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1 замер | 0,018 | 0,022 | 0,004 | 0,008 | 0,009 | 0,008 |
| 2 замер | 0,014 | 0,015 | 0,009 | 0,005 | 0,004 | 0,007 |
| 3 замер | 0,012 | 0,011 | 0,006 | 0,005 | 0,004 | 0,006 |
| 4 замер | 0,006 | 0,007 | 0,003 | 0,004 | 0,003 | 0,005 |
| 5 замер | 0,009 | 0,01 | 0,001 | 0,003 | 0,003 | 0,005 |
| 6 замер | 0,009 | 0,009 | – | – | 0,001 | 0,004 |
| 7 замер | 0,009 | 0,009 | – | – | 0,001 | 0,002 |

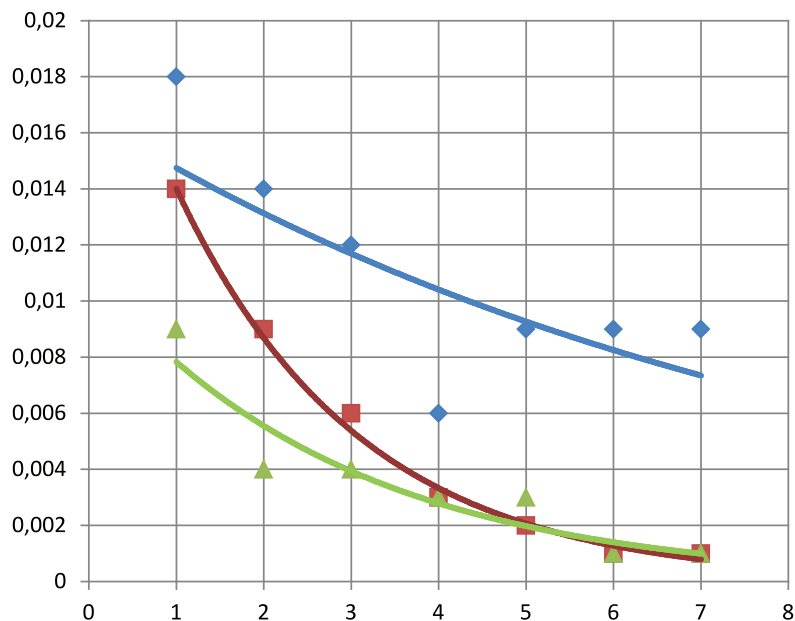


Рис. 2. График снижения химической активности сухого угля при разных температурах: синяя линия – при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; красная линия – при $t = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$; зеленая линия – при $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

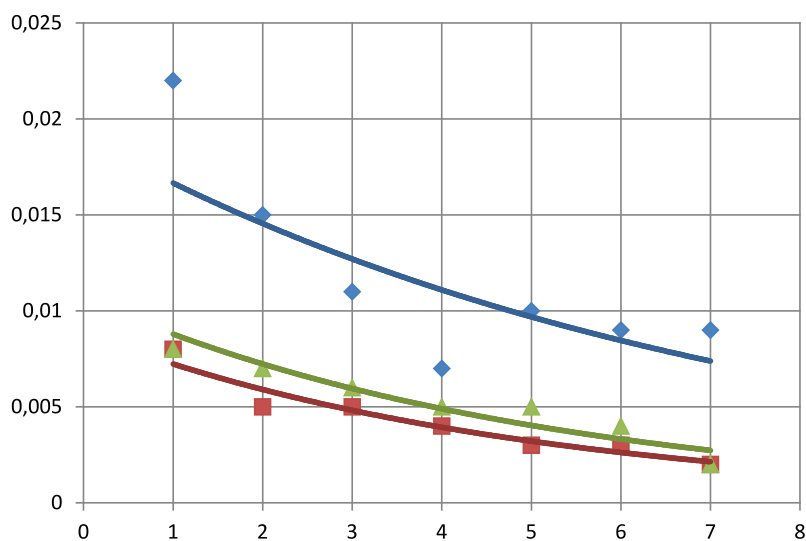


Рис. 3. График снижения химической активности увлажненного угля при разных температурах: синяя линия – при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; красная линия – при $t = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$; зеленая линия – при $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Из табл. 2 видно, что у сухого угля химическая активность ниже, чем у увлажненного при разных температурах. Это можно объяснить тем, что теплоемкость угольного скопления возрастает при увеличении влажности. А увеличение теплоемкости замедляет скорость повышения температуры окисляющегося угля.

На графиках представлены результаты исследований влияния увлажнения и охлаждения на химическую актив-

ность угля отдельно при разных температурах (рис. 2, 3).

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что снижение температуры угля значительно снижает химическую активность угля по отношению к кислороду. Так, при охлаждении с 25 до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ химическая активность угля падает в 3–4 раза. Причем у сухого угля химическая активность падает более стремительно во времени, чем у влажного. У влажного

угля снижение химической активности происходит более равномерно.

Исходя из полученных результатов, можно рекомендовать производить профилактику процесса самовозгорания угля в выработанном пространстве шахт путем снижения температуры обрушенных угольных скоплений до значения 0 °С, при этом увлажняя их.

Таким образом, проведенные исследования показали, что снижение температуры угля способно уменьшить скорость сорбции кислорода углем в 3–10 раз. Поэтому предварительное охлаждение и увлажнение выработанного пространства со скоплениями разрыхленного угля инертными составами позволит предотвратить развитие процесса самовозгорания.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Охлаждение угольных скоплений резко замедляет процесс самонагрева и может остановить рост температуры угля. Поэтому для предупреждения эндогенных пожаров в шахтах можно снижать температуру теряемых скоплений угля [3].

2. Для охлаждения теряемого угля целесообразно подавать в выработанное пространство частицы замороженной жидкости. Носителями частиц льда может быть газообразный азот.

3. Снижения температуры угля и осевшей угольной пыли можно достичь путем чередования подачи в выработанное пространство распыленной воды и сухого газа, например азота.

Список литературы

1. Веселовский В.С. Научные основы борьбы с самовозгоранием углей. – М.: Наука, 1964. – 154 с.
2. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2014 году».
3. Луговцова Н.Ю., Портола В.А. Влияние предварительно охлажденного угля на развитие процесса самовозгорания [электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2013 – № 6. – С. 1. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/113-10985>.
4. Прогноз и профилактика эндогенных пожаров / В.С. Веселовский, Л.Н. Виноградова, Г.Н. Орлеанская и др. – М.: Наука, 1975. – 159 с.
5. Самовозгорание промышленных материалов / В.С. Веселовский, Н.Д. Алексеева, Л.Н. Виноградова и др. – М.: Наука, 1964. – 148 с.
6. Физические основы самовозгорания угля и руд / Ин-т горного дела им. А.А. Скочинского. – М.: Наука, 1972. – 148 с.

УДК 57.049

СОСТОЯНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ КАК ОДИН ИЗ АСПЕКТОВ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ СОЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ МО «ГОРОД САРАТОВ»

Титов В.Н., Фуфыгин А.С.

Саратовский социально-экономический институт (филиал)

ФГБОУ ВПО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова», Саратов,

e-mail: kafedra_chaspravo@ssea.runnet.ru

В статье обосновывается актуальность проблематики, заключающаяся в обеспечении широких слоёв населения объективной информацией по вопросам, связанным с охраной и состоянием окружающей среды в регионе проживания, что, в свою очередь, является неотъемлемой частью региональной политики по целенаправленному формированию и повышению уровня экологической культуры и экологического образования. Авторы акцентируют внимание на отличии понятий «экологическая культура населения» и «экологическая культура социальной системы», обосновывая более широкое содержание последнего и на этом основании целесообразность его использования в теоретических и прикладных исследованиях. В статье подчёркивается важность достаточного насыщения информационной среды материалами природоохранной и экологической тематики, что является одним из индикаторов уровня приоритетности экологических проблем в региональной политике. Проведённый авторами анализ региональных интернет-ресурсов, в том числе, официальных, продемонстрировал небольшое количество на них природоохранных материалов и тематических ссылок и, как следствие, недостаточную информированность социума по вопросам, связанным с состоянием окружающей среды и экологической безопасностью. Авторы также отмечают наличие большого количества ведомственных и прочих бюрократических барьеров, ограничивающих доступ пользователей к информации экологической тематики.

Ключевые слова: экологическая культура социальной системы, степень насыщенности информационной среды экологической тематикой, приоритетность природоохранной тематики

THE SITUATION IN THE INFORMATION ENVIRONMENT AS AN ASPECT OF ASSESS THE LEVEL OF ECOLOGICAL CULTURE OF THE SOCIAL SYSTEM FOR EXAMPLE, THE MUNICIPALITY «CITY OF SARATOV»

Titov V.N., Fufygin A.S.

Saratov Social and Economic Institute (branch) of «Russian University of Economics

named by G.V. Plekhanov», Saratov, e-mail: kafedra_chaspravo@ssea.runnet.ru

The article substantiates the relevance of the problem, namely, the broad layers of the population with objective information on issues related to protection and the condition of the surround environment in the region, which in turn is an integral part of regional policy aimed at developing and increasing the level of environmental culture and environmental education. The authors emphasize the difference of concepts «ecological culture of the population» and «ecological culture of the social system», justifying a broader scope of the latter on this basis, the feasibility of its use in theoretical and applied research. The article emphasizes the importance of adequate saturation of the information environment of ecological content. That is one of the indicators of the level of priorities of environmental issues in regional policy. The authors analysis of regional Internet-resources, including, official, showed a small amount of environmental materials and thematic links and, as a consequence, lack of awareness of society on issues related to the environment and environmental safety. The authors also note the large number of departmental and other bureaucratic barriers that limit the access of users to information about environmental issues

Keywords: ecological culture of the social system, the degree of saturation of the information environment within the environmental themes, the priority environmental themes

В последнее десятилетие перестал быть спорным тезис о глобальной приоритетности экологических проблем, которые накапливались на протяжении продолжительного периода времени как результат усиливающегося антропогенного пресса цивилизации на окружающую природную среду.

При этом, по мнению некоторых исследователей, культурные компенсационные механизмы, призванные уравновешивать и нивелировать нарастающее давление на окружающую среду со стороны социаль-

ных систем, в обществе еще не до конца сформированы [17].

Под термином «социальная система» в целях настоящего исследования понимается социальное образование, занимающее определенную территорию, со всеми его связями и отношениями, в которых основную роль играют человеческие индивидуумы и сообщества, которые используют ресурсы среды, приспосабливаются к ее условиям и приспосабливают их (условия) к себе.

Именно продуктом экологической культуры конкретной (региональной) социальной системы можно считать состояние среды её обитания на конкретной территории, сложившееся к настоящему историческому моменту.

Здесь необходимо сделать одно замечание в отношении понятия «экологическая культура социальной системы», а именно подчеркнуть её более широкое по сравнению с понятием экологической культуры населения, содержание: понятие экологической культуры социальной системы, несмотря на всю спорность и дискуссионность целесообразности его введения, оправданно, поскольку включает в себя приоритеты в политической, образовательной, информационной, этической, эстетической, духовной сферах человеческой деятельности.

Суммируя взгляды таких авторов, как Данилов-Данильян [5, 6], Лосев [5, 6], Н.А. Агаджанян [1], Урсул [15], Чуйкова [17], предлагаем оценивать уровень экологической культуры социальной системы по следующим критериям:

- состояние природных сред обитания, определяемое физико-химическими, биологическими и др. параметрами;

- уровень приоритетности экологических проблем в политике;

- состояние информационной среды, определяемое степенью насыщенности информационного пространства природоохранной и экологической тематикой, в том числе научными идеями и разработками, направленными на минимизацию и компенсацию антропогенного воздействия на природу;

- уровень экологических знаний, умений, навыков поведения населения, а также экологических установок и ценностных ориентиров.

Особый интерес с точки зрения настоящего исследования представляет пункт о состоянии информационной среды. Важным, с нашей точки зрения, является также тот факт, что степень насыщенности информационной среды природоохранной и экологической тематикой является одним из индикаторов уровня приоритетности экологических проблем в политике. Поэтому попробуем проанализировать степень насыщенности информационного пространства природоохранной и экологической тематикой на муниципальном уровне на примере Му-

ниципального образования «Город Саратов» (МО «г. Саратов») в части сетевых электронных ресурсов, оставив за рамками исследования прочие средства массовой информации, такие как печатные, телевидение, радио и др.

Напомним, что единой, признанной в широких научных и общественных кругах методики оценки состояния информационной среды не существует. В целях данной работы будем использовать метод прямого подсчёта количества региональных и муниципальных эколого-ориентированных сетевых ресурсов, а также количества материалов природоохранной и экологической тематики на официальных сайтах муниципальных и региональных органов власти.

Ключевыми словами, используемых в поисковых запросах в поисковых системах «Рамблер» и «Яндекс», являлись: экология и все однокоренные слова, охрана природы и все производные, природные ресурсы, рациональное природопользование, устойчивое развитие.

В качестве основных официальных интернет-ресурсов закономерно были выбраны: официальный сайт Администрации муниципального образования «Город Саратов» [3], официальный портал Правительства Саратовской области [10], сайт Министерства природных ресурсов и экологии Саратовской области [9], официальный сайт Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Саратовской области [14], официальный сайт Управления Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору по Саратовской области [13], сайт Управления Росприроднадзора по Саратовской области [12]. К сожалению, не удалось найти сайта Саратовской межрайонной природоохранной прокуратуры.

Необходимо подчеркнуть, что все интернет-ресурсы представляли для нас интерес с точки зрения содержания на них тематических ссылок и/или списка тематических источников для быстрого поиска информации экологической направленности.

На официальном портале Правительства Саратовской области тематических ссылок природоохранной тематики не содержится. 12 разделов на странице Министерства природных ресурсов и экологии

отражают основные направления его деятельности.

Из четырех содержащихся на сайте Министерства природных ресурсов и экологии Саратовской области полезных ссылок в виде кнопок быстрого перехода три связаны с темой охраны лесов и одна с празднованием 70-летия Победы; из 20 разделов сайта 6 отражают деятельность министерства в лесохозяйственной сфере, 7 – сугубо административную и организационную деятельность (госзакупки, антикоррупционная политика и т.п.) и только 7 (т.е. менее половины) – основные направления природоохранной и экологической деятельности.

Сайт Управления Росприроднадзора по Саратовской области, являющийся по сути страницей на федеральном портале, предлагает посетителям 7 кнопок быстрого перехода на полезные интернет-ресурсы федерального уровня. Из них 4 – природоохранной тематики (Система общественного контроля охраны окружающей среды «Наша природа», Особо охраняемые природные территории России, Объекты особого экологического контроля, Аллея России).

Сайт Управления Роспотребнадзора по Саратовской области не содержит полезных ссылок на эколого-ориентированные интернет-ресурсы. Из 17 разделов сайта интерес в целях нашего исследования представляет вкладка «Информация» в части ежегодных докладов «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Саратовской области» и текущей санитарно-эпидемиологической обстановки в регионе.

Официальный сайт Управления Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору по Саратовской области также не предлагает посетителям для быстрого поиска эколого-ориентированной информации тематических кнопок быстрого перехода.

Так же скудно представлена информация экологической и природоохранной тематики на официальном сайте Администрации МО «Город Саратов», который имеет сложную разветвленную структуру и разнообразное наполнение.

На стартовой странице обращает на себя внимание ссылка «Зелёная карта», хотя она и является единственной тематической кнопкой из 26 ссылок на полезные интернет-ресурсы.

В 27 основных разделах сайта экологическая тематика представлена следующим образом: в «Новостях» и «Фотогалерее» от 20.04.2015 содержится информация и фото об итогах акции «Зелёный город», подведённых Сектором по охране окружающей среды; в разделе «О Саратове / современность» описываются климат, водные и земельные ресурсы, флора, фауна и памятники природы г. Саратова. С большой натяжкой к рассматриваемой проблематике можно отнести «Информацию об обязанности природопользователей выполнять расчёты платы за негативное воздействие на окружающую среду и предоставлять их в Управление Росприроднадзора по Саратовской области», расположенную в разделе «Полезные ссылки» (содержит всего 28 пунктов), а также «Защиту населения от ЧС», расположенную на панели дополнительных вкладок.

Количество ответов на поисковые запросы с означенными выше ключевыми словами составляет до 2 млн шт., среди них преобладают ссылки на коммерческие фирмы, оказывающие услуги населению в сфере экологии; ссылки на упоминание данных словосочетаний в электронных СМИ и учебно-реферативных работах.

Полезными представляются следующие ссылки: на Федеральный портал PROTOWN [16] и сайт ГБОУСоДОД «Областной детский экологический центр» [4].

Экологический портал Саратовской области [19] так же, как Экологический портал «Зелёный Саратов» [18], к сожалению, нельзя отнести к числу «живых» сетевых ресурсов, т.к. контент датирован августом 2012 г. и декабрём 2009 г. соответственно.

С учётом сходства с МО «Город Саратов» в природно-климатических условиях, экономико-географическом положении и официально признанных успехов в природоохранной сфере экологическая политика муниципальных властей Уфы, Йошкар-Олы, Ижевска и Перми заслуживает наиболее пристального внимания с целью изучения положительного опыта. В полной мере это относится к информационной составляющей экологической политики.

Так, положительной оценки заслуживает политика информационной открытости и доступности информации, проводимая администрацией городского округа «Самара» в сфере охраны окружающей

среды и экологической безопасности. Несмотря на отсутствие на главной странице официального сайта специального раздела, посвящённого экологическим вопросам, в разделе «Жизнь Города. Городское хозяйство», который открывается как самостоятельная страница с продуманной иерархией, расположено сразу несколько иерархических вкладок на интересующую нас тему: Департамент благоустройства и экологии, Правила благоустройства, Программа «Двор, в котором мы живём», Парки Самары, Животные, «Горячая линия» по вопросам благоустройства (три другие вкладки: Дороги, Новости, Реклама). У Департамента благоустройства и экологии, у МАУ «Парки Самары» есть свои хорошо организованные сайты, которые отражают основные направления и приоритеты деятельности [7].

На аналогичном уровне организовано информирование по экологическим вопросам в Перми, Йошкар-Оле, Ижевске.

Например, на главной странице официального сайта Администрации города Перми есть раздел «Экология», состоящий из 7 подразделов, в числе которых: «Управление по экологии и природопользованию», «Природа города», «Природоохранные органы» и др., а также ссылка на скачивание сборника «Состояния и охрана окружающей среды города Перми» за 2007–2010 гг. (актуальная информация, к сожалению, отсутствует). У Управления по экологии и природопользованию есть свой мощный интернет-ресурс с высоким потенциалом экологического информирования и просвещения населения, на котором, кроме официальной информации содержится много полезных ссылок, а также элементов, несущих эколого-воспитательную и эстетическую функцию [11].

На главной странице официального сайта – информационного портала «Город Йошкар-Ола» в разделе «Город» есть подраздел «Экологическая обстановка», раскрывающийся как самостоятельный иерархически устроенный сайт. С точки зрения нашего исследования, интерес представляют такие его разделы, как: «Природные условия г. Йошкар-Олы», «Экологические проблемы г. Йошкар-Олы», «Социально-экологические условия жизни горожан», «Состояние природного комплекса» и др. Кроме того, здесь находятся ссылки на скачивание файлов,

содержащих данные о мониторинге состояния атмосферного воздуха, почвенного покрова, радиологического мониторинга и всевозможные отчёты о проделанной работе по направлениям деятельности [8]. Большое внимание уделено наполнению сайта материалами эколого-просветительского и эколого-воспитательного содержания. Немного уступает сайт марийской столицы пермскому интернет-ресурсу по дизайну и эстетическому оформлению.

Высокоинформативен и удобен в пользовании официальный сайт муниципального образования «Город Ижевск». Полноценная страница Управления природных ресурсов и охраны окружающей среды, на которую можно попасть с главной страницы через раздел «структурные подразделения администрации», содержит 15 разделов, отражающих основные направления деятельности и имеющих в свою очередь множество подразделов. Наличие таких хорошо наполненных подразделов, как «Геологическое строение», «Полезные ископаемые», «Подземные воды», «Рельеф местности», «Климат и погода», «Поверхностные воды», «Почвенные ресурсы», «Городские зеленые насаждения», «Городские леса г. Ижевска», «Особо охраняемые природные территории», «Охрана окружающей среды» и др., заменяет собой отдельный сайт [2]. Единственное затруднение, с которым мы столкнулись в процессе сбора информации по МО «Город Ижевск», – отсутствие в фильтрах поиска в базе муниципальных нормативно-правовых актов направления деятельности «Экология и благоустройство» при отсутствии на странице Управления подобного списка документов (в отличие, например, от Йошкар-Олы или Перми).

За рамками настоящей статьи остаётся содержательный анализ тематической информации, размещённой на региональных и муниципальных интернет-ресурсах. Тем не менее даже первый поверхностный обзор информационной среды МО «Город Саратов» в части сетевых ресурсов позволяет сделать заключение о недостаточном использовании потенциала сетевых ресурсов, выражающееся в отсутствии или слабой наполняемости официальных сайтов некоторых региональных природоохранных и надзорных ведомств, в низкой приоритетности экологоориентированных материалов на

официальных порталах областных и городских властей; в отсутствие мощных интегрированных интернет-ресурсов по экологической проблематике.

Резюмируя всё вышеизложенное, хочется подчеркнуть важность целенаправленных консолидированных усилий научного сообщества для выработки научно обоснованных методических рекомендаций для оценки состояния информационной среды любого уровня, являющимся одним из критериев оценки уровня экологической культуры социальной системы.

Список литературы

1. Агаджанян Н.А., Горлачев В.П. Экология культуры: интеллигенция и интеллигентность // Экологическая культура современного общества: материалы международного симпозиума. – Новосибирск: наука, 2000. – С. 5–30.
2. Администрация муниципального образования «Город Ижевск». – URL: <http://www.izh.ru/i/info/14680.html>.
3. Администрация муниципального образования «Город Саратов». – URL: <http://www.saratovmer.ru/> (дата обращения: 20.04.2015).
4. ГБОУСоДОД «Областной детский экологический центр». – URL: <http://ecocent-sar.narod.ru> (дата обращения: 19.04.2015).
5. Данилов-Данильян В.И., Горшков В.Г., Арский Ю.М., Лосев К.С. Окружающая среда между прошлым и будущим: Мир и Россия (опыт эколого-экономического анализа). – М.: ВИНТИ, 1994. – 134 с.
6. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Экологический вызов и устойчивое развитие. – М.: Прогресс, 2000. – 416 с.
7. Департамент благоустройства и экологии администрации городского округа «Самара». – URL: <http://dbe-samara.ru> (дата обращения: 20.04.2015).
8. Информационный портал «Город Йошкар-Ола». – URL: <http://www.i-ola.ru/city/ecologia/> (дата обращения: 20.04.2015).
9. Министерство природных ресурсов и экологии Саратовской области. – URL: <http://www.minforest.saratov.gov.ru/> (дата обращения: 18.04.2015).
10. Правительство Саратовской области. – URL: <http://saratov.gov.ru/gov/auth/minres/> (дата обращения: 18.04.2015).
11. Управление по экологии и природопользованию Администрации города Перми. – URL: <http://www.prirodaperm.ru> (дата обращения: 20.04.2015).
12. Управление Росприроднадзора по Саратовской области. – URL: <http://64.rpn.gov.ru/> (дата обращения: 19.04.2015).
13. Управление Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору по Саратовской области. – URL: <http://rsn-saratov.ru/> (дата обращения: 19.04.2015).
14. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Саратовской области. – URL: <http://64.rosпотребнадзор.ru/308> (дата обращения: 19.04.2015).
15. Урсул А.Д., Романович А.Л. Безопасность и устойчивое развитие (философско-концептуальные проблемы). – М.: РАГС, 2001. – 138 с.
16. Федеральный портал PROTOWN. – URL: <http://www.protown.ru/russia/obl/articles/6114.html> (дата обращения: 19.04.2015).
17. Чуйкова Л.Ю. Экологическая модель социальной системы: взаимосвязь и взаимообусловленность развития социальной и природной систем // Астраханский вестник экологического образования. – 2011. – Вып. 2 [Электронный ресурс] // Сайт Научной библиотеки КиберЛенинка. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-model-sotsialnoy-sistemy-vzaimosvyazi-vzaimoobuslovlennost-razvitiya-sotsialnoy-i-prirodnoy-sistem#ixzz3Eni2oGn0> (дата обращения: 20.10.2014).
18. Экологический портал «Зелёный Саратов». – URL: <http://kosmosaratov.ucoz.net/> (дата обращения: 19.04.2015).
19. Экологический портал Саратовской области. – URL: <http://sarekologs.ru/indexGlav.html> (дата обращения: 19.04.2015).