
УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 12 2016

Часть 2
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 ВИНИТИ.

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

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

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

Подписано в печать – 30.12.2016

Формат 60х90 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. 25,63
Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/12-2016
Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Химические науки (02.00.00)

ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЛОГЕНСОДЕРЖАЩИХ СЕЛЕНОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СЕЛЕНА И 1-ГЕКСЕНА <i>Амосова С.В., Потапов В.А.</i>	241
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ СМЕСЕЙ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ <i>Балданова Д.М., Танганов Б.Б.</i>	245
КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ Г-МЕТАКРИЛОКСИПРОПИЛТРИМЕТОКСИСИЛАНА С КАТАЛИЗАТОРАМИ КИСЛОТНОГО ТИПА <i>Бондалетов В.Г., Бочкарев В.В., Огородников В.Д., Байкова Н.А., Кухленкова Н.О.</i>	250
ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЧЕНИЯ $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{-GeSnSb}_4\text{Te}_8$ КВАЗИТРОЙНОЙ СИСТЕМЫ $\text{GeTe-Sb}_2\text{Te}_3\text{-SnTe}$ <i>Гурбанов Г.Р., Адыгезалова М.Б.</i>	259
ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРЫ ХЛОРИНОВОГО РЯДА ДЛЯ АНТИМИКРОБНОЙ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ <i>Кустов А.В., Гарасько Е.В., Белых Д.В., Худяева И.С., Старцева О.М., Макаров В.В., Стрельников А.И., Березин Д.Б.</i>	263
ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ Z,Z-БИС(3-БРОМ-2-ХЛОРПРОП-1-ЕН-1-ИЛ)ТЕЛЛУРИДА ЗА СЧЕТ РЕАКЦИЙ С КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИМИ НУКЛЕОФИЛАМИ <i>Мартынов А.В., Махаева Н.А., Амосова С.В.</i>	269
ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ОСАЖДЕНИЯ ПОЛИВАЛЕНТНЫХ МЕТАЛЛОВ ХЛОРСОДЕРЖАЩИМИ ОКИСЛИТЕЛЯМИ <i>Муллина Э.Р., Чупрова Л.В.</i>	275
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИОНИЗАЦИИ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ВОЗДУХА С УЧЕТОМ ВКЛАДА ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ <i>Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н., Петров А.И., Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Кубрина В.К., Колесников И.А., Егоров Е.В.</i>	280
КИНЕТИКА ВЫСВОБОЖДЕНИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ АНТИБИОТИКА ЛИНКОМИЦИНА ИЗ БИОДЕГРАДИРУЕМЫХ БИОПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН МЕДИЦИНСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ <i>Севостьянов М.А., Насакина Е.О., Баикин А.С., Леонов А.В., Сергиенко К.В., Каплан М.А., Конушкин С.В., Колмаков А.Г.</i>	286

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

ДИГИТАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ <i>Антонов А.М., Долинская И.С., Пастухова Н.О.</i>	292
ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ ПРИЁМОВ БИОЛОГИЗАЦИИ И СРЕДСТВ ХИМИЗАЦИИ <i>Воронкова Н.А., Храмцов И.Ф., Тукмачева Е.В., Комаров С.Г., Дороненко В.Д., Волкова В.А., Цыганова Н.А.</i>	297
БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ САКСАУЛА ЧЕРНОГО В УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ <i>Крючков С.Н., Морозова Е.В., Иозус А.П.</i>	303
ОСОБЕННОСТИ ВЕГЕТАТИВНОГО РАЗМНОЖЕНИЯ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО ДЛЯ ЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ <i>Морозова Е.В., Иозус А.П., Крючков С.Н.</i>	309

ВИДОВОЙ СОСТАВ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ ПОСЕВОВ КУКУРУЗЫ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ <i>Накаев С.-М.А., Оказова З.П.</i>	314
ОБЪЕМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ ЧЕРЕМУХИ МААКА <i>Полещук А.В., Гриднев А.Н.</i>	319
УСТАНОВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ОБЛЕСЁННОСТИ ПАШНИ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ <i>Полужтов Е.В., Таран Ю.А., Ерёмченко А.В.</i>	325
ВЛИЯНИЕ ВЕРМИКОПОСТА НА УРОЖАЙНОСТЬ ОГУРЦА В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ <i>Степанова Д.И., Абрамов А.Ф., Григорьев М.Ф.</i>	330
АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ВОЗГОРАНИЙ <i>Шегельман И.Р., Галактионов О.Н., Когочев А.Ю., Попов А.С.</i>	335

Науки о Земле (25.00.00)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И МНОГООТВЕТНЫХ СКВАЖИН В ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРАХ <i>Апасов Т.К., Апасов Г.Т., Мухаметшин В.Г., Новоселов М.М.</i>	340
АНАЛИЗ ПИРОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕОСИСТЕМЫ ПРИОЛЬХОНЬЯ ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ <i>Бибеева А.Ю.</i>	347
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВОВЛЕЧЕНИЯ В ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ОБОРОТ МАРГИНАЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ КАРЬЕРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Бортникова Г.А., Луговской А.М., Межова Л.А.</i>	352
РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА РАДОНА В ВОЗДУХЕ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ НЕКОТОРЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЮГА РОССИИ <i>Бураева Е.А., Попов Ю.В., Дергачева Е.В., Колесников И.А., Михайлова Т.А., Кубрина В.К., Проценко В.В.</i>	356
ПРИМЕНЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ШАХТНЫХ ВОД <i>Гавришин А.И., Борисова В.Е., Торопова Е.С.</i>	361
ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ АЛАСНЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ <i>Гоголева П.А., Стручкова С.Г., Федорова Е.Д.</i>	368
СВИНЕЦ В СИСТЕМЕ ПОЧВА – РАСТЕНИЕ В ЛАНДШАФТЕ ШЕРЛОВОГОРСКОГО ГОРНОРУДНОГО РАЙОНА НА ПРИМЕРЕ POLYGONUM ANGUSTIFOLIUM PALLAS (POLYGONACEAE) <i>Горбань Д.Н., Юргенсон Г.А.</i>	375
ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ ПО ТРАССЕ ГАЗОПРОВОДА МЕТОДОМ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ <i>Джурик В.И., Серебренников С.П., Ескин А.Ю., Брыжак Е.В.</i>	380
РЕЖИМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОД НАСЫПНОЙ ПЛОТИНЫ ИРКУТСКОЙ ГЭС ЗА ПЕРИОД 2002–2013 ГГ. <i>Ескин А.Ю., Джурик В.И., Серебренников С.П., Брыжак Е.В.</i>	387
ХАРАКТЕРИСТИКА БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ПРЕДЕЛАХ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ: ТИПОЛОГИЯ БЕРЕГОВ, ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ <i>Ильин В.Н., Беспалова Л.А., Никонорова И.В., Сушко К.С.</i>	395
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ТРАНСГРАНИЧНЫХ БАСЕЙНАХ РЕК СЕЛЕНГА И ТЕС-ХЕМ (РОССИЯ – МОНГОЛИЯ) <i>Кальная О.И., Гармаев Е.Ж., Жамьянов Д.Ц.-Д., Забелин В.И., Арчимбаева Т.П., Аюнова О.Д., Кирова Н.А.</i>	401

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА УЧАСТКА ПРИ СОПОСТАВЛЕНИИ ДАННЫХ РАЗВЕДКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ <i>Кудряшов А.И., Баяндина Э.О.</i>	409
МИНЕРАЛОГИЯ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ МЕДНО-ЦИНКОВЫХ И МЕДНЫХ РУД КЫЗЫЛ-ТАШТЫГСКОГО КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНАЯ ТУВА) <i>Кужугет Р.В., Анкушева Н.Н.</i>	414
АССОЦИИ РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ И ИХ ГЕОМОРФОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (ОБЩИЕ И ФЕНОМЕНАЛЬНЫЕ) <i>Ликутов Е.Ю.</i>	423
ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ МЕДИ ИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ <i>Мишурина О.А., Чупрова Л.В.</i>	428
КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ <i>Невидимова О.Г., Янкович Е.П.</i>	433
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ УЯЗВИМОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ И ХОЗЯЙСТВА РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА Р. УРАЛ ОТ НАВОДНЕНИЙ <i>Падалко Ю.А.</i>	439
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ ОТЛОЖЕНИЙ ТЮМЕНСКОЙ СВИТЫ НА ТЕРРИТОРИИ ХМАО-ЮГРЫ <i>Севастьянов А.А., Коровин К.В., Зотова О.П., Зубарев Д.И.</i>	444
ВЕЩЕСТВЕННЫЙ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ НЕРАСТВОРИМЫХ ЧАСТИЦ В СНЕГЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ <i>Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Боев А.Г.</i>	449
ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПРИМОРСКОГО КРАЯ: ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ <i>Суржиков В.И.</i>	454
ВИДЫ И ОБЪЕМЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ОЦЕНКЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВОЙСТВ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА С УЧЕТОМ НОВЫХ ТРЕБОВАНИЙ ГОСТ 25100-11. ГРУНТЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ <i>Хансиварова Н.М., Ласун В.С.</i>	460
ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ВАЛДАЯ <i>Юзбеков М.А., Юзбеков А.К.</i>	468

CONTENTS

Chemical sciences (02.00.00)

EFFICIENT METHODS FOR PREPARATION OF HALOGEN-CONTAINING ORGANOSELENIUM COMPOUNDS BASED ON ELEMENTAL SELENIUM AND 1-HEXENE <i>Amosova S.V., Potapov V.A.</i>	241
DETERMINATION OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF THE MIXTURES OF AQUEOUS ELECTROLYTE SOLUTIONS <i>Baldanova D.M., Tanganov B.B.</i>	245
COMPLEXATION Γ -METHACRYLOXYPROPYLTRIMETHOXY-SILANE WITH THE CATALYST OF THE ACID TYPE <i>Bondaletov V.G., Bochkarev V.V., Ogorodnikov V.D., Baykova N.A., Kukhlenkova N.O.</i>	250
THE STUDY OF THE CUT $\text{Ge}_5\text{Sb}_5\text{Te}_5\text{-GeSnSb}_4\text{Te}_8$ OF QUASI-TERNARY SYSTEM $\text{GeTe-Sb}_2\text{Te}_3\text{-SnTe}$ <i>Gurbanov H.R., Adygezalova M.B.</i>	259
CHLORIN PHOTSENSITISERS FOR ANTIMICROBIAL PHOTODYNAMIC THERAPY <i>Kustov A.V., Garasko E.V., Belykh D.V., Khudyaeva I.S., Startseva O.M., Makarov V.V., Strelnikov A.I., Berezin D.B.</i>	263
FUNCTUIONALIZATION OF Z,Z(BIS-3-BROMO-2-CHLOROPROP-1-EN-1-YL) TELLURIDE BY REACTIONS WITH OXYGENE-CONTAINING NUCLEOPHILES <i>Martynov A.V., Makhaeva N.A., Amosova S.V.</i>	269
FACTOR ANALYSIS OF THE OXIDATIVE DEPOSITION POLYVALENT METALS CHLORINE-CONTAINING OXIDIZING AGENTS <i>Mullina E.R., Chuprova L.V.</i>	275
THE STUDY OF IONIZATION OF SURFACE AIR WITH THE CONTRIBUTION OF NATURAL RADIONUCLIDES <i>Petrova G.G., Panchishkina I.N., Petrov A.I., Buraeva E.A., Dergacheva E.V., Kubrina V.K., Kolesnikov I.A., Egorov E.V.</i>	280
THE KINETICS OF LINCOMYCIN RELEASE FROM BIOPOLYMER BIODEGRADABLE OF MEMBRANES BASED ON HIGH DENSITY CHITOSAN <i>Sevostyanov M.A., Nasakina E.O., Baikina A.S., Leonov A.V., Sergienko K.V., Kaplan M.A., Konushkin S.V., Kolmakov A.G.</i>	286

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

DIGITAL TECHNOLOGY IN RESEARCH <i>Antonov A.M., Dolinskaya I.S., Pastukhova N.O.</i>	292
CHANGE OF FERTILITY CHERNOZEM SOIL AND PRODUCTIVITY OF FIELD CROPS WITH LONG-TERM USED OF THE TECHNIQUES OF BIOLOGICAL AND CHEMICAL PRODUCTS <i>Voronkova N.A., Khrantsov I.F., Tukmacheva E.V., Komarov S.G., Doronenko V.D., Volkova V.A., Tsyganova N.A.</i>	297
THE BIOECOLOGICAL FEATURES OF ADAPTATION OF BLACK SAXAUL IN CONDITIONS OF THE SOUTH-EAST OF EUROPEAN TERRITORY IN RUSSIA <i>Kryuchkov S.N., Morozova E.V., Iozus A.P.</i>	303
FEATURES OF VEGETATIVE PROPAGATION ENGLISH OAK FOR PROTECTIVE AFFORESTATION IN THE REGION OF THE STEPPES OF THE EUROPEAN PART OF THE RUSSIAN FEDERATION <i>Morozova E.V., Iozus A.P., Kryuchkov S.N.</i>	309
SPECIFIC STRUCTURE OF WEED PLANTS OF CROPS OF CORN OF THE FOREST-STEPPE ZONE OF THE CHECHEN REPUBLIC <i>Nakaev S.-M.A., Okazova Z.P.</i>	314

BY VOLUME DESCRIPTIONS OF BARREL WOOD PADUS MAACKII (RUPR.) KOM <i>Poleschuk A.V., Gridnev A.N.</i>	319
ESTABLISHMENT OF OPTIMAL AFFORESTATION FOR A PLOUGHED FIELD ON SLOPE LANDS OF THE STEPPE ZONE <i>Poluektov E.V., Taran Yu.A., Eryomenko A.V.</i>	325
EFFECT OF VERMICOMPOST ON THE PRODUCTIVITY OF CUCUMBER IN THE CONDITIONS THE PROTECTED GROUND OF CENTRAL YAKUTIA <i>Stepanova D.I., Abramov A.F., Grigorev M.F.</i>	330
REVIEW AND ASSESSMENT OF ADVANCED PHYSICAL METHODS OF FIRE DETECTION <i>Shegelman I.R., Galaktionov O.N., Kogochev A.Yu., Popov A.S.</i>	335

Earth sciences (25.00.00)

EVALUATION OF OPERATION HORIZONTAL AND MULTILATERAL WELLS IN HARD-TERRIGENEOUS RESERVOIRS <i>Apasov T.K., Apasov G.T., Mukhametshin V.G., Novoselov M.M.</i>	340
ANALYSIS OF FIRE-INDUCED INFLUENCE ON THE PRIOLKHONYE GEOSYSTEMS BY USING MATERIALS OF REMOTE SENSING OF THE EARTH <i>Bibaeva A.Yu.</i>	347
THE MAIN AREAS OF INVOLVEMENT IN ECONOMIC CIRCULATION OF MARGINAL AREAS OF OPEN PITS OF BUILDING MATERIALS <i>Bortnikova G.A., Lugovskoy A.M., Mezheva L.A.</i>	352
THE RESULTS OF RADON MONITORING IN THE AIR OF RESIDENTIAL BUILDINGS AT SOME AREAS OF SOUTH OF RUSSIA <i>Buraeva E.A., Popov Yu.V., Dergacheva E.V., Kolesnikov I.A., Mikhaylova T.A., Kubrina V.K., Protsenko V.V.</i>	356
APPLICATION OF CORRELATION ANALYSIS TO STUDY THE REGULARITIES OF FORMATION OF CHEMICAL COMPOSITION OF MINE WATER <i>Gavrishin A.I., Borisova V.E., Toropova E.S.</i>	361
PHYSICO-GEOGRAPHICAL CONDITIONS OF THE ALASS LANDSCAPE DEVELOPMENT AND REGULARITIES OF THE VEGETATION DISTRIBUTION <i>Gogoleva P.A., Struchkova S.G., Fedorova E.D.</i>	368
LEAD IN SYSTEM THE SOIL-PLANT IN THE LANDSCAPE OF THE SHERLOVOGORSKY MINING AREA ON THE EXAMPLE OF POLYGONUM ANGUSTIFOLIUM PALLAS (POLYGONACEAE) <i>Gorban D.N., Yurgenson G.A.</i>	375
INSPECTION OF TECTONIC INFRINGEMENTS ON A LINE OF A GAS PIPELINE A METHOD VERTICAL ELECTRIC SOUNDING <i>Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Eskin A.Yu., Bryzhak E.V.</i>	380
DYNAMICS OF A PHYSICAL CONDITION OF THE WEAKENED ZONES OF A BULK DAM OF IRKUTSK HYDROELECTRIC POWER STATION DURING 2002–2012 <i>Eskin A.Yu., Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Bryzhak E.V.</i>	387
CHARACTERISTICS OF THE CHEBOKSARY RESERVOIR COAST IN THE CHUVASH REPUBLIC: TYPES OF COASTS, ASSESSMENT OF STABILITY <i>Ilin V.N., Bessalova L.A., Nikonorova I.V., Sushko K.S.</i>	395
COMPARATIVE EVALUATION OF ECOLOGICAL STATE OF WATER BODIES IN THE TRANSBOUNDARY TES-KHEM AND SELENGA RIVER BASINS (RUSSIA-MONGOLIA) <i>Kalnaya O.I., Garmaev E.Zh., Zhamyanov D.Ts.-D., Zabelin V.I., Archimaeva T.P., Ayunova O.D., Kirova N.A.</i>	401
DETERMINATION PLOT SIZE WHEN COMPARING DATA EXPLORATION AND EXPLOITATION OF VERKHNEKAMSKOE SALT DEPOSIT <i>Kudriyashov A.I., Bayandina E.O.</i>	409

MINERALOGY AND FORMATION CONDITIONS OF COPPER-ZINC AND COPPER ORES OF THE KYZYL-TASHTYG PYRITE-POLYMETALLIC DEPOSIT (EAST TUVA) <i>Kuzhuget R.V., Ankusheva N.N.</i>	414
ASSOCIATIONS OF RELIEF FORMING PROCESSES AND THEIR GEOMORPHODYNAMIC PROPERTIES (GENERAL AND PHENOMENAL) <i>Likutov E.Yu.</i>	423
CHEMICAL ASPECTS OF EXTRACTION OF COPPER IONS FROM TECHNICAL SOLUTIONS ELECTROPLATED <i>Mishurina O.A., Chuprova L.V.</i>	428
CLIMATIC CONDITIONS OF THE FORMATION OF FAST GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES IN THE SOUTH OF WEST SIBERIA <i>Nevidimova O.G., Yankovich E.P.</i>	433
SOCIO-ECONOMIC VULNERABILITY OF POPULATIONS AND ECONOMY AGAINST FLOOD IN REGIONS OF THE RUSSIAN PART OF THE BASIN OF THE URAL RIVER <i>Padalko Yu.A.</i>	439
PROSPECTS OF DEVELOPMENT TYUMEN SUITE DEPOSITS IN THE TERRITORY OF KHMAO-YUGRA <i>Sevastyanov A.A., Korovin K.V., Zotova O.P., Zubarev D.I.</i>	444
MATERIAL AND ELEMENTAL COMPOSITION OF INSOLUBLE PARTICLES IN SNOW OF NORTH-WESTERN KANDALAKSHA BAY COAST OF THE WHITE SEA <i>Starodymova D.P., Shevchenko V.P., Boev A.G.</i>	449
FOREIGN-ECONOMIC POTENTIAL OF THE MUNICIPAL UNITS OF PRIMORSKY REGION OF RUSSIA: OPPORTUNITIES AND LIMITATIONS <i>Surzhikov V.I.</i>	454
TYPES AND SCOPES OF ENGINEERING GEOLOGICAL WORKS IN THE ASSESSMENT OF CHARACTERISTICS OF SUBSIDING SOILS PROPERTIES FOR DESIGN AND CONSTRUCTION TO MEET NEW GOST 25100-11 REQUIREMENTS. SOILS. CLASSIFICATION <i>Khansivarova N.M., Lasun V.S.</i>	460
DEVELOPING THE RECREATIONAL POTENTIAL OF VALDAI: ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ISSUES <i>Yuzbekov M.A., Yuzbekov A.K.</i>	468

УДК 547.379

ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЛОГЕНСОДЕРЖАЩИХ СЕЛЕНОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СЕЛЕНА И 1-ГЕКСЕНА

Амосова С.В., Потапов В.А.*Иркутский институт химии имени А.Е. Фаворского Сибирского отделения
Российской академии наук, Иркутск, e-mail: v.a.potapov@mail.ru*

Разработаны удобные и эффективные способы получения бис(2-хлоргексил)дихлор- λ^4 -селана, бис(2-бромгексил)дибром- λ^4 -селана, бис(2-хлоргексил)селана и бис(2-бромгексил)селана с высокими выходами на основе реакций электрофильного присоединения тетрахлорида и тетрабромидов селена к 1-гексену. Реакции протекают с высокой региоселективностью: атом селена присоединяется исключительно к терминальному атому углерода двойной связи 1-гексена с образованием продуктов присоединения по правилу Марковникова. Восстановление бис(2-хлоргексил)дихлор- λ^4 -селана и бис(2-бромгексил)дибром- λ^4 -селана в двухфазной системе раствор продукта в бензоле или четыреххлористом углероде – водный раствор метабисульфита натрия приводит к бис(2-хлоргексил)селану и бис(2-бромгексил)селану с выходом более 90%. Галогенирование бис(2-хлоргексил)селана и бис(2-бромгексил)селана хлористым сульфуром или бромом в гексане или четыреххлористом углероде приводит к бис(2-хлоргексил)дихлор- λ^4 -селану и бис(2-бромгексил)дибром- λ^4 -селану с практически количественными выходами (96–98%). Разработанные эффективные способы получения селанов, способных к дальнейшей функционализации, открывают возможности их практического использования в синтезе новых селенорганических соединений.

Ключевые слова: 1-гексен, бис(2-хлоргексил)селан, бис(2-бромгексил)селан, бис(2-хлоргексил)дихлор- λ^4 -селан, бис(2-бромгексил)дибром- λ^4 -селан, селен

EFFICIENT METHODS FOR PREPARATION OF HALOGEN-CONTAINING ORGANOSELENIUM COMPOUNDS BASED ON ELEMENTAL SELENIUM AND 1-HEXENE

Amosova S.V., Potapov V.A.*A.E. Favorskiy Irkutsk Institute of Chemistry, Siberian Division of the Russian Academy
of Sciences, Irkutsk, e-mail: v.a.potapov@mail.ru*

Efficient convenient methods for preparation of bis(2-chlorohexyl)dichloro- λ^4 -selane, bis(2-bromohexyl)dibromo- λ^4 -selane, bis(2-chlorohexyl)selane, bis(2-bromohexyl)selane in high yield based on electrophilic addition reactions of selenium tetrachloride and tetrabromide with 1-hexene. The reactions proceed with high regioselectivity: selenium atom adds exclusively at terminal carbon atom of the double bond of 1-hexene with the formation of Markovnikov products. The reduction of bis(2-chlorohexyl)dichloro- λ^4 -selane and bis(2-bromohexyl)dibromo- λ^4 -selane in two-phase systems: solution of the product in benzene or CCl_4 – aqueous sodium metabisulfite solution affords bis(2-chlorohexyl)selane and bis(2-bromohexyl)selane in high yield (>90%). Halogenation of bis(2-chlorohexyl)selane and bis(2-bromohexyl)selane by sulfonyl chloride or bromine in hexane or CCl_4 leads to bis(2-chlorohexyl)dichloro- λ^4 -selane and bis(2-bromohexyl)dibromo- λ^4 -selane in near quantitative yield. The developed methods for preparation of the able to functionalization selanes open possibilities of their practical application in synthesis of new organoselenium compounds.

Keywords: 1-hexene, bis(2-chlorohexyl)selane, bis(2-bromohexyl)selane, bis(2-chlorohexyl)dichloro- λ^4 -selane, bis(2-bromohexyl)dibromo- λ^4 -selane, selenium

Селен является важным микроэлементом для человека. Дефицит селена в организме человека способствует развитию таких распространенных патологий, как инсульт головного мозга, сердечно-сосудистые заболевания, в том числе атеросклероз и ишемическая болезнь сердца, болезнь Паркинсона, болезнь Альцгеймера, артрит, диабет и многие другие заболевания [4, 7–9].

Развитие химии селенорганических соединений рассматривается сегодня как важный аспект современной науки. Прогресс селенорганической химии имеет большое значение не только для получения фундаментальных знаний, но и для практического

использования. Органические соединения селена используются для получения полупроводниковых материалов, пленок и покрытий, аккумуляторов солнечной энергии. Комплексы с переносом заряда и ион-радикальные соли на основе селенсодержащих гетероциклов обладают свойствами органических металлов. Кроме того, селенорганические соединения проявляют широкий спектр биологической активности.

Синтез новых селенорганических соединений и исследование их химических свойств, а также биологической активности является важной задачей для химиков-синтетиков.

Нами систематически изучаются реакции присоединения электрофильных селеносодержащих реагентов, в том числе галогенидов селена, к ненасыщенным соединениям, содержащим двойную связь [1, 2, 5, 6]. Одним из основных направлений наших исследований является разработка эффективных методов синтеза функциональных селеноорганических соединений – веществ с потенциальной биологической активностью и ценных полупродуктов для органического синтеза. Синтез новых селеноорганических соединений с целью поиска препаратов с высокой биологической активностью является актуальной задачей.

С целью получения новых функциональных галогенсодержащих селеноорганических соединений – веществ с потенциальной биологической активностью и ценных полупродуктов для органического синтеза – нами исследованы реакции тетрахлорида и тетрабромид селена с 1-гексеном.

В литературе содержатся ограниченные сведения о реакциях тетрахлорида и тетрабромид селена с алкенами [3].

Материалы и методы исследования

Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C регистрировали на приборе Bruker DPX-400 (рабочие частоты 400,13, и 100,61 МГц соответственно) в CDCl_3 , внутренний стандарт – ГМДС. Элементный анализ выполнен на приборе Thermo Finigan EA 1112.

Синтез бис(2-хлоргексил)дихлор- λ^4 -селана. Типичная методика. К смеси 2,21 г (10 ммоль) тетрахлорида селена и 20 мл хлороформа при температуре -20°C добавили по каплям раствор 0,84 г (10 ммоль) 1-гексена в 10 мл хлороформа. Смесь перемешивали в течение 5 часов при температуре -20°C и 2 часа при комнатной температуре. Растворитель отогнали на ротационном испарителе. Перекрыт стабилизацией остатка из четыреххлористого углерода получили 2,5 г продукта (выход 82%), $T_{\text{пл}}$ 45–47 $^\circ\text{C}$.

Спектр ^1H ЯМР, δ , м.д.: 0,94 (т, 6 H, CH_3), 1,48–1,56 (м, 8 H, CH_2), 2,12–2,20 (м, 2 H, CH_2), 2,24–2,32 (м, 2 H, CH_2), 4,12–4,24 (м, 4 H, CHSe), 4,64–4,72 (м, 2 H, CHCl).

Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 14,12 (CH_3); 21,92 (CH_2); 30,56 (CH_2); 37,35 (CH_2); 56,76 (CHCl); 68,65 (CH_2Se); 68,72 (CH_2Se).

Найдено, %: C, 36,87; H, 6,04; Cl, 36,78; Se, 19,93. $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{Cl}_4\text{Se}$. Вычислено, %: C, 37,04; H, 6,22; Cl, 36,45; Se, 20,29.

Синтез бис(2-хлоргексил)селана. Типичная методика. К раствору 0,61 г (2 ммоль) бис(2-хлоргексил)дихлор- λ^4 -селана в бензоле добавили раствор 1,7 г (10 ммоль) метабисульфита натрия и перемешивали смесь 3 часа при комнатной температуре. Органическую фазу отделили, сушили Na_2SO_4 , растворитель отогнали на ротационном испарителе. Получили 0,42 г продукта (выход 90%).

Спектр ^1H ЯМР, δ , м.д.: 0,95 (т, 6 H, CH_3); 1,30–1,41 (м, 4 H, CH_2); 1,48–1,59 (м, 4 H, CH_2); 1,58–1,67 (м, 2 H, CH_2); 1,91–1,99 (м, 2 H, CH_2); 2,90–2,99 (м, 4 H, CH_2Se); 3,94–4,03 (м, 2 H, CHCl).

Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 13,91 (CH_3); 21,85 (CH_2); 29,06 (CH_2); 33,18 (CH_2Se , $^1J_{\text{C-Se}}$ 68 Гц); 33,34 (CH_2Se , $^1J_{\text{C-Se}}$ 68 Гц); 37,01 (CH_2); 61,72 (CHCl); 61,81 (CHCl).

Найдено, %: C, 45,58; H, 7,76; Cl, 21,98; Se, 25,13. $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{Cl}_2\text{Se}$. Вычислено, %: C, 45,30; H, 7,60; Cl, 22,28; Se, 24,82.

Бис(2-бромгексил)селенид. Спектр ^1H ЯМР, δ , м.д.: 0,95 т (6 H, CH_3); 1,39–1,56 м (8 H, CH_2); 1,76 м (2 H, CH_2); 2,03 м (2 H, CH_2); 3,02–3,10 м (2 H, CH_2Se); 3,17–3,22 м (2 H, CH_2Se); 4,09 м (2 H, CHBr).

Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 13,91 (CH_3); 21,89 (CH_2); 29,29 (CH_2); 33,71 (SeCH_2 , $^1J_{\text{C-Se}}$ 69 Гц); 33,95 (SeCH_2 , $^1J_{\text{C-Se}}$ 69 Гц); 37,04 (CH_2); 54,25 (CHBr); 54,44 (CHBr).

Найдено, %: C 35,69; H 5,79; Br 38,96; Se 18,98; $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{SeBr}_2$. Вычислено, %: C 35,41; H 5,94; Br 39,26; Se 19,40.

Бис(2-бромгексил)дибром- λ^4 -селан, $T_{\text{пл}}$ 53–57 $^\circ\text{C}$. Спектр ^1H ЯМР, δ , м.д.: 0,95 (т, 6 H, CH_3); 1,46–1,54 (м, 8 H, CH_2); 1,96–2,03 (м, 2 H, CH_2); 2,06–2,13 (м, 2 H, CH_2); 4,08–4,20 (м, 4 H, CHSe); 4,57–4,66 (м, 2 H, CHBr).

Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 13,91 (CH_3); 18,98 (CH_2); 30,83 (CH_2); 36,89 (CH_2); 48,02 (CHBr); 66,72 (CHSe).

Найдено, %: C, 25,71; H, 4,45; Br, 55,86; Se, 14,34. $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{SeBr}_4$. Вычислено, %: C, 25,42; H, 4,27; Br, 56,38; Se, 13,93.

Результаты исследования и их обсуждение

Нами систематически изучены реакции тетрахлорида и тетрабромид селена с 1-гексеном.

Тетрахлорид и тетрабромид селена получены взаимодействием элементарного селена с галогенирующими агентами: хлористым сульфуром и бромом в среде четыреххлористого углерода. Реакция элементарного селена с бромом протекает при комнатной температуре, в то время как для получения тетрахлорида селена требуется нагревание элементарного селена в избытке хлористого сульфурида (схема 1).

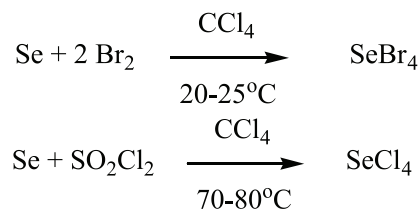


Схема 1

Установлено, что реакция тетрахлорида селена с 1-гексеном эффективно протекает в среде хлороформа или хлористого метилена при температуре порядка -20°C и приводит к продукту присоединения по правилу Марковникова, бис(2-хлоргексил)дихлор- λ^4 -селану, с выходом 82% (схема 2).

Восстановлением бис(2-хлоргексил)дихлор- λ^4 -селана в двухфазной системе раствор продукта в бензоле – водный раствор метабисульфита натрия с выходом 90% получен бис(2-хлоргексил)селан (схема 3).

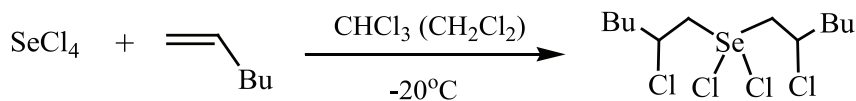


Схема 2

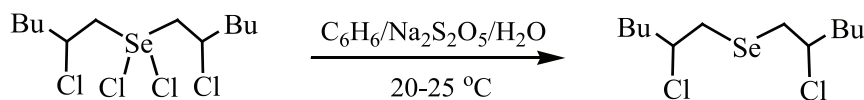


Схема 3

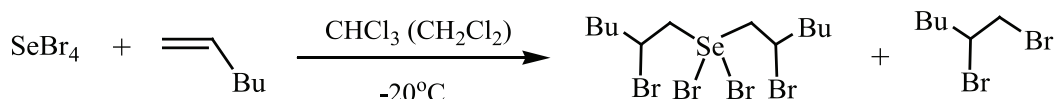


Схема 4

Реакция тетрабромида селена с 1-гексеном, в отличие от аналогичной реакции тетрахлорида селена, сопровождается бромированием двойной связи 1-гексена, и наряду с продуктом присоединения по правилу Марковникова, бис(2-бромгексил)дибром- λ^4 -селаном, образуется продукт присоединения брома по двойной связи 1-гексена, 1,2-дибромгексан с выходом 12% (схема 4). Выход основного продукта, бис(2-бромгексил)дибром- λ^4 -селана, составляет 68%.

Установлено, что для восстановления бис(2-бромгексил)дибром- λ^4 -селана в качестве растворителя лучше использовать четыреххлористый углерод. Реакция протекает в двухфазной системе раствор продукта в четыреххлористом углероде – водный раствор метабисульфита натрия (схема 5). Выход целевого продукта, бис(2-бромгексил)селана, составляет 92%.

Установлено, что с высоким выходом можно провести обратную реакцию. Бромированием бис(2-бромгексил)селана элементарным бромом в гексане с выходом 98% получен бис(2-бромгексил)дибром- λ^4 -селана (схема 6). Реакцию следует проводить при температуре -20°C .

Реакцию хлорирования бис(2-хлоргексил)селана хлористым сульфуром лучше проводить в среде четыреххлористого углерода при температуре 0°C (схема 7). Выход (2-хлоргексил)селана составляет 96%.

Таким образом, на основе реакции тетрахлорида и тетрабромида селена с 1-гексеном разработаны эффективные и технологичные способы получения бис(2-хлоргексил)дихлор- λ^4 -селана, бис(2-бромгексил)дибром- λ^4 -селана, бис(2-хлоргексил)селана и бис(2-бромгексил)селана с высокими выходами.

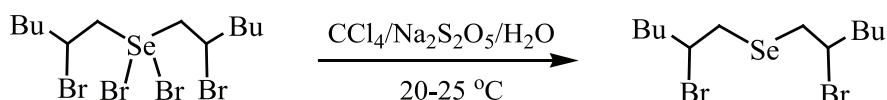


Схема 5

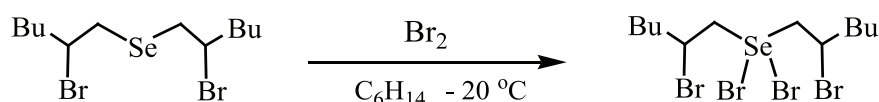


Схема 6

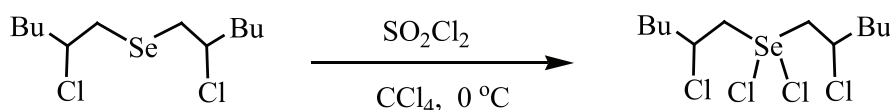


Схема 7

Полученные соединения являются перспективными полупродуктами для органического синтеза с потенциальной биологической активностью. Бис(2-хлоргексил)селан и бис(2-бромгексил)селана имеют способные к дальнейшей функционализации группы (атомы хлора и брома, которые способны вступать в реакции нуклеофильного замещения).

Разработанные эффективные способы получения селанов, способных к дальнейшей функционализации, открывают возможности их практического использования в синтезе новых селеноорганических соединений.

Выводы

1. Реакции тетрахлорида и тетрабромидов селена с 1-гексеном протекают с высокой региоселективностью: атом селена присоединяется исключительно к терминальному атому углерода двойной связи 1-гексена с образованием продуктов присоединения по правилу Марковникова. На основе этой реакции разработаны эффективные и технологичные способы получения бис(2-хлоргексил)дихлор- λ^4 -селана и бис(2-бромгексил)дибром- λ^4 -селана с высокими выходами.

2. Восстановление бис(2-хлоргексил)дихлор- λ^4 -селана и бис(2-бромгексил)дибром- λ^4 -селана в двухфазной системе раствор продукта в бензоле или четыреххлористом углероде – водный раствор метабисульфита натрия приводит к бис(2-хлоргексил)селану и бис(2-бромгексил)селану с выходом более 90%.

3. Галогенирование бис(2-хлоргексил)селана и бис(2-бромгексил)селана хлористым сульфуром или бромом в гексане

или четыреххлористом углероде приводит к бис(2-хлоргексил)дихлор- λ^4 -селану и бис(2-бромгексил)дибром- λ^4 -селану с практически количественными выходами (96–98%).

Работа выполнена в рамках проекта Российского научного фонда (№ 14-13-01085). Основные результаты получены с использованием материально-технической базы Байкальского аналитического центра коллективного пользования СО РАН.

Список литературы

1. Потапов В.А., Куркутов Е.О., Мусалов М.В., Амосова С.В. Эффективный метод синтеза бис(тетрагидро-2Н-пиран-2-илметил)селенида // Известия АН Серия химическая – 2015. – № 12. – С. 2973.
2. Потапов В.А., Мусалов М.В., Куркутов Е.О., Мусалова М.В., Албанов А.И., Амосова С.В. Синтез функциональных селеноорганических соединений на основе реакции гетероциклизации диалогенидов селена с пент-4-ен-1-олом // Журнал органической химии – 2016. – Т. 50, № 3. – С. 360–363.
3. Campbell T.W., Walker H.G., Coppinger G.M. Some aspects of the organic chemistry of selenium // Chem. Rev. – 1952. – Vol. 50. – P. 279–349.
4. Nogueira C.W., Zeni G., Rocha J.B.T. Organoselenium and organotellurium compounds: Toxicology and pharmacology // Chem. Rev. – 2004. – Vol. 104. – P. 6255–6286.
5. Potapov V.A., Musalov M.V., Musalova M.V., Amosova S.V. Recent advances in organochalcogen synthesis based on reactions of chalcogen halides with alkynes and alkene // Curr. Org. Chem. – 2016. – Vol. 20. – P. 136–145.
6. Potapov V.A., Musalov M.V., Amosova S.V. Reactions of selenium dichloride and dibromide with unsaturated ethers. Annulation of 2,3-dihydro-1,4-oxaselenine to the benzene ring // Tetrahedron Lett. – 2011. – Vol. 52. – P. 4606–4610.
7. Tiekink, E.R.T. Therapeutic potential of selenium and tellurium compounds: Opportunities yet unrealized // Dalton Trans. – 2012. – Vol. 41. – P. 6390–6395.
8. Ross J.A., Kasum C.M. Dietary flavonoids: bioavailability, metabolic effects, and safety // Ann. Rev. Nutr. – 2002. – Vol. 22. – P. 19–34.
9. Schwarz K., Foltz C.M. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration // J. Am. Chem. Soc. – 1957. – Vol. 79. – P. 3292–3293.

УДК 544.6.018.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ СМЕСЕЙ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Балданова Д.М., Танганов Б.Б.

ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления»,

Улан-Удэ, e-mail: darbal@rambler.ru

Многокомпонентные растворы электролитов являются наиболее распространенными объектами химической технологии. В настоящее время нет теоретической модели, описывающей с единых позиций диссипативные свойства растворов электролитов и их смесей. Этим определяется актуальность исследований их свойств, в том числе и электрических. В данной работе показывается одно из возможных решений проблемы теоретического моделирования электрической проводимости смесей растворов электролитов. Предлагаемая модель основана на введении мольных долей соответствующих ионов составляющих смесь в уравнение электропроводности, полученное в рамках плазмоподобной концепции состояния ионов в растворах электролитов. В рамках данной модели теоретически оценены электропроводности смесей галогенидов, нитратов и перхлоратов одно-, двух, трехвалентных металлов и аммония в диапазоне концентраций 0,0001–3,0 моль/л и температур 288–323 К. В связи с тем, что в справочной литературе практически отсутствуют достоверные значения электропроводностей смесей электролитов, получены их экспериментальные значения и сравнены с соответствующими данными теоретических расчетов. Исследования показали, что использование мольных долей ионов в уравнении для электропроводности позволяет теоретически оценивать электропроводность многокомпонентных растворов электролитов в хорошем соответствии с экспериментальными данными.

Ключевые слова: электролиты, смеси, мольные доли, плазмоподобная концепция, электропроводность

DETERMINATION OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF THE MIXTURES OF AQUEOUS ELECTROLYTE SOLUTIONS

Baldanova D.M., Tanganov B.B.

East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, e-mail: darbal@rambler.ru

Multi-component electrolyte solutions are of the greatest practical interest for modern technologies in various industries. Currently there is no theoretical model describing the same positions dissipative properties of electrolyte solutions and mixtures of electrolyte solutions. Therefore, research in this area of chemistry has not lost its relevance. In this paper we show one of the possible solutions to the problem of theoretical modeling of electrical conductivity of mixtures of electrolyte solutions. The proposed model is based on the introduction of mole fractions of the respective components of the mixture in the ion conductivity equation. This equation is obtained under the concept of plasma-state ions in electrolyte solutions. In this model theoretically evaluated conductivity of mixtures of halides, nitrates and perchlorates solutions of single, double, trivalent metal and ammonium in the range concentrations of 0,0001–3,0 mol/l and temperatures 288–323 K. Also experimental values are obtained and compared with the corresponding data theoretical calculations. Studies have shown that the use of mole fractions of ions in the equation for the conductivity is theoretically allows to evaluate the electrical conductivity of multicomponent electrolyte solutions are in good agreement with the experimental data.

Keywords: electrolytes, mixtures, the mole fractions, plasma-concept, conductivity

Многокомпонентные растворы электролитов являются наиболее распространенными объектами химической технологии. Однако оптимальный подбор компонентов для получения электролитных систем с требуемыми физико-химическими и электрохимическими параметрами является сложной задачей. Так, при исследовании электропроводности смесей электролитов необходимо учитывать, что даже в отсутствие химического взаимодействия между ионами закон независимого движения Кольрауша строго выполняется только при бесконечном разбавлении. Согласно теории Онзагера и Фуюсса [6], в растворах смесей электролитов, если сравнивать их с индивидуальными растворами, меняются силы релаксацион-

ного торможения. Межионные же взаимодействия в смеси электролитов уменьшают различие в подвижностях одноименнозаряженных ионов, а увеличение концентрации смеси приводит к росту ассоциаций ионов, что приводит к увеличению отклонений от аддитивности и все закономерности еще более усложняются [1, 8]. Таким образом, можно сделать вывод, что, несмотря на определенные успехи в развитии теоретических представлений, современная теория растворов смесей электролитов разработана недостаточно, а используемые теоретические модели для решения данной задачи относительно точны в области малых концентраций и имеют значительные расхождения в области высоких концентраций [5, 7, 9].

В работах [2, 3] показана возможность применения плазменной модели состояния вещества к совокупности ионов в растворах слабых и сильных электролитов, поскольку растворы электролитов по основным параметрам газовой и твердотельной плазмы занимают промежуточное положение по пространственно-временным масштабам разделения зарядов, плазменному параметру и условию квазинейтральности. Полученные результаты позволили рассчитывать теоретически, без привлечения произвольных подгоночных параметров все диссипативные свойства растворов электролитов (электропроводность, диффузия, вязкость, теплопроводность) в широком диапазоне изменения концентраций в удовлетворительно соответствием с экспериментально определенными литературными данными с точностью от 1 до 2%. Авторами было получено уравнение для расчета электропроводности в приближении плазмоподобного состояния ионов в растворах электролитов в виде

$$\lambda_c = \frac{Fe^3}{4\epsilon U^2} \left[\frac{2}{\mu_s} \left(\frac{5}{2} RT - 2\hbar\omega^{1/2} \right) \right]^{1/2} \times \alpha \exp \left(-\frac{\hbar\omega}{k_B T} \right), \quad (1)$$

где концентрация электролита включена в значение потенциальной энергии взаимодействия частиц, определяемой выражением

$$\hbar\omega = \left(\frac{4\pi Z^2 e^2 \hbar^2 C N_A}{1000 \cdot \mu_0} \right)^{1/2}.$$

Таким образом, уравнение для расчета электропроводности индивидуальных растворов электролитов имеет вид

$$\lambda_c = \frac{FZe^3}{4\epsilon U^2} \times \left[\frac{2}{\mu_s} \left(\frac{5}{2} RT - 2 \left(\frac{4\pi Z^2 e^2 \hbar^2 C N_A}{1000 \cdot \mu_0} \right)^{1/2} \right) \right]^{1/2} \times \alpha \exp \left(-\frac{4\pi Z^2 e^2 \hbar^2 C N_A}{1000 \cdot \mu \cdot k_B^2 T^2} \right), \quad (2)$$

где F – постоянная Фарадея; Z – эффективный заряд; e – элементарный заряд; ϵ – диэлектрическая постоянная среды;

R – универсальная газовая постоянная; T – температура в К; η – постоянная Планка; C – концентрация электролита в моль/л; N_A – постоянная Авогадро; k_B – постоянная Больцмана; U – энергия водородной связи; μ_0 – приведенная масса несольватированных ионов; μ_s – приведенная масса сольватированных ионов; α – степень диссоциации, для сильных электролитов степень $\alpha = 1$, а для слабых электролитов возможно определение α из закона разбавления Оствальда по известным значениям K_d :

$$\alpha = -\frac{K_d}{2C_0} + \left(\frac{K_d^2}{4C_0^2} + \frac{K_d}{C_0} \right)^{1/2},$$

где C_0 – исходная концентрация в моль/л.

Предлагаемое уравнение (2) для индивидуальных растворов электролитов в водных и неводных средах объясняет λ практически во всем диапазоне концентраций.

В настоящей работе для решения проблемы теоретических оценок электропроводности смесей электролитов с различными эквивалентными концентрациями $C_1, C_2, \dots, C_n$ предлагается ввести мольные доли ионов для смесей электролитов в состав приведенных масс сольватированных и несольватированных ионов, поскольку движения различных ионов в смеси электролитов являются сопряженными и коррелированными [4]:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n;$$

$$1/\mu_0 = N_1/m_1 + N_2/m_2 + \dots + N_n/m_n; \quad (3)$$

$$1/\mu_s = N_1/m_{s1} + N_2/m_{s2} + \dots + N_n/m_{sn}, \quad (4)$$

где $N_1, N_2, \dots, N_n$ – мольные доли ионов:

$$N_1 = C_1/C; N_2 = C_2/C; \dots; N_n = C_n/C,$$

$m_1, m_2, \dots, m_n$ – массы несольватированных ионов в смеси; $m_{s1}, m_{s2}, \dots, m_{sn}$ – массы сольватированных ионов в смеси, рассчитанные по уравнению

$$m_s = Mn_s + m,$$

где M – молярная масса растворителя; m – масса несольватированного иона; n_s – сольватное число. Определение сольватных чисел отдельных ионов возможно на основе следующих рассуждений.

Ион с зарядом $Z_i e$ взаимодействует с n_s молекулами растворителя, имеющими дипольный момент p и дипольное расстояние

R_0 . Такое взаимодействие является ион-дипольным. Потенциалы иона и диполя при этом равны соответственно

$$\varphi_i = N_A \frac{z_i e}{\varepsilon \cdot r_i} \text{ и } \varphi_D = \frac{p}{\varepsilon \cdot R_0^2}. \quad (5a)$$

Их потенциальные энергии имеют следующий вид:

$$e\varphi_i = 2F \text{ и } e\varphi_D = \mu, \quad (5b)$$

где μ – химический потенциал молекулы растворителя; F – изохорно-изотермический потенциал или свободная энергия.

Для ион-дипольного взаимодействия можно записать первое начало термодинамики в виде

$$TdS + \mu dN = dU + A,$$

где $A = pdE$ – есть работа, совершаемая ионом по ориентации n_s молекул растворителя в сольватный комплекс под действием поля иона E_b . Тогда имеет место следующее выражение:

$$dU - TdS = \mu dN - pdE_b. \quad (6)$$

Значение этой работы pdE можно установить из выражения термодинамики диэлектриков во внешнем поле E_b в виде

$$TS = -\frac{1}{2} pE_b. \quad (7)$$

Тогда

$$TdS + SdT = -\frac{1}{2} pdE_b - \frac{1}{2} E_b dp.$$

При p и $s = \text{const}$ имеет место

$$2SdT = -pdE_b. \quad (8)$$

Подставляя это значение pdE в уравнение (6), получим

$$dU - TdS - SdT = \mu dN + SdT = dF. \quad (9)$$

Значение SdT можно установить из определения:

$$dU = dF + SdT.$$

Выразив из этого выражения SdT и подставив в уравнение (9), получим

$$dF = \mu dN + dU - dF$$

или, иначе,

$$2dF - \mu dN = dU. \quad (10)$$

Здесь изменение внутренней энергии есть

$$dU = C_v dT = \frac{3}{2} R dT = \frac{3}{2} N_A k_B dT.$$

Интегрирование уравнения (10) приводит к виду

$$2 \cdot (F - F_0) - \mu \cdot N = \frac{3}{2} N_A k_B T,$$

где $2(F - F_0) = \sum_{i=1}^{N_A} e\varphi_i = N_A e\varphi_i$ и $N = n_s N_A$.

Тогда с учетом выражений (5) получим следующее уравнение:

$$n_s = \left(\frac{ZeR_0^2}{rp} \right) - \left(\frac{3\varepsilon k_B TR_0^2}{2ep} \right), \quad (11)$$

где Z – заряд иона; R_0 – радиус молекулы растворителя; r – радиус иона; p – дипольный момент; e – заряд электрона; ε – диэлектрическая постоянная среды; T – температура; k_B – постоянная Больцмана.

Результаты рассчитанных величин сольватных чисел ионов и их сопоставление с литературными данными приведены в табл. 1.

Таблица 1

Данные теоретических оценок сольватных чисел ионов в воде при $T = 298 \text{ К}$

Ионы	$r \cdot 10^{10}, \text{ м}$	$n_s^{\text{расч.}}$	$n_s^{\text{Э.Э.}}$	$n_s^{\text{Р.С.}}$	Ионы	$r \cdot 10^{10}, \text{ м}$	$n_s^{\text{расч.}}$	$n_s^{\text{Э.Э.}}$	$n_s^{\text{Р.С.}}$
Li^+	0,74	5,72	5,00	7,00	Mn^{2+}	1,05	8,82	—	—
Na^+	0,98	4,04	4,00	3,50	Fe^{2+}	1,06	9,13	—	—
K^+	1,26	2,92	3,00	1,90	Zn^{2+}	0,96	9,34	—	—
Rb^+	1,37	2,60	1,20	—	Cd^{2+}	0,93	9,67	—	—
Cs^+	1,46	2,37	—	—	Hg^{2+}	1,00	8,84	—	—
Ag^+	1,39	2,55	—	—	Al^{3+}	0,56	25,6	21,0	—
Be^{2+}	0,49	19,3	—	—	Cr^{3+}	0,77	18,4	—	—
Mg^{2+}	0,73	12,6	13,0	13,2	Fe^{3+}	0,75	18,9	—	—
Ca^{2+}	0,93	9,67	—	12,0	Cl^-	1,84	1,67	3,00	—
Sr^{2+}	1,02	3,73	—	10,7	Br^-	1,96	1,50	2,00	—
Ba^{2+}	1,11	7,94	—	7,70	J^-	2,15	1,28	1,00	—

Полученные величины сольватных чисел далее используем при расчете электропроводностей электролитных систем.

В связи с тем, что в справочной литературе отсутствуют достоверные зна-

чения электропроводностей смесей электролитов, получены их экспериментальные значения и сравнены с соответствующими данными теоретических расчетов.

Таблица 2

Эквивалентная электропроводность λ ($\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$) смеси водных растворов

C_1 , моль/дм ³	C_2 , моль/дм ³	N_1	N_2	$1/\mu_0$	$1/\mu_s$	f_M	$\lambda_{\text{расч}}$	$\lambda_{\text{эксп}}$
KBr + NH ₄ Cl при $T = 293$ К								
1,5	1,5	0,5	0,5	0,0609	0,0317	0,6991	71,1	68,3
1,5	1,0	0,6	0,4	0,0563	0,0301	0,7303	74,1	72,8
1,5	0,5	0,75	0,25	0,0495	0,0276	0,7683	76,7	75,0
1,0	1,5	0,4	0,6	0,0654	0,0333	0,7126	75,2	72,8
1,0	1,0	0,5	0,5	0,0609	0,0317	0,7465	78,7	80,2
1,0	0,5	0,67	0,33	0,0533	0,0289	0,7891	81,8	87,3
0,5	1,5	0,25	0,75	0,0723	0,0357	0,7272	80,4	76,9
0,5	1,0	0,33	0,67	0,0685	0,0344	0,7645	85,0	83,8
0,5	0,5	0,5	0,5	0,0609	0,0317	0,8132	89,5	88,9
KBr + NaNO ₃ при $T = 293$ К								
1,5	1,5	0,5	0,5	0,0488	0,0243	0,7257	66,1	65,9
1,5	1,0	0,6	0,4	0,0467	0,0241	0,7511	69,4	70,4
1,5	0,5	0,75	0,25	0,0434	0,0239	0,7812	73,2	78,8
1,0	1,5	0,4	0,6	0,0510	0,0244	0,7415	68,5	67,6
1,0	1,0	0,5	0,5	0,0488	0,0243	0,7697	72,2	74,5
1,0	0,5	0,6666	0,3333	0,0452	0,0241	0,8039	80,4	74,8
0,5	1,5	0,25	0,75	0,0542	0,0247	0,7589	75,9	70,5
0,5	1,0	0,3333	0,6666	0,0524	0,0245	0,7986	79,9	79,7
0,5	0,5	0,5	0,5	0,0488	0,0243	0,8310	80,9	81,9
KCl + MgCl ₂ при $T = 288$ К								
0,5	0,5	0,5	0,5	0,0545	0,0239	0,7547	66,5	66,5
0,5	0,05	0,909	0,09	0,0539	0,0304	0,8126	83,8	91,8
0,5	0,005	0,990	0,009	0,0537	0,0317	0,8199	86,7	97,5
0,05	0,5	0,09	0,909	0,0551	0,0174	0,8106	63,2	65,5
0,05	0,05	0,5	0,5	0,0545	0,0239	0,9148	88,3	88,9
0,05	0,005	0,909	0,09	0,0539	0,0304	0,9365	103,0	105,1
0,005	0,5	0,009	0,99	0,0553	0,0161	0,8176	61,5	63,5
0,005	0,05	0,093	0,909	0,0551	0,0174	0,9357	77,8	83,9
0,005	0,005	0,5	0,5	0,0545	0,0239	0,9722	96,3	103,0
KCl + AlCl ₃ при $T = 288$ К								
0,5	0,5	0,5	0,5	0,0501	0,0211	0,7187	59,6	81,0
0,5	0,05	0,909	0,09	0,0531	0,0299	0,7771	80,1	95,8
0,5	0,005	0,990	0,009	0,0537	0,0316	0,7842	83,5	96,7
0,05	0,5	0,09	0,909	0,0471	0,0121	0,7885	52,2	63,1
0,05	0,05	0,5	0,5	0,0501	0,0211	0,9008	83,4	89,6
0,05	0,005	0,909	0,09	0,0531	0,0299	0,9233	103,1	105,7
0,005	0,5	0,009	0,99	0,0465	0,0104	0,7975	49,1	61,5
0,005	0,05	0,093	0,909	0,0471	0,0121	0,9276	66,2	81,6
0,005	0,005	0,5	0,5	0,0501	0,0211	0,9675	92,3	104,9

Для измерения удельной электрической проводимости растворов электролитов использовалась термостатируемая кондуктометрическая ячейка, подключенная к кислородомеру «Анион-410» фирмы ИНФРА-СПАК-АНАЛИТ (Россия), где в основе измерения удельной электрической проводимости раствора положен принцип измерения проводимости раствора в ячейке Кольрауша. Для обеспечения достоверности и точности измерений использовался комбинированный выносной датчик ДКВ-1, являющийся кондуктометрическим первичным преобразователем, представляющий собой четырехэлектродную ячейку погружного типа со стальным электродом марки 12Х18Н9Т.

В задачу экспериментальной части работы входило измерение электропроводности смесей растворов электролитов при 9 различных концентрациях для 171 смеси двойных систем 19 различных составов.

В табл. 2 представлены некоторые результаты экспериментально полученных и теоретически оцененных по уравнению (2) электрических проводимостей смесей растворов электролитов с учетом мольных долей каждого компонента.

Сопоставление рассчитанных величин электропроводностей с экспериментальными данными для тройных водных систем, в которых два электролита имеют общий ион, показывает лучшее соответствие. В случае двух электролитов, не имеющих общего иона, наблюдается различие рассчитанных и эксперименталь-

ных значений электропроводности. Это явление объясняется, по-видимому, тем, что в таких растворах кроме исходных электролитов образуются и перекрестные соединения.

Таким образом, теоретически оцененные величины электропроводностей смесей растворов электролитов в соответствии с уравнением (2) и учетом мольных долей ионов, хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Список литературы

1. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. – М.: Высшая школа, 1975. – 568 с.
2. Балданов М.М. Состояние ионов в растворах электролитов в приближении ионной плазмы / М.М. Балданов, М.В. Мохосоев // ДАН СССР. – 1985. – Т. 284, № 6. – С. 1384–1387.
3. Балданов М.М. Плазмоподобное состояние растворов электролитов и диссипативные процессы / М.М. Балданов, Б.Б. Танганов, М.В. Мохосоев // ДАН СССР. – 1989. – Т. 308, № 2. – С. 397–401.
4. Балданов М.М., Танганов Б.Б., Балданова Д.М. Модель гидродинамических флуктуаций в оценке электропроводности смесей электролитов // Теория электроаналитической химии и метод инверсионной вольтамперометрии: матер. Симп. «ТЭАХ и ИВ-2000». – Томск, 2000. – С. 303–304.
5. Ермаков В.И. Электропроводность многокомпонентных растворов электролитов / В.И. Ермаков, В.М. Чембай. – М.: Изд-во РХТУ им Д.И. Менделеева, 1995. – 47 с.
6. Измайлов Н.А. Электрохимия растворов. – М.: Химия, 1976. – 488 с.
7. Ларин Б.М. Электропроводность водных растворов регенерационных агентов / Б.М. Ларин, А.Н. Коротков, М.Ю. Опарин // Теплоэнергетика. – 1995. – № 7. – С. 25–27.
8. Робинсон С. Растворы электролитов / Р. Робинсон, Р. Стокс. – М.: ИЛ, 1963. – 646 с.
9. Щербаков Ю.М. Электропроводность водных растворов пропионовой кислоты, пропионата натрия и их смесей / Ю.М. Щербаков, Т.Н. Понамарева, В.В. Артемкина // Электрохимия. – 2008. – Т. 44, № 10. – С. 1275–1280.

УДК 547-31/-39: 54.022: 544.169/. 176/.183.26

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ γ-МЕТАКРИЛОКСИПРОПИЛТРИМЕТОКСИСИЛАНА С КАТАЛИЗАТОРАМИ КИСЛОТНОГО ТИПА

¹Бондалетов В.Г., ¹Бочкарев В.В., ²Огородников В.Д.,¹Байкова Н.А., ¹Кухленкова Н.О.¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, e-mail: bondaletovVG@mail.ru;²Институт химии нефти СО РАН, Томск, e-mail: ovod@ipc.tsc.ru

Изучено комплексобразование γ-метакрилоксипропилтриметоксисилана (МПТМС) с катализаторами кислотного типа как первой стадии процесса каталитического образования силановых производных норборнена. С помощью ЯМР ¹H-спектроскопии и полумпирического метода РМ7 исследованы комплексы МПТМС с протонными и апротонными кислотами и установлено, что величина смещения сигналов протонов МПТМС в комплексах зависит от устойчивости образующихся комплексов. Установлены линейные зависимости между расчетными величинами $\ln K_p$ и экспериментальными значениями химического сдвига сигналов протонов метильной группы метакрилового фрагмента МПТМС в комплексах. Методами ЯМР ¹H-спектроскопии и квантовой химии показано, что МПТМС с CH_3COOH образует наиболее устойчивый комплекс с координацией протона кислоты по карбонильному атому кислорода, а моно- и трихлоруксусные кислоты – с координацией протона кислоты по группе $-\text{OCH}_3$. Установлено, что кислоты Льюиса, за исключением BF_3 , могут образовывать комплексы как 1:1, так и комплексы 2:1; в комплексах TiCl_4 и SnCl_4 координация происходит как по карбонильному атому кислорода, так и по атому кислорода метоксигруппы.

Ключевые слова: γ-метакрилоксипропилтриметоксисилан, комплексы, карбоновые кислоты, трифторид бора, тетрагидрид титана, тетрагидрид олова

COMPLEXATION γ-METHACRYLOXYPROPYLTRIMETHOXYSILANE WITH THE CATALYST OF THE ACID TYPE

¹Bondaletov V.G., ¹Bochkarev V.V., ²Ogorodnikov V.D., ¹Baykova N.A., ¹Kukhlenkova N.O.¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: bondaletovVG@mail.ru;²Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Division of the Russian Academy of Sciences,
Tomsk, e-mail: ovod@ipc.tsc.ru

Study complexation γ-methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPTMS) with the catalysts of acid type as first stage of process of catalytic formation of silane derivatives of a norbornene. By means of nuclear magnetic resonance of ¹H-spectroscopy and the semi-empirical PM7 method the MPTMS complexes with proton and aprotionny acids are investigated and it is determined that the size of shift of signals of protons of MPTMS in complexes depends on stability of the formed complexes. Linear dependences between the calculated values $\ln K_p$ and experimental values of chemical shift of signals of protons of methyl group of a methacrylic fragment of MPTMS in complexes are established. By the nuclear magnetic resonances methods of ¹H-spectroscopy and quantum chemistry it is shown that MPTMS with CH_3COOH forms the steadiest complex with coordination of a proton of acid on carbonyl atom of oxygen, and mono- and trichloroacetic acid with coordination of a proton of acid on group $-\text{OCH}_3$. It is found that Lewis acids, except for BF_3 , can form complexes as 1:1, and complexes 2:1; in the TiCl_4 and SnCl_4 complexes coordination happens both on carbonyl atom of oxygen and on oxygen atom of methoxy group.

Keywords: γ-methacryloxypropyltrimethoxysilane, complexes, carboxylic acid, boron trifluoride, titanium tetrachloride, tin tetrachloride

В настоящее время интерес к карбоциклическим соединениям норборненового типа значительно вырос в связи с тем, что наличие дис-ориентированного непредельного напряженного углеводородного скелета позволяет рассматривать их как потенциальные полифункциональные мономеры. Существует теоретическая и практическая возможность и необходимость получения полимеров с реализацией различных механизмов полимеризации. Полимеризация непредельных напряженных циклов, к которым относятся норборненовый или циклопентеновый циклы, может протекать как

по метатезисному механизму с раскрытием цикла и образованием углеводородной цепи с регулярным расположением двойной связи, так и по аддитивному с раскрытием двойной связи и образованием линейного полимера имеющего в цепи напряженный насыщенный цикл (рис. 1).

Одним из наиболее распространенных подходов к синтезу производных норборнена являются реакции 1,4-присоединения диенофилов к сопряженным кратным связям циклопентадиена (ЦПД) [5], позволяющие получать как карбо-, так и гетероциклические соединения [8, 6, 14]. Механизм

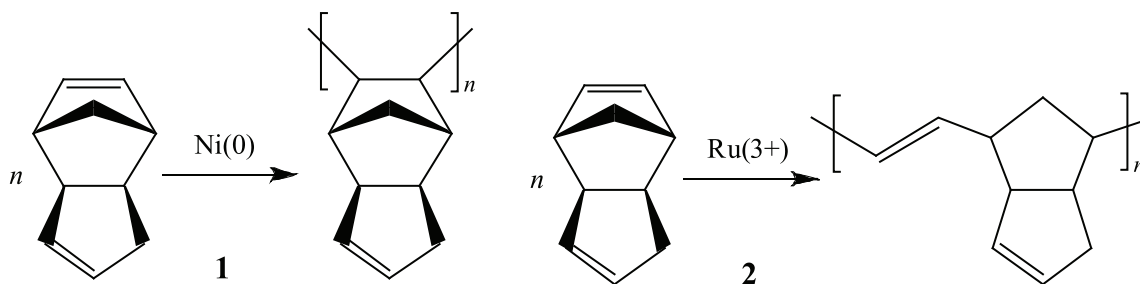


Рис. 1. Схема реакции полимеризации дициклопентадиена:
1 – аддитивный механизм; 2 – метатезисный механизм с раскрытием цикла

реакций Дильса – Альдера предполагает образование эндо- и экзо-стереоизомеров и их соотношение определяется различными внутренними и внешними факторами, в том числе термодинамическими параметрами образующихся соединений [5, 7].

Исследованию каталитических реакций 1,4-присоединения различными соединениями, в том числе протонными и апротонными кислотами, посвящен ряд работ [16, 13, 15]. На результат реакции (выход аддуктов, соотношение изомеров) в значительной мере влияют используемые растворители, молекулы которых, вероятно, являются составной частью каталитического комплекса [7, 11]. Исследования каталитических реакций ЦПД с различными диенофилами, имеющими в своей структуре одну или более функциональных групп или гетероатомов, являются более актуальными ввиду своих обширных синтетических возможностей.

Таковыми структурами, в частности, являются непредельные соединения с силановой группой, как связанной с двойной связью, так и связанной через мостиковый фрагмент. Интерес к силановым непредельным соединениям связан с разными причинами, в частности с использованием их в качестве мономеров для получения полимерных газопроницаемых селективных мембран, а также для получения новых агентов для сшивки полиолефиновых композиционных материалов. Отличием норборненовых производных от существующих сшивающих агентов является наличие циклоолефиновой двойной $\text{C}=\text{C}$ связи, обуславливающее возможность полимеризации и сополимеризации по катионному механизму. Такая возможность предполагает создание новых сополимерных термопластичных материалов, сшивающихся при гидролизе водой или водными растворами.

Одним из способов получения производных норборнена, имеющих в 5-положении заместители, содержащие силоксановые функциональные группы – $\text{Si}(\text{OR})_3$ являют-

ся реакции между ЦПД и g-метакрилокси-пропилтриметоксисиланом, катализируемые протонными и апротонными кислотами.

В работе [1] было экспериментально показано, что скорость реакции между МПТМС и ЦПД и выход продукта сополимеризации зависит от типа используемого катализатора, его способности к комплексообразованию с исходными мономерами.

Изучение строения органических соединений и механизма реакций тесно связано с использованием квантово-химических расчетов, позволяющих оценить электронное строение и геометрию молекул, суммарные заряды на атомах, энтальпию образования, изменение кратности двойной связи мономера в результате вхождения его в состав донорно-акцепторного комплекса. В комплексах мономер обычно выступает как нуклеофильный агент, что влечет за собой перераспределение электронной плотности на атомах углерода двойной связи по сравнению со свободным мономером.

Хорошее соответствие между расчетными по методу РМ6 и экспериментальными данными отмечалось при интерпретации ЯМР ^1H спектров комплексов эфиров метакриловой кислоты с TiCl_4 [2, 3]. При изучении особенностей и механизма взаимного влияния атомов в комплексных хлорсодержащих соединениях Sn с успехом были использованы полуэмпирический метод РМ3 [4] и неэмпирические методы квантовой химии [12]. Анализ экспериментальных данных по ЯКР ^{35}Cl спектрам комплексов элементов IVA группы с расчетами различными методами квантовой химии показал [12], что целесообразно использовать метод RHF/6-31G(d), который дает наилучшее соответствие с экспериментальными данными при вычислении частот ЯКР ^{35}Cl и параметров асимметрии градиента электрического поля на ядрах ^{35}Cl . Использование методов более высокого уровня и более широких базисных наборов не приводит

Таблица 1

Химические сдвиги протонов МПТМС и его комплексов с протонными кислотами

Группа	Химические сдвиги протонов, δ , м. д.						
	МПТМС	МПТМС + +CH ₃ COOH(1)	$\Delta\delta$	МПТМС + +CH ₂ ClCOOH(2)	$\Delta\delta$	МПТМС + +CCl ₃ COOH(3)	$\Delta\delta$
–C ⁸ H ₂ –	0,501	0,595	0,094	0,657	0,156	0,677	0,176
C ⁴ H ₃ –	1,734	1,831	0,097	1,873	0,139	1,883	0,149
OCH ₃	3,366	3,468	0,102	3,517	0,151	3,534	0,168
–C ⁶ H ₂ –	3,914	4,013	0,099	4,057	0,143	4,080	0,166
C ^{1a} H ₂ =	5,351	5,446	0,095	5,500	0,149	5,529	0,178
C ^{1b} H ₂ =	5,895	5,995	0,100	6,046	0,151	6,066	0,171

Таблица 2

Химические сдвиги протонов комплексов МПТМС с апротонными кислотами

Группа	Химические сдвиги протонов, δ , м. д.					
	МПТМС+ + TiCl ₄ (4)	$\Delta\delta$	МПТМС+ + SnCl ₄ (5)	$\Delta\delta$	МПТМС+ + BF ₃ ·O(C ₂ H ₅) ₂ (6)	$\Delta\delta$
–C ⁸ H ₂ –	0,877	0,376	0,690	0,189	0,600	0,099
C ⁴ H ₃ –	1,963	0,229	1,923	0,189	1,866	0,132
OCH ₃	3,565	0,199	3,521	0,155	3,426	0,060
–C ⁶ H ₂ –	4,380	0,466	4,170	0,256	4,093	0,179
C ^{1a} H ₂ =	5,762	0,411	5,604	0,253	5,508	0,157
C ^{1b} H ₂ =	6,375	0,480	6,144	0,249	6,037	0,142

По величине увеличения смещения сигналов протонов соответствующих групп комплексы с протонными кислотами располагаются в ряд:



Для апротонных кислот:



Причем для комплексов TiCl₄ и SnCl₄ наблюдается наибольшее смещение сигналов протонов относительно свободного МПТМС. То есть апротонные кислоты оказывают более сильное влияние на перераспределение электронной плотности в молекуле МПТМС, чем протонные кислоты.

Для комплексов МПТМС с протонными кислотами наибольшее смещение сигналов протонов относительно свободного МПТМС наблюдается для метоксильной группы триметоксисилильного фрагмента, C^{1a}H₂= и C^{1b}H₂= винильной группы. Это свидетельствует о возможном участии винильной и метоксильных групп в процессе комплексообразования с протонными кислотами.

Для комплексов МПТМС с апротонными кислотами наибольшее смещение сигналов протонов относительно свободного МПТМС наблюдается для метиленовой –C⁶H₂– группы и C^{1a}H₂=, C^{1b}H₂= виниль-

ной группы. Для метоксильной группы это смещение минимально, по сравнению с сигналами протонов других групп, что говорит о малом участии CH₃O–группы в реакции комплексообразования с апротонными кислотами.

Молекула МПТМС имеет несколько реакционных центров, способных к комплексообразованию с кислотами: атом кислорода карбонильной группы, винильная группа, атомы кислорода оксипропильной группы и оксиметильной групп триметоксисилильного фрагмента. Поэтому существует возможность образования комплексов типа $n\pi$ (n – неподеленная пара электронов карбонильной (эфирной) группы донора, π – вакантная орбиталь акцептора) или $\pi\pi$ (π – электроны ненасыщенных связей донора). Также следует учитывать, что TiCl₄ и SnCl₄ могут образовывать комплексные соединения состава 1:1, 2:1 различной пространственной структуры:

тетраэдра, тригональной бипирамиды, октаэдра [9, 10]. Для выяснения особенностей строения образующихся комплексов нами был использован полуэмпирический метод PM7.

Расчеты для комплексов МПТМС с протонными кислотами показали, что карбоновые кислоты образуют наиболее устойчивые комплексы двух типов: с координацией

протона кислоты по карбонильному атому кислорода, или по атому кислорода группы $-\text{OCH}_3$. Геометрия комплексов представлена на рис. 3, термодинамические характеристики реакции комплексообразования в табл. 3. Комплексы с координацией по винильной группе и по атому O^5 оксипропильной группы являются неустойчивыми.

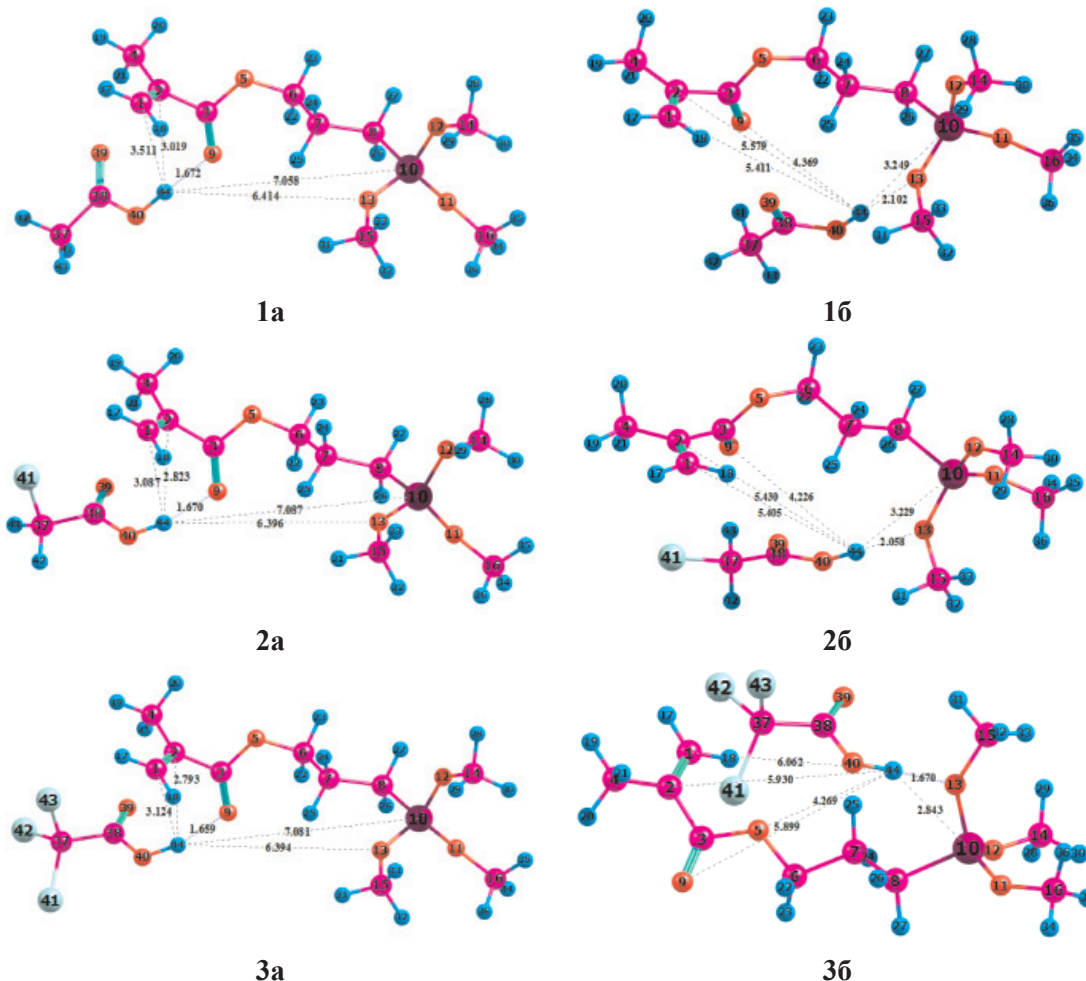
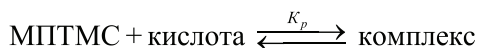


Рис. 3. Геометрия наиболее устойчивых комплексов МПТМС с протонными кислотами: 1 – МПТМС· CH_3COOH ; 2 – МПТМС· $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$; 3 – МПТМС· CCl_3COOH ; а – координация по атому O^9 карбонильной группы; б – координация по атому O^{13} группы $-\text{OCH}_3$

Таблица 3

Термодинамические характеристики реакции образования комплексов



Комплекс	$\Delta H_{298,r}$, кДж/моль	$\Delta S_{298,r}$, Дж/(моль·К)	$\Delta G_{298,r}$, кДж/моль	$\ln K_p$
1a	–44,25	–143,38	–1,52	0,61
1b	–42,73	–155,71	3,67	–1,48
2a	–86,78	–173,11	–35,19	14,20
2b	–94,61	–190,02	–37,99	15,33
3a	–83,32	–166,80	–33,61	13,57
3b	–108,61	–203,59	–47,94	19,35

Представленные данные свидетельствуют, что CH_3COOH образует наиболее устойчивый комплекс с МПТМС с координацией протона кислоты по карбонильному атому кислорода. Для комплексов МПТМС с более сильными кислотами (CH_2ClCOOH , CCl_3COOH) более устойчивыми являются комплексы с координацией

протона по атому кислорода группы $-\text{OCH}_3$. Доказательством этому является то, что в ЯМР ^1H -спектре комплекса 3 наблюдается расщепление сигнала протонов группы $-\text{OCH}_3$ на 2 дуплета: 3,534 м. д. ($J = 4,5$ Гц) и 3,505 м. д. ($J = 5,1$ Гц) с соотношением интегральных интенсивностей 2:1, чего не наблюдается в спектре комплекса 1.

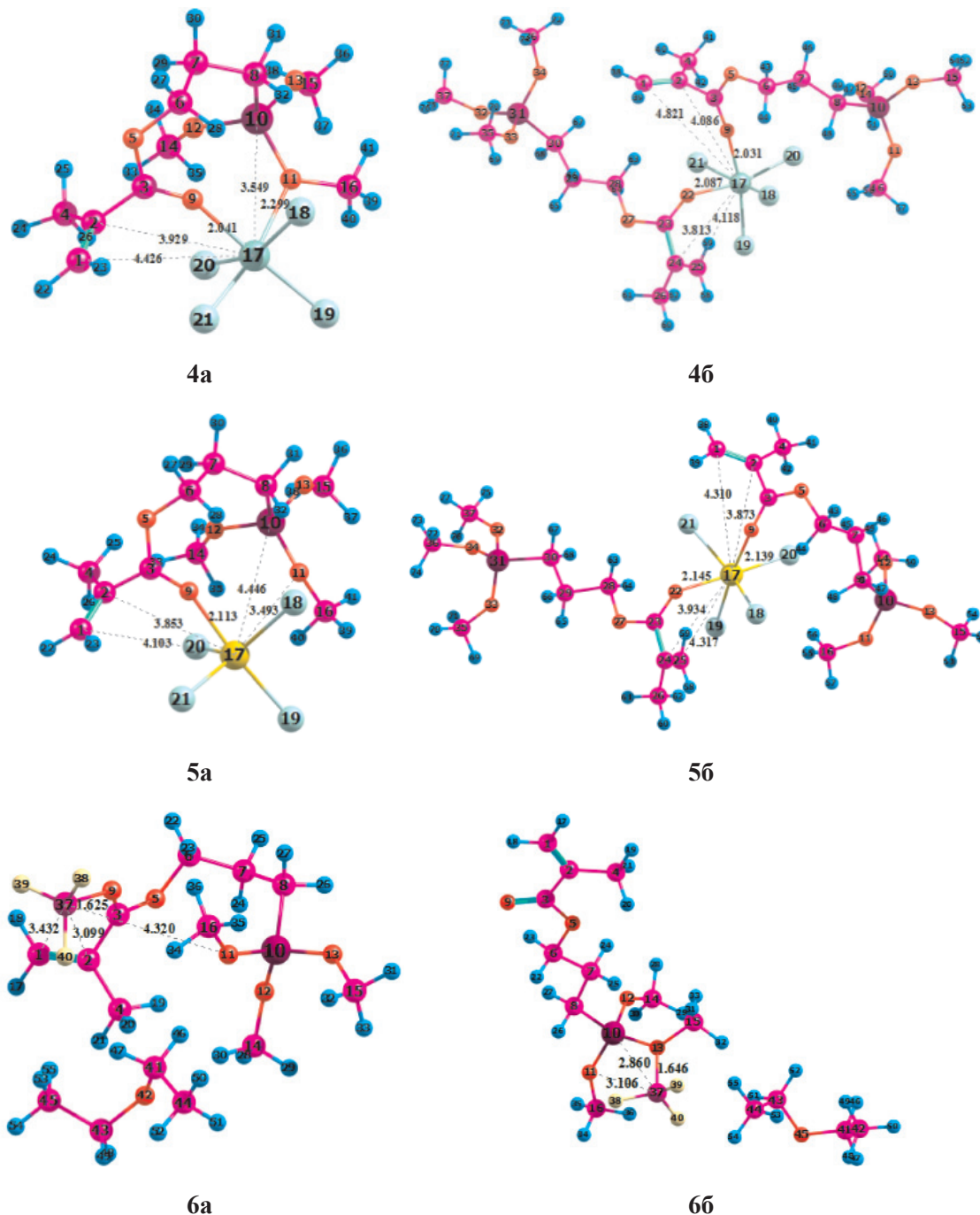


Рис. 4. Геометрия наиболее устойчивых комплексов МПТМС с апротонными кислотами:
 4а – МПТМС· TiCl_4 ; 4б – $2\text{МПТМС} \cdot \text{TiCl}_4$; 5а – МПТМС· SnCl_4 ; 5б – $2\text{МПТМС} \cdot \text{SnCl}_4$;
 6а – МПТМС· $\text{BF}_3 \cdots \text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ (координация по атому O^9); 6б – МПТМС· $\text{BF}_3 \cdots \text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$
 (координация по атому O^{11})

Образование водородной связи карбоновой кислоты с группой $-\text{OCH}_3$ триметоксильного фрагмента должно очень слабо влиять на изменение электронной плотности винильной группы МПТМС. Расчетное значение суммарного заряда на группе $\text{C}^1\text{H}_2=\text{C}^2(\text{C}^4\text{H}_3)-\text{C}^3\equiv$ МПТМС меняется следующим образом: МПТМС (0,6415); **1a** (0,6849); **2b** (0,6879); **3b** (0,6524). То есть, трихлоруксусная кислота, несмотря на то, что образует самый прочный комплекс с МПТМС, практически не активирует двойную связь мономера. Отсюда следует вывод, что более сильные кислоты, скорее всего, будут взаимодействовать с группой $-\text{OCH}_3$ МПТМС и практически не оказывать никакого каталитического действия на активность мономера.

Расчеты для комплексов МПТМС с апротонными кислотами показали, что эфират трехфтористого бора может образовывать комплексы с МПТМС только состава 1:1, а TiCl_4 и SnCl_4 – состава 1:1 и 1:2. Геометрия наиболее устойчивых комплексов представлена на рис. 4, термодинамические характеристики реакции комплексообразования – в табл. 4.

$\text{BF}_3 \cdot \text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ с МПТМС образует устойчивые комплексы с координацией атома бора по карбонильному атому кислорода или по атому кислорода группы $-\text{OCH}_3$, причем комплексы с координацией по карбонильной группе являются более устойчивыми. Как и для протоновых кислот, комплексы с координацией по винильной группе и по атому O^5 оксипропильной группы являются неустойчивыми.

Взаимодействие эфира трифтористого бора с МПТМС является обменной реакцией, а комплексообразование TiCl_4 и SnCl_4 с МПТМС являются реакциями присоединения, с изменением координационного числа. Для корректного сравнения результатов по комплексообразованию апротонных кислот, в табл. 4 представлены также расчетные данные по реакции комплексообразования МПТМС с BF_3 (**6b**).

Сравнение результатов для протонных и апротонных кислот (табл. 3 и 4) позволяет отметить следующие закономерности: реакции комплексообразования кислот Льюиса с МПТМС являются более экзотермичными; кислоты Льюиса образуют более прочные комплексы с МПТМС чем протонные кислоты; кислоты Льюиса, за исключением BF_3 , могут образовывать комплексы как 1:1, так и комплексы 2:1.

Представленные в табл. 4 и рис. 4 данные свидетельствуют, что BF_3 и соответственно $\text{BF}_3 \cdot \text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ образуют наиболее устойчивые тетраэдрические комплексы с МПТМС с координацией атома бора по карбонильному атому кислорода. Для комплексов МПТМС с TiCl_4 и SnCl_4 более устойчивыми являются комплексы с координацией атома металла, как по карбонильному атому кислорода, так и по атому кислорода группы $-\text{OCH}_3$. При этом реализуется цис-конфигурация искаженного октаэдрического комплекса. Устойчивость комплексов 1:1 с МПТМС увеличивается в ряду **6b** $\approx$ **5a** < **4a**. Порядки связей $\text{Ti}-\text{O}^9$ (0,5129), $\text{Ti}-\text{O}^{11}$ (0,3588) значительно больше порядков связи $\text{Sn}-\text{O}^9$ (0,2884), $\text{Sn}-\text{O}^{11}$ (0,0038). Для комплексов трифторида бора порядки

Таблица 4

Термодинамические характеристики реакции образования комплексов с апротонными кислотами

Комплекс	$\Delta H_{298,r}$, кДж/моль	$\Delta S_{298,r}$, Дж/(моль·К)	$\Delta G_{298,r}$, кДж/моль	$\ln K_p$
4a*	–155,39	–260,68	–77,71	31,36
4b**	–239,21	–384,30	–124,68	50,33
5a*	–116,33	–218,03	–51,35	20,73
5b**	–191,44	–426,56	–64,32	25,96
6a***	–75,41	–194,74	–17,38	7,01
6b***	–30,80	–97,17	–1,84	0,74
6b*	–102,24	–173,30	–50,60	20,42

Примечания:

*МПТМС + TiCl_4 (SnCl_4 , BF_3) $\xrightleftharpoons{K_p}$ комплекс (1:1);

**2МПТМС + TiCl_4 (SnCl_4) $\xrightleftharpoons{K_p}$ комплекс (2:1);

***МПТМС + $\text{BF}_3 \cdot \text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ $\xrightleftharpoons{K_p}$ комплекс (1:1) + $\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$.

связи В–О⁹ (**6a** 0,4777; **6b** 0,5009), В–О¹¹ (**6a** 0,0; **6b** 0,000004). Возможность координации атома металла по одному или по двум центрам основности молекулы МПТМС должна отразиться в разных механизмах передачи электронных эффектов и соответственно влияет на смещение сигналов протонов в ЯМР ¹Н-спектрах комплексов, реакционную способность МПТМС. Это находит подтверждение в том, что расчетное значение суммарного заряда на фрагменте C¹H₂=C²(C⁴H₃)–C³≡ МПТМС для самого прочного комплекса **4a** (0,8051) меньше, чем для комплекса **5a** (0,8388), но больше заряда для комплексов **6a** (0,7593), **6b** (0,7320). То есть активация двойной связи МПТМС за счет комплексообразования с апротонными кислотами зависит не только от прочности образующихся промежуточных комплексов, но и механизма передачи электронных эффектов в этих комплексах.

Учитывая все вышесказанное, можно предположить, что химический сдвиг сигналов протонов в спектрах комплексов МПТМС с кислотами зависит от прочности образующихся комплексов, от взаимного расположения этих протонов от центров основности МПТМС (атомы О⁹, О¹¹), механизма передачи электронных эффектов. Анализ зависимостей химических сдвигов сигналов протонов в ЯМР ¹Н-спектрах комплексов МПТМС с кислотами от расчетных значений ln K_p, зарядов на отдельных атомах МПТМС, суммарного заряда на фрагменте C¹H₂=C²(C⁴H₃)–C³≡ МПТМС показал, что хорошая корреляция наблюдается только между величинами ln K_p и смещением сигналов протонов C⁴H₃-группы в комплексах, относительно свободного МПТМС. Регрессионные уравнения для комплексов:

с протонными кислотами

$$\ln K_p = 357,39 \cdot \Delta\delta^{C^4H_3} - 34,10;$$

$$R = 0,9995; \text{ (выборка } \mathbf{1a}, \mathbf{2b}, \mathbf{3b});$$

с апротонными кислотами

$$\ln K_p = 250,32 \cdot \Delta\delta^{C^4H_3} - 26,19;$$

$$R = 0,9992; \text{ (выборка } \mathbf{6a}, \mathbf{5a}, \mathbf{4a}).$$

Эти уравнения позволяют оценить прочность образующихся комплексов МПТМС с кислотами по химическим сдвигам сигналов протонов C⁴H₃-группы, что очень важно при выборе катализатора.

В реальных условиях проведения реакции сополимеризации МПТМС с другими

мономерами катализатор используется в каталитических количествах, то есть в условиях синтеза реализуется большой избыток мономера по отношению к катализатору. В этих условиях преимущественно образуются комплексы состава 2:1. Как показывают результаты расчета, в этом случае наиболее вероятно образование комплексов состава 2:1 с координацией TiCl₄ или SnCl₄ по двум карбонильным атомам О⁹ разных молекул МПТМС (рис. 4–4б; 4–5б). Для комплексов состава 2:1 отмечается больший перенос заряда на молекулу акцептора (**4b** –0,68344; **5b** –0,39163; против **4a** –0,5931; **5a** –0,20858) и, как следствие, достаточно высокое значение суммарного заряда на фрагменте C¹H₂=C²(C⁴H₃)–C³≡ МПТМС (**4b** –0,794821; **5b** 0,819144). Таким образом, TiCl₄ и/или SnCl₄, независимо от состава образующихся комплексов, активируют молекулу МПТМС, создавая избыточный положительный заряд на фрагменте молекулы, содержащем двойную связь, и могут служить эффективными катализаторами различных процессов.

Выводы

1. С помощью ЯМР ¹Н-спектроскопии и полуэмпирического метода PM7 исследованы комплексы МПТМС с протонными и апротонными кислотами и установлено, что величина смещения сигналов протонов МПТМС в комплексах зависит от устойчивости образующихся комплексов.

2. Для комплексов с карбоновыми кислотами и кислотами Льюиса отдельно установлены линейные зависимости между расчетными величинами ln K_p и экспериментальными значениями химического сдвига сигналов протонов метильной группы метакрилового фрагмента МПТМС в комплексах, что позволяет использовать найденные регрессионные уравнения для оценки устойчивости различных комплексов МПТМС.

3. Методами ЯМР ¹Н-спектроскопии и квантовой химии показано, что центрами основности в МПТМС являются карбонильный атом кислорода и атом кислорода СН₃О-группы триметоксисилильного фрагмента. Установлено, что МПТМС с СН₃СООН образует наиболее устойчивый комплекс с координацией протона кислоты по карбонильному атому кислорода, а моно- и трихлоруксусные кислоты с координацией протона кислоты по группе –ОСН₃.

4. Установлено, что реакции комплексообразования МПТМС с кислотами Лью-

иса являются более экзотермичными, чем с протонными кислотами; кислоты Льюиса образуют более прочные комплексы с МПТМС, чем протонные кислоты; кислоты Льюиса, за исключением BF_3 , могут образовывать комплексы как 1:1, так и комплексы 2:1; в комплексах TiCl_4 и SnCl_4 координация происходит как по карбонильному атому кислорода, так и по атому кислорода метоксигруппы.

Список литературы

1. Байкова Н.А., Кухленкова Н.О., Бондалетов В.Г. Влияние катализатора на выход продукта реакции цикlopentadiена и γ -метакрилоилпропилтриметоксисилана по реакции Дильса – Альдера // *Химия и химическая технология в XXI веке: мат. XVII Междунар. научно-практ. конф. им. проф. Л.П. Кулева* (Томск, 12–15 мая 2016 г.). – Томск, 2016. – С. 533–534.
2. Бондалетов В.Г. Исследование комплексов акриловых эфиров с тетрахлоридом титана // *Известия Томского политехнического университета*. – 2010. – Т. 318, № 3. – С. 92–96.
3. Бондалетова Л.И. Квантово-химические расчеты комплексов метилакрилата с тетрахлоридом титана // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 8/3. – С. 551–555.
4. Варнек В.А., Варнек А.А. О природе изомерного сдвига в комплексах тетрахлорида олова (IV) с органическими лигандами по данным квантово-химических расчетов // *Журнал структурной химии*. – 1997. – Т. 38, № 6. – С. 1160–1163.
5. Вассерман А. Реакция Дильса – Альдера: пер. с англ. А.И. Могиланского; ред. Л.М. Когана и О.Н. Темкина. – М.: Мир, 1988–1965. – 134 с.
6. Кейко Н.А. Бис(N,N-диметилгидразон)метилглиоксаль: синтез и некоторые реакции // *Журнал общей химии*. – 2012. – Т. 82, № 1. – С. 81–85.
7. Кисилев В.Д., Шакирова И.И., Коновалов А.И. Внутренние и внешние факторы, содействующие протеканию реакции Дильса – Альдера // *Известия РАН. Сер. хим.* – 2013, № 2. – С. 290–307.
8. Кисилев В.Д. Синтез и рентгеноструктурный анализ аддукта тиофена в реакции Дильса – Альдера с малеиновым ангидридом // *Ученые записки Казанского гос. университета. Серия ест. наук.* – 2012. – Т. 154, № 3. – С. 28–34.
9. Кравченко Э.А., Буслаев Ю.А. Электронные эффекты замещения и изменения координационного полиэдра в галогенсодержащих аддуктах непереходных элементов IV группы // *Успехи химии*. – 1999. – Т. 68, № 9. – С. 787–805.
10. Севастьянова Т.Н., Суворов А.В. Термодинамические характеристики образования некоторых аддуктов тетрахлорида титана как мера прочности донорно-акцепторной связи // *Координационная химия*. – 1997. – Т. 23, № 11. – С. 812–821.
11. Урядов В.Г., Офицеров Е.Н. Механизм активации органических реакций в растворе // *Бутлеровские сообщения*. – 2010. – Т. 23, № 13. – С. 75–85.
12. Фешин В.П. Проблемы координационных соединений элементов IVA группы по данным ЯКР и квантовой химии. – Пермь: Изд-во УрО РАН, 2015. – 362 с.
13. Hilt G., Nodding A. The correlation of Lewis Acidities of Silil triles with reaction rates of catalyzed Diels-Alder reactions // *Eur. J. Org. Chem.* – 2011. – № 35. – P. 7071–7075.
14. Raheem M.A., Tam W. Synthesis of C1-substituted 7-oxanorbornadienes // *Synth. Commun.* – 2013. – Vol. 43. – № 17. – P. 260–267.
15. Sanjib D., Prodeep P. Catalytic effects of molecular iodine in Diels-Alder Reaction. A density functional theory study // *Struct. Chem.* – 2011. – Vol. 22. – № 5. – P. 1075–1085.
16. Stefaniak W., Janus E., Michert E. Diels-Alder Reaction of Cyclopentadiene and Alkyl Acrylates in the Presence of Pyrrolidinium Ionic Liquids with Various Anions // *Catal. Lett.* – 2011. – Vol. 141. – № 5. – P. 742–747.
17. Stewart J.J.P. MOPAC2016, Version: 16.230W // *Stewart Computational Chemistry*. – URL: <http://OpenMOPAC.net> (дата обращения 17.10.2016).

УДК 543.572.3/.427.34: 546./289/.814/.86/.24

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЧЕНИЯ $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{--GeSnSb}_4\text{Te}_8$ КВАЗИТРОЙНОЙ СИСТЕМЫ $\text{GeTe--Sb}_2\text{Te}_3\text{--SnTe}$

Гурбанов Г.Р., Адыгезалова М.Б.

*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,
Баку, e-mail: ebikib@mail.ru, mehpareadigozeova@yahoo.com*

Впервые методами дифференциального термического (ДТА), рентгенофазового (РФА), микроструктурного анализа (МСА), а также измерением микротвердости и плотности в широком интервале концентраций изучены фазовые равновесия на разрезе $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{--GeSnSb}_4\text{Te}_8$ и построена ее диаграмма состояния. Было установлено, что он является частично квазибинарным разрезом эвтектического типа квазитройной системы $\text{GeTe--Sb}_2\text{Te}_3\text{--SnTe}$. Координаты эвтектической точки, полученные в разрезе $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{--GeSnSb}_4\text{Te}_8$ составляют 50 мол % $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$ ($\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$) и 700 К. В исследуемом разрезе при комнатной температуре растворимость на основе $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$ доходит до 10 мол % $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$. Растворимость на основе $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, практически не установлена. Монокристаллы твердых растворов на основе $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$ были выращены методом химических транспортных реакций. Установлено, что наилучший температурный режим для выращивания монокристаллов из области твердых растворов на основе $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$ из газовой фазы находится в интервале температур $T_1(650)\text{--}T_2(550)$ К, концентрация J_2 5 мг/см², продолжительность опыта 72 ч. Изучены физические свойства сплавов из областей твердых растворов. Установлено, что сплавы $(\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8)_{1-x}(\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5)_x$ являются полупроводниками р-типа проводимости.

Ключевые слова: фазовые равновесия, химические транспортные реакции, разреза $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{--GeSnSb}_4\text{Te}_8$, эвтектика, квазитройной системы

THE STUDY OF THE CUT $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{--GeSnSb}_4\text{Te}_8$ OF QUASI-TERNARY SYSTEM $\text{GeTe--Sb}_2\text{Te}_3\text{--SnTe}$

Gurbanov H.R., Adygezalova M.B.

*Azerbaijan State University of Oil and Industry,
Baku, e-mail: ebikib@mail.ru, mehpareadigozeova@yahoo.com*

For the first time by the methods of differential thermal (DTA), X-ray diffraction (XRD), microstructure analysis (MSA) and the measurement of micro-hardness and density in a wide range of concentrations, the phase equilibrium in the cut $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{--GeSnSb}_4\text{Te}_8$ has been studied and its state diagram has been built. It has been found that it is partially quasi-binary cuts of eutectic type of quasi-ternary system of $\text{GeTe--Sb}_2\text{Te}_3\text{--SnTe}$. The coordinates of the eutectic point obtained in the cut $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{--GeSnSb}_4\text{Te}_8$ come to 50 mol % $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$ ($\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$) and 700 K. In the investigated cut the solubility based on $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$ reaches 10 mol % $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ at room temperature. The solubility based on $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ has not been practically installed. The mono crystals of the solid solutions based on $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$ have been grown by chemical transport reactions. The alloys $(\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8)_{1-x}(\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5)_x$ are semiconductors of p-type conductivity.

Keywords: phase equilibrium, chemical transport reactions, cut $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{--GeSnSb}_4\text{Te}_8$, eutectic system, quasi-ternary

Основные положения теории термоэлектрического преобразования энергии с помощью полупроводников были сформулированы примерно пятьдесят лет тому назад Абрамом Федоровичем Иоффе и его ученикам в [5–7]. Монография [6] был раскритикована лишь спустя 5 лет. Предложенные советскими учеными в те годы теллуриды и селениды висмута остаются одними из лучших на сегодня термоэлектрических материалов.

К настоящему времени достигнуты значительные успехи в создании термоэлектрических генераторов и охладителей, сформированных на базе различных полупроводниковых материалов *n*- и *p*-типа.

Лучшими объемными материалами для термоэлементов, работающими в низкотемпературной области (до 600 К), по-

прежнему считаются материалы на основе соединений висмута (Bi_2Te_3 , Bi_2Se_3 , Bi_2Sb_3) и их твердых растворов. Максимум добротности этих материалов достигает $(3\text{--}3,2) \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$. Однако сегодня к термоэлектрическим материалам предъявляются новые требования, которые значительно превосходят указанные значения. Согласно сформулированным в США требованиям, добротность термоэлектрического материала при температурах, близких к комнатной, должна достигать значений $\sim 10 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ (критерий Иоффе $zT = 3$). Для получения таких больших значений z осуществляется поиск новых перспективных полупроводниковых соединений и твердых растворов. Для массового использования термоэлементов очень важно найти существенно более дешевые материалы.

В настоящее время основными компонентами для массового производства термоэлектрических материалов являются твердые растворы на основе Bi_2Te_3 и Sb_2Te_3 . За счет слоистости кристаллической структуры этих веществ наблюдается четко выраженная анизотропия различных физико-химических свойств, исследование магнитной восприимчивости дает дополнительную возможность для изучения.

Полупроводниковые твердые растворы в системах со значительной растворимостью в твердой фазе традиционно являются предметом интенсивных исследований, поскольку для них характерно монотонное изменение многих свойств (например, ширины запрещенной зоны, параметра элементарной ячейки) что позволяет варьировать функциональные свойства материала, меняя состав.

Природа полупроводниковых твердых растворов имеет несколько аспектов: межатомное взаимодействие, упорядочение, локальная структура, энергетические спектры, исследование которых необходимо для понимания и контроля происходящих в материале электрофизических явлений. Среди всего круга проблем первостепенной задачей таких исследований является установление координаты области гомогенности твердого раствора на соответствующей фазовой диаграмме, определение составов фаз в равновесиях твердый раствор – расплав и твердый раствор – пар при заданной температуре, что необходимо для выбора условий выращивания кристаллов и пленок с заданными свойствами [1].

Исходя из вышеизложенного как научный, так и практический интерес представляло бы изучение химического взаимодействия между теллуридными соединениями. Эта значительно расширило бы круг полупроводниковых материалов и позволило получать состав с заданными физическими и электрофизическими свойствами.

Целью настоящей работы является исследование взаимодействия по разрезу $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{--GeSnSb}_4\text{Te}_8$ квазитройной системы $\text{GeTe--Sb}_2\text{Te}_3\text{--SnTe}$, определение областей твердых растворов на основе исходных компонентов и изучение их некоторых электрофизических свойств.

Согласно [9] $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ плавится инконгруэнтно при 903 К и имеет гексагональную кристаллическую решетку с параметрами $a = 4,20$; $c = 16,96$ Å, пространственная группа симметрии $P\bar{3}m1$ [8].

По данным [4] $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$ плавится конгруэнтно при температуре 950 К

кристаллизуется в ромбической структуре с параметрами элементарной ячейки $a = 4,92$ Å, $b = 9,43$ Å, $c = 18,05$ Å пр.гр. P_{nm} $V = 837,44$ Å³. $Z = 2$.

Материалы и методы исследования

Сплавы системы $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{--GeSnSb}_4\text{Te}_8$ синтезировали в однотемпературной вертикальной печи при 700–1100 К в вакуумированных до 0,133 Па кварцевых ампулах с периодическим перемешиванием в жидком состоянии. Готовые образцы гомогенизировали при температуре 600 К в течение 240 ч. Термическое исследование показало, что в разрезе $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{--GeSnSb}_4\text{Te}_8$ протекает простое химическое взаимодействие.

Отожженные сплавы изучали методами дифференциального термического (ДТА), рентгенофазового (РФА), микроструктурного (МСА) анализа и измерением микротвердости и плотности.

ДТА проводили на приборе НТР-75, используя хромель-алюмелевые термопары. Скорость нагревания составляла 9 град/мин. Эталонном служил оксид алюминия.

РФА проводили на дифрактометре модели ДРОН-3 (CuK_α -излучение, Ni-фильтр). МСА изучали под микроскопом МИМ-7 на предварительно приготовленных шлифах (травитель – хромовая смесь), а измерения микротвердости – на микротвердомере ПМТ-3. Плотность сплавов определяли пикнометрическим взвешиванием, наполнителем служил толуол.

Результаты исследования и их обсуждение

На основании полученных результатов физико-химического анализа построена фазовая диаграмма разреза $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{--GeSnSb}_4\text{Te}_8$, представленная на рисунке.

Как видно из рисунка разрез является частично квазибинарным разрезом квазитройной системы $\text{GeTe--Sb}_2\text{Te}_3\text{--SnTe}$. Квазибинарность нарушается вблизи соединения $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, выше его температуры инконгруэнтного плавления. На фазовой диаграмме появляется поле $j + \text{GeTe}$, а на микроструктуре образцов, охлажденных из расплава и содержащих более 80 мол% $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, присутствует третья фаза GeTe . После отжига при 600 К кристаллы GeTe исчезают. Ниже температуры разложения $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ в равновесии находятся исходные фазы $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ и $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$. На дифрактограммах образцов сплавов, содержащих 0–97 мол% $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$ и отожженных при 600 К, присутствуют рефлексы α (твердый раствор на основе $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$) и $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$. Растворимость на основе $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ практически не установлена, а растворимость на основе $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$ составляет 10 мол%.

Результаты ДТА, измерения микротвердости и определения плотности сплавов разреза $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{--GeSnSb}_4\text{Te}_8$ представлены в табл. 1.

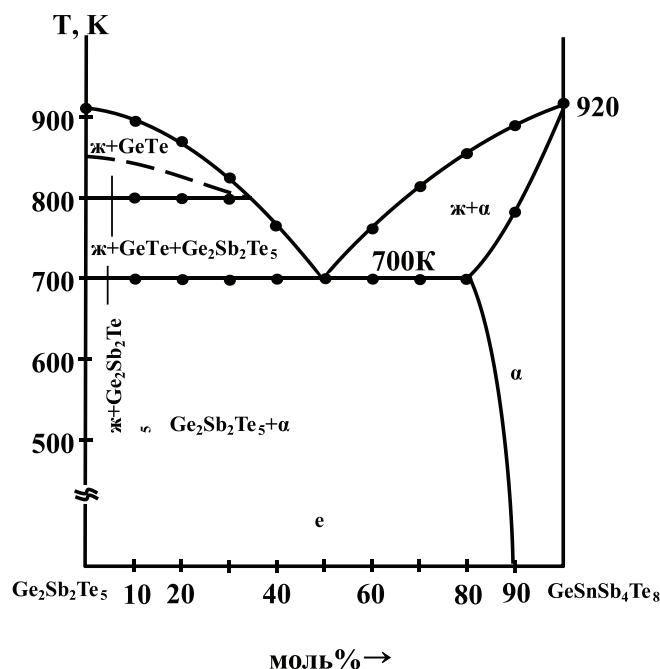


Диаграмма состояния сечения $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{--GeSnSb}_4\text{Te}_8$

Таблица 1

Результаты ДТА, плотности и микротвердости сплавов разреза $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{--GeSnSb}_4\text{Te}_8$

Состав, мол %		Термические эффекты нагрев, К	Микротвердость, мПа	Плотность, г/см ³	Фазовый состав
$\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$	$\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$				
100	0,0	903	750	6,44	однофазная
90	10	700, 800, 895	730	6,43	двухфазная
80	20	700, 800, 875	720	6,43	двухфазная
70	30	700, 800, 825	700	6,40	двухфазная
60	40	700, 770	680	6,38	двухфазная
50	50	эвтектика	эвтектика	6,36	двухфазная
40	60	700, 765	680	6,34	двухфазная
30	70	700, 815	660	6,32	двухфазная
20	80	700, 860	640	6,32	двухфазная
10	90	780, 890	620	6,35	однофазная
8	92	790, 895	620	6,37	однофазная
6	94	820, 905	615	6,37	однофазная
4	96	845, 910	605	6,38	однофазная
2	98	860, 915	600	6,38	однофазная
0,0	100	920	590	6,39	однофазная

История химической транспортной реакции (ХТР) начинается с 1852 г., когда немецкий ученый Бунзен предположил, что перенос Fe_2O_3 в вулканических газах происходит с помощью газообразного хлористого водорода. В бывшем СССР метод ХТР впервые был применен для очистки и выращивания монокристаллов полупроводниковых соединений [2].

Современная электронная, космическая и ядерная техника широко используют материалы со свойствами, которыми могут

обладать только вещества, полученные осаждением из газовой фазы с участием химических транспортных реакций [2]. Потому что преимущество метода ХТР заключается в том, что он не требует сложной технологии, одновременно идет очистка и рост монокристаллов. Процесс синтеза, выращивания монокристаллов и очистка происходят при температуре намного ниже температуры плавления соответствующих веществ, что позволяет синтезировать или получать монокристаллы инконгруэнтных

плавящихся и тугоплавких соединений. Также метод ХТР позволяет получить монокристаллы отдельных высокотемпературных модификаций, которые невозможно получить другими известными методами.

Поэтому после уточнения химического взаимодействия между компонентами в разрезе $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{--GeSnSb}_4\text{Te}_8$ мы приступили к получению монокристаллов из области твердых растворов на основе $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$ из газовой фазы методом химических транспортных реакций.

Для этого готовили кварцевые ампулы, вакуумировали их до 0,133 Па и запаивали. Затем ампулу в вакуумированном состоянии помещали в горизонтальную двухсекционную печь. Постоянство температуры поддерживалось включением в электрическую схему лабораторных трансформаторов и стабилизаторов напряжения. Измерение температуры проводилось с помощью хромель-алюмелевой термопары.

концентрации исследован разрез $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{--GeSnSb}_4\text{Te}_8$ и построены его Т-х диаграмма состояния.

2. Указано, что она является частично квазибинарным сечением квазитройной системы $\text{GeTe--Sb}_2\text{Te}_3\text{--SnTe}$.

3. Установлено, что разрез эвтектического типа, координаты эвтектической точки соответствуют 50 мол% $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$ ($\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$) и 700 К.

4. Растворимость на основе $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ практически не установлена, а растворимость на основе $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$ составляет 10 мол%.

5. Монокристаллы твердых растворов на основе $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$ были выращены методом химических транспортных реакций (ХТР).

6. Изучены некоторые электрофизические свойства монокристаллов твердых растворов на основе $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$, установлено, что сплавы из области твердых растворов обладают полупроводниковыми свойствами *p*-типа проводимости.

Таблица 2

Оптимальный режим выращивания монокристаллов твердых растворов на основе $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$

Состав монокристалла	Температурный режим		Носитель ~5 мг/см ³	Время, ч	Размер монокристаллов, мм ³
	T_1 , К	T_2 , К			
$(\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8)_{0,998}(\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5)_{0,002}$	550	650	J_2	72	$2 \times 7 \times 0,8$
$\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8)_{0,996}(\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5)_{0,004}$	550	650	J_2	72	$2 \times 7 \times 0,8$
$(\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8)_{0,994}(\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5)_{0,006}$	550	650	J_2	72	$2 \times 7 \times 0,8$
$(\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8)_{0,992}(\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5)_{0,008}$	550	650	J_2	72	$2 \times 7 \times 0,8$

Для выбора оптимального температурного режима было приготовлено 10 ампул с веществами, которые погружали в печь для выращивания монокристаллов твердых растворов на основе $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$.

Установлено, что наилучший температурный режим для выращивания монокристаллов из области твердых растворов на основе $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$ из газовой фазы находится в интервале температур $T_2(650)\text{--}T_1(550)$ К, концентрация J_2 5 мг/см³, продолжительность опыта 72 ч (табл. 2).

Изучены некоторые электрофизические свойства монокристаллов твердых растворов на основе $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$ в температурном интервале 300–800 К. Установлено, что все они являются полупроводниками *p*-типа проводимости.

Выводы

1. Впервые комплексными физико-химическими методами в широком интервале

Список литературы

1. Волыхов А.А., Яшина Л.В., Штанов В.И. О взаимодействии халькогенидов германия, олова и свинца в квазибинарных системах // Неорг. материалы. – 2006. – Т. 72. – № 6. – С. 662–671.
2. Гулиев Т.И. // Изв. вузов. Химия и хим.технология. – 1997. – Т. 40. – Вып. 5. – С. 3–11.
3. Гурбанов Г.Р., Адыгезалова М.Б. Новое четверное соединение $\text{GeSnSb}_4\text{Te}_8$ в квазитройной системе $\text{GeTe--Sb}_2\text{Te}_3\text{--SnTe}$ // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 6. – С. 14–18.
4. Гурбанов Г.Р. Диаграмма состояния системы $\text{GeSbBiTe}_4\text{--Sb}_2\text{Te}_3$ // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2011. – Т. 54. – Вып. 5. – С. 66–68.
5. Иоффе А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы. – М.-Л.: АН СССР, 1956.
6. Иоффе А.Ф. Энергетические основы термоэлектрических батарей из полупроводников. – М.-Л.: АН СССР, 1950. – 51 с.
7. Иоффе А.Ф., Стильбанс Л.С., Иорданишвили Е.К., Ставицкая Т.С., Термоэлектрическое охлаждение. – М.-Л.: АН СССР, 1956. – 112 с.
8. Карпинский О.Г., Шелимова Л.Е., Кретова М.А., Флериаль Ж.Н. // Неорг. материалы. – 1998. – Т. 34. – № 3. – С. 294–301.
9. Скумс В.Ф., Валиевский Б.Л., Пашко В.А. // ЖФХ. – 1985. – Т. 59. – № 9. – С. 2159–2162.

УДК 547.8:547.665:615.28:579.61

ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРЫ ХЛОРИНОВОГО РЯДА ДЛЯ АНТИМИКРОБНОЙ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ

^{1,2,3}Кустов А.В., ²Гарасько Е.В., ⁴Белых Д.В., ⁴Худяева И.С., ⁴Старцева О.М.,

^{1,3}Макаров В.В., ²Стрельников А.И., ³Березин Д.Б.

¹ФГБУН «Институт химии растворов им. Г.А. Крестова»

Российской академии наук, Иваново;

²ФГБОУ ВО «Ивановская государственная медицинская академия», Иваново;

³ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет»,
НИИ Макрогетероциклов, Иваново;

⁴ФГБУН «Институт химии» Коми научного центра УрО Российской академии наук,
Сыктывкар, e-mail: kustov@isuct.ru

Проведено исследование антимикробной активности шести фотосенсибилизаторов (ФС) хлоринового ряда в отношении фирмикутных бактерий *Staphylococcus aureus*, грациликутных бактерий *Escherichia coli* и грибов *Candida albicans*. Показано, что использование ФС, адсорбированных на твердых поверхностях, в случае плотных питательных сред в целом малоэффективно. Катионные ФС, в зависимости от величины заряда и положения заряженной группы в молекуле, при испытании в жидких питательных средах и невысоких концентрациях ФС (0,00005 моль/кг) обнаруживают высокую токсичность в отношении *Staphylococcus aureus* и *Candida albicans*, однако, практически не проявляют антимикробной активности в отношении грам-отрицательных микроорганизмов. Напротив, гидрофобное производное хлорина e_6 с фрагментом 2,3-дигидроксиметил-1,4-хиноксалина обладает достаточно высокой световой токсичностью в отношении всех трех видов микроорганизмов, что позволяет на данном этапе считать его перспективным для проведения антибактериальной фотодинамической терапии (ФДТ).

Ключевые слова: хлорины, фотосенсибилизаторы, антимикробная активность, фотодинамическое действие, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*

CHLORIN PHOTOSENSITISERS FOR ANTIMICROBIAL PHOTODYNAMIC THERAPY

^{1,2,3}Kustov A.V., ²Garasko E.V., ⁴Belykh D.V., ⁴Khudyaeva I.S., ⁴Startseva O.M.,

^{1,3}Makarov V.V., ²Strelnikov A.I., ³Berezin D.B.

¹G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Ivanovo;

²Ivanovo State Medical Academy, Ivanovo;

³Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Research Institute of Macroheterocyclic
Compounds, Ivanovo;

⁴Chemistry Institute of Komi Republic Scientific Centre of Ural branch of Russian Academy
of Sciences, Syktyvkar, e-mail: kustov@isuct.ru

The investigation of antimicrobial activity of six chlorin photosensitizers (PS) in relation to of firmicutes *Staphylococcus aureus*, gracilicutes *Escherichia coli* and fungi *Candida albicans* was performed. The using of PS which are adsorbed on solid surfaces are ineffective in the case of dense nutrient medium. According to the charge and the position of charged groups in the molecule, the cationic PS in liquid media at low PS concentrations (0.00005 mol/kg) were tested. Their high toxicity against *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans* and the absence of antimicrobial activity in relation to gram-negative microorganisms were shown. In contrast, the hydrophobic chlorin e_6 derivative with a fragment of 2,3-dihydroxymethyl-1,4-quinoxaline has a sufficiently high light toxicity against all three types of microorganisms, which allows to consider it as a promising antimicrobial drug for photodynamic therapy (PDT).

Keywords: chlorines, photosensitizers, antimicrobial activity, photodynamic effect, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*

Возрастающая полирезистентность патогенных микроорганизмов и особенно их госпитальных штаммов стала одной из наиболее грозных проблем здравоохранения многих стран мира [2, 7, 13]. Если в 1970-е гг. впервые были замечены микроорганизмы, устойчивые к целым группам антибактериальных

препаратов, то в конце 1990-х гг. уже появились штаммы, приобретшие устойчивость ко всем известным тогда антибиотикам. Казалось бы, с открытием антибиотиков такие тяжелые инфекционные процессы, как сепсис, перитонит, гангрена стали совершенно управляемыми, однако уже сегодня, вследствие

предопределенной генетически высокой приспособляемости бактерий к условиям среды, они опять уносят жизни миллионов людей.

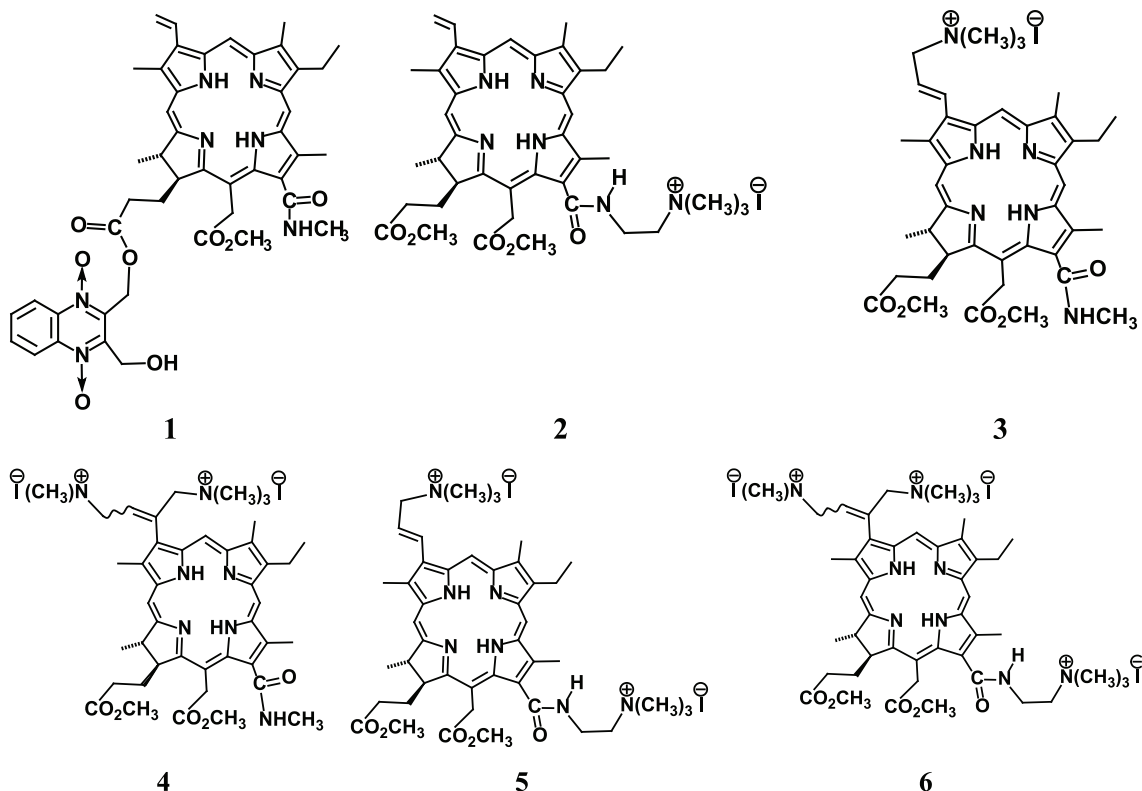
Генетический аппарат бактерий достаточно прост и включает всего лишь одну хромосому, содержащую порядка 3000 генов, и плазмиды – содержащие не более пары сотен генов, которые, однако, очень мобильны. Многие из этих участков ДНК, являясь транспозонами, легко перемещаются из плазмиды в плазмиду или непосредственно в хромосому, что обеспечивает их быстрое распространение внутри популяций, видов и даже между различными видами бактерий. Эти процессы в ходе борьбы за существование, наряду со спонтанными мутациями, являются основными причинами появления приобретенной устойчивости микроорганизмов к еще вчера высокоэффективным препаратам [6, 13]. Изменения проницаемости клеточной стенки, модификация мишени, выработка ферментов являются основными общепризнанными причинами постепенно развивающейся устойчивости микроорганизмов к антибактериальным препаратам [6, 13]. В частности, хорошо известно [3], что применение большинства лекарственных средств класса бета-лактамов в терапии современных внутрибольничных инфекций сопряжено с высоким риском неудачи, что требует назначения дорогостоящей и не всегда возможной целевой эмпирической комбинированной антибиотикотерапии. В этой связи, очевидно, что поиск новых эффективных методов борьбы с бактериальными инфекциями, и в особенности с их нозомикальными штаммами, обладающими перекрестной резистентностью, является одним из неоспоримых приоритетов отечественного здравоохранения.

Антибактериальная фотодинамическая терапия (ФДТ) представляет собой принципиально отличную от антибиотикотерапии стратегию лечения множества заболеваний, основанную на селективном накоплении и удерживании в атипичных или поврежденных клетках человека, а также непосредственно в клетках микроорганизмов окрашенных веществ – фотосенсибилизаторов (ФС). Эти вещества при воздействии видимого света определенной длины волны и соответствующей мощности гене-

рируют активные формы кислорода, что позволяет эффективно инактивировать атипичные клетки и микроорганизмы путем запуска каскада фотохимических реакций [8, 9, 11, 12, 15]. К настоящему времени в клинической практике используется ряд ФС для диагностики и лечения онкологических заболеваний, гнойно-воспалительных заболеваний ЛОР-органов, обработки ран и т.д. [8, 9, 11, 12, 15]. В отличие от антибиотиков противомикробное действие ФДТ не снижается со временем, а у патогенов не развивается устойчивости к ней [11, 15]. Бактерицидный эффект при этом лимитируется зоной лазерного облучения сенсibilизированных тканей, что позволяет избежать при проведении ФДТ генерализации побочных эффектов, наблюдаемых при применении антибиотиков и антисептиков. Заживление происходит по типу естественных репаративных процессов, поэтому метод является наиболее органосохраняющим, а также легко переносимым, что позволяет повторять лечение при необходимости многократно.

Вместе с тем использование существующих фотосенсибилизаторов для антибактериальной ФДТ имеет свои недостатки. В меру нашего понимания данной проблемы важными из них являются высокая стоимость лечения, длительная остаточная фототоксичность для ряда препаратов, таких как «Фотогем» и «Фотосенс», недостаточная степень чистоты ряда ФС, часто представляющих собой смесь родственных соединений [8, 9]. Нами был синтезирован, очищен и идентифицирован ряд соединений хлоринового типа (соед. 1–6) с целью разработки препаратов для антибактериальной ФДТ. С целью моделирования внутриклеточного транспорта была изучена их способность к генерации синглетного кислорода, распределение между псевдолипидной и водной фазами [4, 5, 16].

В настоящей работе представлены результаты лабораторного исследования антимикробной активности полученных препаратов в отношении дрожжеподобных микроскопических грибов (*Candida albicans* CCM 8261 ATCC 90028), грамположительных (*Staphylococcus aureus* 6538-P ATCC = 209-P FDA), грамотрицательных (*Escherichia coli* M-17) бактериальных штаммов.



Материалы и методы исследования

Синтез, очистка и идентификация препаратов

Изученные фотосенсибилизаторы (соед. 1–6): **1** – 17(3)-(2,3-дигидроксиметил-1,4-хиноксалин)-13(1)-N-метиламид хлорофилла e_6 , **2** – 13(1)-(N,N',N''-триметиламиноэтил)амид хлорофилла e_6 йодид; **3** – 3(2)-(N,N',N''-триметиламинометил)-13(1)-N-метиламид хлорофилла e_6 дийодид; **4** – 3(1),3(2)-бис-(N,N',N''-триметиламинометил)-13(1)-N-метиламид хлорофилла e_6 дийодид; **5** – 3(2)-(N,N',N''-триметиламиноэтил),13(1)-(N,N',N''-триметиламиноэтил)амид хлорофилла e_6 дийодид и **6** – 3(1),3(2)-бис-(N,N',N''-триметиламинометил),13(1)-(N,N',N''-триметиламиноэтил)амид хлорофилла e_6 трийодид были получены путем химической модификации хлорофилла, а точнее, его производного метилфеофорида, выделенного экстракцией из сине-зеленой водоросли *Spirulina Platensis* [1, 10, 14]. Очистку препаратов проводили путем колоночной хроматографии, а также перекристаллизацией. Спектральную идентификацию полученных соединений проводили методами масс-спектрометрии, ядерного магнитного резонанса и электронной спектроскопии. Подробная методика синтеза и идентификации соединений будет описана позднее в специализированной статье.

Растворы ФС готовились следующим образом. Препараты **2–6** готовились путем непосредственного растворения заданного количества вещества в воде для достижения концентрации 10^{-4} моль/кг. Нерастворимый в воде ФС **1** предварительно был растворен в небольшом количестве ацетона, содержащем расчетное количество ТВИН 80. Затем ацетон был выпарен под вакуумом при температуре 50°C и постоянном перемешивании. Далее к полученной вязкой жидкости под действием ультразвука (40 кГц; 70 Вт) постепенно добавлялось расчетное количество 10 %

водного раствора этанола до образования мицеллярного раствора ФС с содержанием ПАВ 1 мас. %. Проведенный анализ показал, что полученный раствор оставался стабильным в течение 2–3 недель.

Методика подготовки посевной дозы тест-культур

Суточные культуры тест-штаммов на скошенном мясоептонном агаре смывали физиологическим раствором и доводили до концентрации 500 млн микробных клеток в 1 мл (5 единиц по оптическому стандарту мутности). Посевную дозу 1000 клеток в 1 мл готовили из исходной стандартной взвеси многократным разведением.

Посев тест-культур на плотные питательные среды

На плотные питательные среды проводили посев описанных тест-культур. В чашки Петри с плотной питательной средой вносили 1 мл (1000 клеток) тест-культуры бактерий или грибов. Посев *Staphylococcus aureus* проводили в чашки Петри с желточно-солевым агаром (ЖСА), *Escherichia coli* – в чашки Петри со средой Эндо, *Candida albicans* – в чашки Петри со средой Сабуро. На подсушенные среды с тест-культурой накладывали исследуемые образцы, представляющие собой обработанные водным раствором соответствующего ФС кусочки фильтровальной бумаги, размером $7,5 \times 7,5$ мм. Через полчаса проводили сеанс ФДТ. Далее чашки Петри инкубировали 24 часа в термостате при 37°C . О результатах испытаний судили по степени угнетения зоны роста тест-культуры вокруг исследуемых образцов.

Посев тест-культур в жидкую питательную среду

В этой серии экспериментов в каждую лунку четырех стандартных луночных планшетов вносили 0,5 мл мясоептонного бульона с тест-культурой микроорганизмов (посевная доза 1000 клеток) и 0,5 мл

раствора фотосенсибилизатора. Через полчаса инкубации проводили сеанс ФДТ. Далее планшеты выдерживали 24 ч при температуре 37°C. Для подтверждения наличия бактерицидных свойств у исследуемых образцов проводился высев из всех лунок на чашки Петри с плотной питательной средой для подсчета колониеобразующих единиц (КОЕ).

Моделирование ФДТ in vitro

Моделирование антибактериальной ФДТ проводили в затемненном помещении при комнатной температуре путем облучения чашек Петри или планшетов с тест-культурами с помощью специального светодиодного источника видимого света («БМЦ», Минск) с регулируемой мощностью излучения и водяным охлаждением. Максимальная мощность излучения светодиодного планшета 0,2 Вт/см², площадь засвечиваемой поверхности 100 см², диапазон длин волн падающего света 660 ± 15 нм. Мощность излучения, расстояние до образца и время воздействия подбирались таким образом, чтобы обеспечить равномерное засвечивание исследуемых бактериальных культур, сообщив им дозу излучения 40 Дж/см² за время проведения обычной физиотерапевтической процедуры в клинике ~15 мин.

Результаты исследования и их обсуждение

Антибактериальная ФДТ на плотных питательных средах

Результаты проведенных исследований показали, что при нанесении красителей на фильтровальную бумагу и помещении ее на плотную питательную среду с микроорганизмами, не все исследуемые образцы после проведенного облучения подавляют рост тест-культур: *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* и грибов *Candida albicans*. В **первой серии экспериментов** при нанесении одной капли раствора ФС концентрацией 0,0001 моль/кг на фильтровальную бумагу, относительно высокую активность в отношении золотистого стафилококка продемонстрировали образцы 2, 3, 4 (рисунок), показавшие зоны задержки роста на среде ЖСА 15, 14 и 14 мм соответственно. В отношении *Escherichia coli* и грибов *Candida albicans* какой-либо антибактериальной активности установить не удалось.

Во второй серии экспериментов исследуемые образцы наносили на фильтровальную бумагу путем погружения ее в раствор ФС и далее раскладывали в чашки Петри со средами ЖСА, ЭНДО, Сабуро, содержащими тест-культуры. И в этом случае была подтверждена незначительная активность ФС в отношении микроорганизмов. Лишь образцы 3 и 4 показали зону задержки роста (по 12 мм) в отношении золотистого стафилококка. Был сделан вывод, что при нанесении красителя на бумагу он достаточно

сильно связывается с целлюлозой, что наряду с использованием в экспериментах плотной питательной среды ослабляет диффузию ФС и накопление его в достаточном количестве в микробных клетках. Отсюда следует, что использование, например, любых текстильных материалов, пропитанных растворами препаратов, при нанесении на раневую поверхность для проведения ФДТ может оказаться неэффективным из-за недостаточного увлажнения раны и малого времени инкубации. Для плотных сред это время должно быть, по-видимому, значительно больше 30 минут.

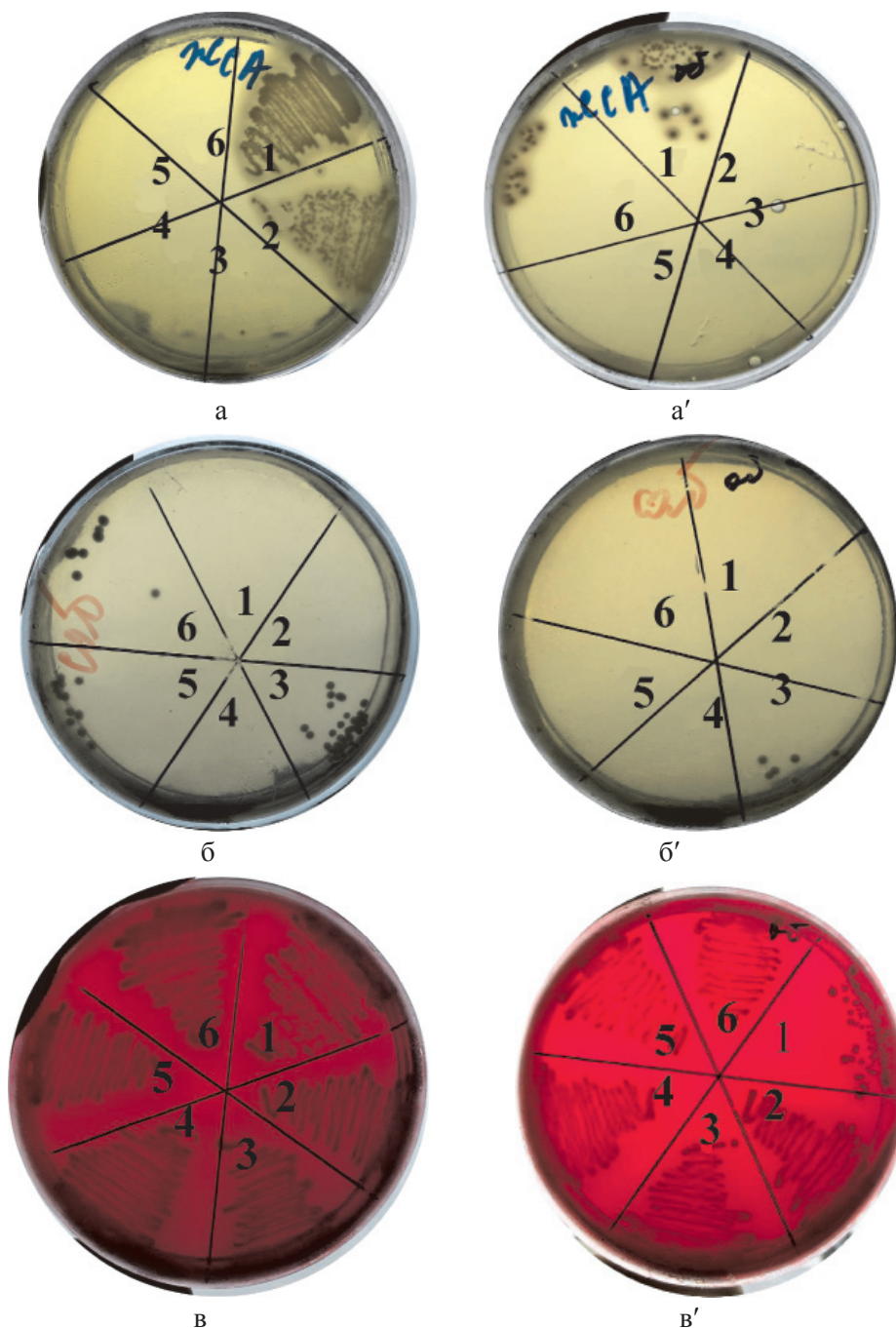
Результаты испытаний образцов в жидкой питательной среде

В эксперименте с жидкими питательными средами перед проведением ФДТ смешивали в равных количествах раствор ФС с концентрацией 0,0001 моль/кг и мясопептонного бульона, содержащего исследуемую тест-культуру. Далее раствор выдерживали при комнатной температуре в течение получаса и проводили сеанс ФДТ. Оценивали как темновую, так и световую токсичность исследуемых препаратов с рабочей концентрацией 0,00005 моль/кг.

Как видно из рисунка, до облучения образцы 1 и 2 дали сплошной рост культуры стафилококка и, таким образом, не обладали темновой цитотоксичностью (собственным антибактериальным действием), остальные образцы роста не показали. После облучения образец № 1 – дал рост 43 КОЕ, образец № 2 – не дал роста, что демонстрировало их высокую антимикробную активность после облучения сенсibilизированной культуры (95,7 и 100 % эффективность – соответственно), остальные образцы не дали роста.

При исследовании темновой цитотоксичности в отношении грибов *Candida albicans* образцы 1, 2, 4 не дали роста, то есть фактически обладали темновой цитотоксичностью. Наоборот, образцы, обладавшие темновой цитотоксичностью в отношении стафилококка 3, 5, 6 дали рост – 30, 12 и 8 КОЕ соответственно. После сообщения препаратам дозы 40 Дж/см² рост дал только образец 3 (6 КОЕ), что демонстрировало прекрасный антимикробный эффект (80 % у образца № 3 и 100 % у образцов № 5 и 6, которые не дали роста).

Изучение антибактериальной активности ФС в отношении грамотрицательного патогена – кишечной палочки привело к весьма неожиданным результатам. Как видно, до облучения все образцы дали



Рост колоний *Staphylococcus aureus* (а, а'), *Candida Albicans* (б, б') и *Escherichia coli* (в, в') на питательных средах, содержащих ФС (нумерация на рисунке соответствует номерам соединений) до (а, б, в) и после однократного облучения (а', б', в') видимым светом с дозой 40 Дж/см². Нумерация секторов соответствует номерам соединений 1–6

сплошной рост культуры *E. coli*. После облучения образец 1 продемонстрировал хорошее антимикробное действие, дав рост 30 КОЕ (эффективность 97%). В остальных случаях был зафиксирован сплошной рост. Очевидно, что наблюдаемая картина связана исключительно с уникальным строением внешней оболочки грамотрицательных бактерий, имеющих внешнюю липополи-

сахаридную мембрану. Как видно, лишь один самый гидрофобный препарат (1) оказался в состоянии преодолеть липополисахаридный слой и проявить выраженную антибактериальную активность. Остальные положительно заряженные и значительно более гидрофильные ФС, которые в принципе могли бы проникнуть в клетку через пориновые каналы, во время проведения

эксперимента находились, по-видимому, на внешней поверхности мембраны, что и предопределило отсутствие антибактериального действия.

Выводы

Проведенное нами исследование антибактериальной активности пяти ФС хлоринового ряда в отношении фирмикутных бактерий *Staphylococcus aureus*, грациликутных бактерий *Escherichia coli* и грибов *Candida albicans* показало, что использование ФС, адсорбированных на твердых поверхностях, в случае плотных питательных сред в целом малоэффективно. По результатам испытаний установлено, что лишь моно- и дизаряженные ФС (соед. 2 и 5) демонстрируют достаточно высокую активность в отношении золотистого стафилококка. В отношении остальных микроорганизмов активности практически не обнаруживается.

При использовании жидких питательных сред показано, что катионные ФС соед. 2–6 в зависимости от величины заряда и положения заряженной группы в молекуле ФС обнаруживают как темновую, так и световую токсичность в отношении *Staphylococcus aureus* и *Candida albicans* при очень незначительных концентрациях порядка 0,00005 моль/кг. В ряде случаев после облучения удается достичь 100 % гибели всех микроорганизмов. Однако в случае кишечной палочки заряженные ФС оказались неэффективными, хотя в работах [14, 15] отмечается, что именно катионные ФС должны проявлять антимикробную активность в отношении грамотрицательных микроорганизмов, что и было зафиксировано, в частности, для синегнойной палочки [15]. По-видимому, в нашем случае необходимо использовать более концентрированные растворы ФС и значительно увеличить время инкубации, дав возможность препаратам в достаточном количестве проникнуть внутрь микробной клетки. Увеличение дозы светового излучения также должно повысить эффективность ФДТ.

Среди исследованных соединений лишь гидрофобное диоксидиновое производное хлорина е₆ (соед. 1) обнаружило достаточно эффективное действие в отношении всех трех видов микроорганизмов при малой темновой токсичности, что позволяет на данном этапе считать его достаточно перспективным для проведения антибактериальной ФДТ.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда – проект № 15-13-00096.

Список литературы

1. Белых Д.В., Синтез полифункциональных хлоринов на основе метилфеорбида а и его аналогов. – Сыктывкар: Изд. НИИ химии Коми НЦ УрО РАН, 2012. – 164 с.
2. Березняков И.Г., Страшный В.В. Антибактериальные средства: стратегия клинического применения. – Харьков: Константа, 1997. – С. 1–200.
3. Иванов Д.В. Рациональная антимикробная фармакотерапия современных внутрибольничных инфекций: дис. ... д-ра мед. наук. – М., 2010. – 257 с.
4. Кручин С.О., Кустов А.В., Романенко Ю.В., Желтова Е.Н., Березин М.Б., Каримов Д.Р., Венедиктов Е.А., Макаров В.В., Белых Д.В., Березин Д.Б., Синтез и генерация синглетного кислорода сенсibilizаторами для фотодинамической терапии онкологических заболеваний на основе производных хлорина е₆ // Химический анализ и медицина: тезисы I Всеросс. конф. – М., 2015. – С. 90.
5. Кустов А.В., Антонова О.А., Смирнова Н.Л., Кручин С.О., Березин Д.Б., Белых Д.В., Сольватация фотосенсibilizаторов на основе хлорофилла в двухфазной системе вода/1-октанол. // Тезисы Международн. конф. по термич. анализу и калориметрии в России. – СПб., 2016. – С. 86–89.
6. Сидоренко С.В. Резистентность микроорганизмов и антибактериальная терапия // Рус. мед. журн. – 1998. – № 6 (11). – С. 717–725.
7. Страчунский Л.С. Состояние антибиотикорезистентности в России // Клин. фармакол. и тер. – 2000. – № 9 (2). – С. 6–9.
8. Трухачева Т.В., Шляхтин С.В., Исаков Г.А., Истомин Ю.П. Фотолон – новое средство для фотодинамической терапии. – Минск, РУП «Белмедпрепараты», 2009. – 64 с.
9. Agostinis P, Berg K, Cengel K, Foster T, Girotti A et al Photodynamic Therapy of Cancer: an Update // CA Cancer J Clin. – 2011. – № 61. – P. 250–281.
10. Berezin D.B., Kustov A.V., Venediktov E.A., Makarov V.V., Kruchin S.O., Belykh D.V. Photosensitizers for Antibacterial PDT: Synthesis, Singlet Oxygen Generation, Hydrophilicity Control and Toxicity Assays. Abstracts of International Conference on Porphyrins and Phthalocyanines ICPP-9. – Nan-kin', 2016. – P. 26.
11. Biel M.A. Photodynamic Therapy of Bacterial and Fungal Biofilm Infections // In Photodynamic Therapy Methods and Protocols. Gomer Ch. G. (Ed). – P. 175–194.
12. Brandis AS, Salomon Y, Schetz A. Chlorophyll Sensitizers in Photodynamic Therapy. In Chlorophylls and Bacteriochlorophylls: Biochemistry, Biophysics, Functions and Application (Grimm B, Porra RJ, Rüdiger W, Scheer H, eds). – Springer, Berlin, Germany, 2006. – P. 461–483.
13. Dowson C. Influence of horizontal gene transfer (mosaic genes) on antibiotic resistance in *Streptococcus pneumoniae* and *Neisseria meningitidis* // Antibiotics Chemotherapy. – 1998. – Vol. 2, № 2. – P. 13.
14. Gushchina O.I., Synthesis of cationic derivatives of chlorin е₆ / O.I. Gushchina, (E.A. Larkina, A.F. Mironov) // Macroheterocycles. – 2014. – Vol. 7. – № 4. – P. 414–416.
15. Huang L., Dai T., Hamblin M.L. Antimicrobial Photodynamic Inactivation and Photodynamic Therapy for Infections // In Photodynamic Therapy Methods and Protocols. Gomer Ch. G. (Ed). – P. 155–174.
16. Kustov A.V., Belykh D.V., Startseva O.M., Kruchin S.O., Venediktov E.A., Berezin D.B. New photosensitizers developed on a methylpheophorbide a platform for photodynamic therapy: Synthesis, singlet oxygen generation and modeling of passive membrane transport // Pharmaceutica Analytica Acta. – 2016. – Vol. 7. – № 5. – P. 480–684. DOI: 10.4172/2153-2435.1000480.

УДК 547.379

ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ Z,Z-БИС(3-БРОМ-2-ХЛОРПРОП-1-ЕН-1-ИЛ)ТЕЛЛУРИДА ЗА СЧЕТ РЕАКЦИЙ С КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИМИ НУКЛЕОФИЛАМИ

Мартынов А.В., Махаева Н.А., Амосова С.В.

ФГБУН «Иркутский институт химии имени А.Е. Фаворского»

Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, e-mail: amosova@irioch.irk.ru

Z,Z-Бис(3-бром-2-хлорпроп-1-ен-1-ил)теллурид под действием этилата натрия в присутствии Na_2CO_3 , сульфида натрия в этаноле, этандиолата динатрия в этаноле подвергается замещению атомов брома бром-метильных групп на этокси-группы с образованием Z,Z-бис(2-хлор-3-этоксипроп-1-ен-1-ил)теллурида. Для введения в молекулу Z,Z-бис(3-бром-2-хлорпроп-1-ен-1-ил)теллурида этиленгликолевого фрагмента найден эффективный метод, заключающийся в реакции натриевой соли этиленгликоля с Z,Z-бис(3-бром-2-хлорпроп-1-ен-1-ил)теллуридом в этиленгликоле, которая приводит к образованию продукта замещения – Z,Z-бис[3-(2-гидроксиэтоксипроп-1-ен-1-ил)теллурида. Осуществлена дальнейшая функционализация полученного теллурида обработкой тионилхлоридом в бензоле. Установлено, что данная реакция приводит как к замещению гидроксигрупп на атомы хлора, так и к хлорированию атома теллура, в результате чего образуется Z,Z-бис[2-хлор-3-(2-хлорэтоксипроп-1-ен-1-ил)теллурида. При восстановлении последнего водным раствором $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ получен Z,Z-бис[2-хлор-3-(2-хлорэтоксипроп-1-ен-1-ил)теллурида – перспективный реагент для получения на его основе теллуросодержащих гетероциклов. Строение полученных соединений подтверждено данными ЯМР ^1H и ^{13}C спектроскопии, хромато-масс-спектрометрии.

Ключевые слова: нуклеофильное замещение, бис(3-бром-2-хлорпроп-1-ен-1-ил)теллурид, сульфид натрия, этиленгликоль, тионилхлорид, хлорирование, восстановление, ЯМР, масс-спектрометрия

FUNCTUIONALIZATION OF Z,Z(BIS-3-BROMO-2-CHLOROPROP-1-EN-1-YL) TELLURIDE BY REACTIONS WITH OXYGENE-CONTAINING NUCLEOPHILES

Martynov A.V., Makhaeva N.A., Amosova S.V.

A.E. Favorskii Irkutsk Institute of Chemistry, Siberian Branch of Russian academy of sciences,

Irkutsk, e-mail: amosova@irioch.irk.ru

Z,Z-Bis(3-bromo-2-chloroprop-1-en-1-yl) telluride under action of sodium ethylate in the presence of Na_2CO_3 , sodium sulfide in ethanol, disodium ethanediolate in ethanol undergoes substitution of bromine atoms in bromomethyl group by ethoxy-group to afford Z,Z-bis(2-chloro-3-ethoxyprop-1-en-1-yl) telluride. In order to introduce ethylene glycol moieties into Z,Z-bis(3-bromo-2-chloroprop-1-en-1-yl) telluride molecule an effective method was found which includes the reaction of sodium ethylene glycolate with Z,Z-bis(3-bromo-2-chloroprop-1-en-1-yl) telluride in the ethylene glycol medium. This reaction leads to formation of the substitution product – Z,Z-bis[2-chloro-3-(2-hydroxyethoxy) prop-1-en-1-yl] telluride. Further functionalization of the telluride thus obtained was carried out by treatment with thionyl chloride in benzene. It was found that the reaction results in both substitution of hydroxyl groups by chlorine atoms and chlorination of tellurium atom to afford Z,Z-bis[2-chloro-3-(2-chloroethoxy) prop-1-en-1-yl] telluride. Reduction of the latter with aqueous $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ leads to Z,Z-bis[2-chloro-3-(2-chloroethoxy) prop-1-en-1-yl] telluride – prospective reagent for construction of tellurium-containing heterocycles. The structures of the compounds prepared were confirmed by ^1H and ^{13}C NMR spectroscopy and mass-spectrometry.

Keywords: nucleophilic substitution, bis(3-bromo-2-chloroprop-1-en-1-yl) telluride, sodium sulfide, ethylene glycol, thionyl chloride, chlorination, reduction, NMR, mass spectrometry

Среди различных классов теллуорорганических соединений, полученных и изученных в последние 35 лет, винилтеллуриды являются наиболее полезными и наиболее перспективными для использования в органическом синтезе [6] благодаря их легкой трансформации в другие органические соединения с сохранением конфигурации [8]. Полученные теллуорорганические соединения использованы как синтоны в органической химии [15], для получения новых электропроводящих материалов [13], в качестве предшественников таких молекулярных фрагментов, как диены и ендиены [5, 15], присутствующих в структуре важнейших

классов природных соединений. Наиболее удобным методом получения таких соединений является присоединение галогенидов теллура (IV) к алкинам [1, 2, 3, 4, 7, 12], приводящим как к винилтеллуридам, так и дивинилтеллуридам. Реакции эти высоко стереоспецифичны и протекают исключительно через анти- или син-присоединение, в зависимости от использованного алкина [9]. В частности, этот метод успешно использован в получении биологически активных Те-содержащих соединений, являющихся эффективными ингибиторами катепсина В человека [10] либо демонстрирующими мощные антиоксидантные свойства [14].

В ходе изучения электрофильных реакций тетрахлорида теллура с пропаргилгалогенидами [1, 4] за счет регио- и стереоселективного присоединения тетрахлорида теллура к пропаргилбромиду и последующего восстановления образующегося теллурдихлорида метабисульфитом натрия нами получен *Z,Z*-бис(3-бром-2-хлорпроп-1-ен-1-ил)теллурид **1**, в котором соседствуют два типа нуклеофугов – галоген (хлор) при двойной связи в хлорметилиденовой группе и галоген (бром) при sp^3 -гибридизованном атоме углерода в бромметиленовой группе. Присутствие в теллуриде **1** двух бромметиленовых групп указывает на возможность функционализации этих соединений как за счет замещения атомов брома в них двумя нуклеофилами, так и потенциально за счет гетероциклизации путем введения бинуклеофила, участвующего в реакции замещения по обоим атомам брома.

**Особенности реакций
Z,Z-бис(3-бром-2-хлорпроп-1-ен-1-ил)теллурида
с сульфидом натрия и натриевыми
солями этиленгликоля в этаноле
и этиленгликоле и превращения
продуктов замещения
на этиленгликолат натрия**

Мы нашли, что взаимодействие *Z,Z*-бис(3-бром-2-хлорпроп-1-ен-1-ил)теллурида **1** с сульфидом натрия ($Na_2S \cdot 9H_2O$) в EtOH, растворителе, успешно использованным при нуклеофильном замещении атомов брома в бромметильных группах

E,E-бис(3-бром-1-хлорпроп-1-ен-2-ил)сульфида и селенида на сульфид и селенид натрия с образованием циклических продуктов – бис(хлорметилиденовых) производных 1,4-дитиана, 1,4-тиаселенана и 1,4-диселенана [11], не приводит к замещению атомов брома на сульфидную группу. В реакции превалировал побочный процесс этанолиза атомов брома за счет генерирования в реакционной смеси этилата натрия при действии на EtOH сульфида натрия. В результате единственным выделенным из смеси продуктом был *Z,Z*-бис(2-хлор-3-этоксипроп-1-ен-1-ил)теллурид **2**. Теллурид **2** получен также встречным синтезом при обработке спиртового раствора теллурида **1** избытком Na_2CO_3 (схема 1). Образование теллурида **2** подтверждено данными ЯМР 1H , ^{13}C , хроматомасс-спектрометрии. В масс-спектре, в частности, идентифицированы помимо молекулярного иона фрагментарные ионы $[M-C_2H_5]^+$, $[M-C_2H_5O]^+$, $[M-C_2H_5O-HCl]^+$.

В продолжение исследований нуклеофильного замещения атома брома в бромметильных группах теллурида **1** изучено взаимодействие в этаноле этандиолата динатрия, полученного нейтрализацией 1 эквивалента этиленгликоля двумя эквивалентами NaOH и последующим выпариванием в вакууме образующейся воды. Но и в этом случае в результате реакции получен только *Z,Z*-бис(2-хлор-3-этоксипроп-1-ен-1-ил)теллурид **2**, что прямо указывает на генерирование этилата натрия в этанольном растворе

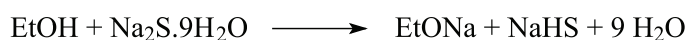
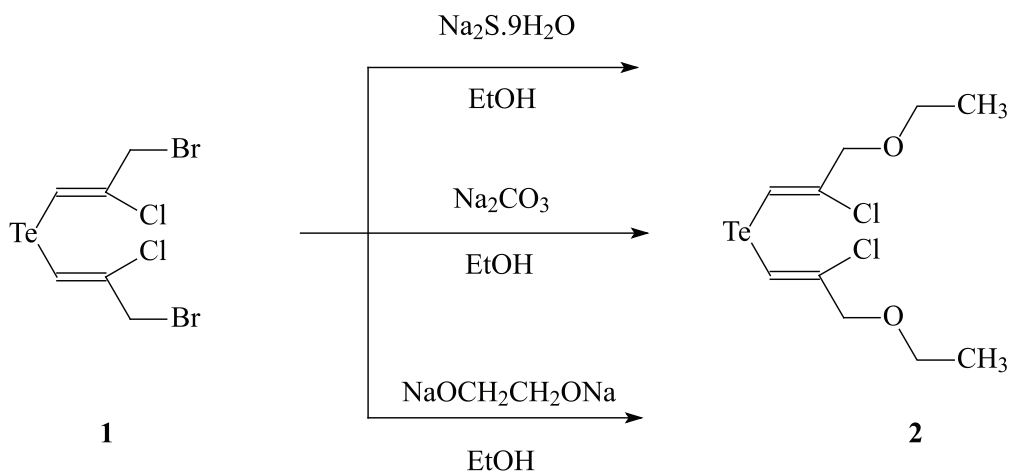


Схема 1

этандиолата динатрия за счет диспропорционирования соли до этандиолата натрия и EtONa (схема 1). Однако замена этанола на этиленгликоль в реакции теллурида **1** с этандиолатом натрия или этандиолатом динатрия, полученными растворением 1 или 2 эквивалентов NaOH соответственно, в 1 эквиваленте HOCH₂CH₂OH и последующим удалением образующейся воды в вакууме, позволила получить *Z,Z*-бис[2-хлор-3-(2-гидроксиэтокси)проп-1-ен-1-ил]теллурид **3** – продукт замещения атомов брома бромметильных групп на 2-гидроксиэтокси-группу (схема 2). Образование теллурида **3** подтверждено данными ЯМР ¹H, ¹³C, хроматомасс-спектрометрии. В масс-спектре теллурида **3** зафиксированы помимо молекулярного фрагментарные ионы [M–CH₂CH₂OH]⁺, [M–OCH₂CH₂OH]⁺, [M–CH₂CH₂OH–OCH₂CH₂OH–Cl]⁺.

С целью получения производного теллурида **3**, в котором гидроксильные группы замещены на атомы хлора, осуществлено его хлорирование тионилхлоридом. Найдено, что параллельно замещению OH-

группы на хлор в ходе реакции происходит хлорирование теллура с образованием теллурдихлорида **4** (схема 3).

В спектрах ЯМР ¹H и ¹³C на образование теллурдихлорида **4** указывает сильное смещение в слабое поле за счет влияния группы TeCl₂ сигналов винильного протона (δ 7,92 м.д.) и дублетного сигнала углерода группы =CH (δ 122,33 м.д.) по сравнению с аналогичными сигналами в теллуриде **3** (δ 7,18 м.д. и 104,40 м.д.).

При восстановлении теллурдихлорида **4** под действием водного раствора Na₂S₂O₅ в бензоле практически количественно получен *Z,Z*-бис[2-хлор-3-(2-хлорэтокси)проп-1-ен-1-ил]теллурид **5** (схема 3). Строение его подтверждено данными ЯМР ¹H, ¹³C, хроматомасс-спектрометрии. В ИК-спектре теллурида **5** отсутствуют полосы поглощения OH группы. В масс-спектре зафиксированы помимо молекулярного иона фрагментарные ионы [M–OCH₂CHCl]⁺, [M–OCH₂CHCl–HCl]⁺, [TeCH=CClCH₂OCH₂CH₂Cl]⁺, [CH=CClCH₂OCH₂CH₂Cl]⁺, [CH₂CH₂Cl]⁺.

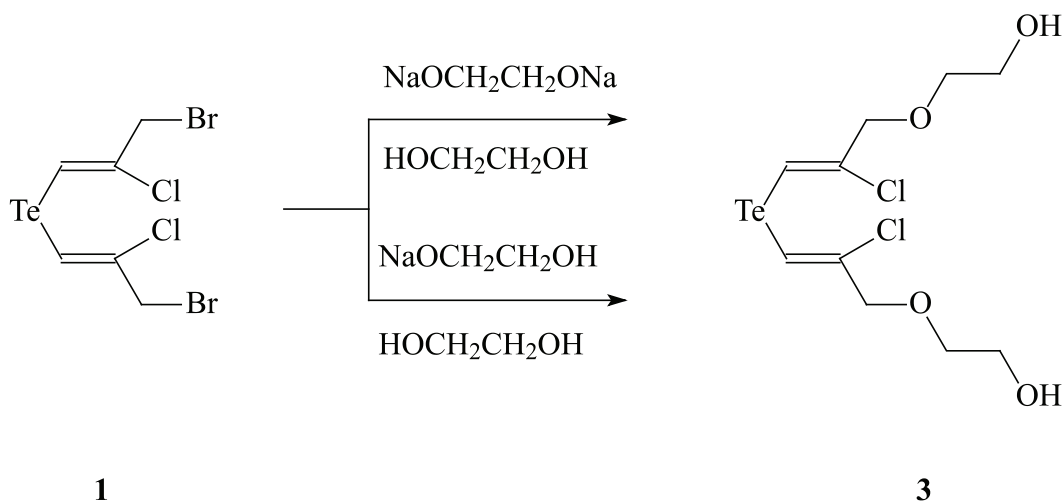


Схема 2

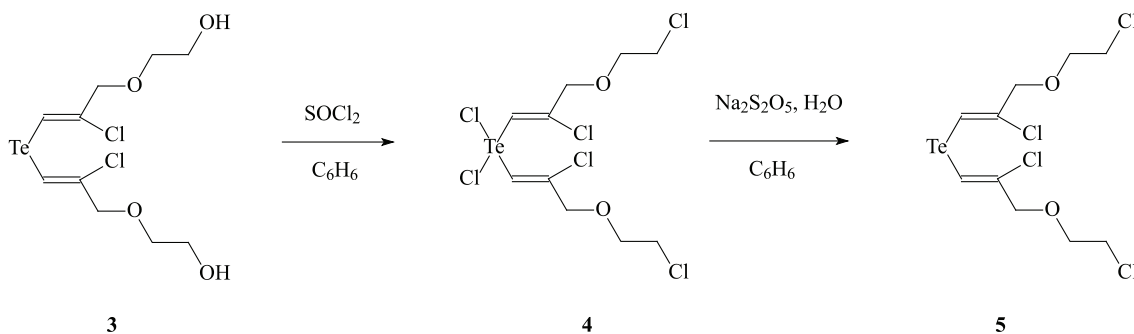


Схема 3

В спектре ЯМР ^1H найдены синглетные сигналы винильного и метиленовых протонов, величины которых очень близки сигналам соответствующих групп теллурида **3**. Этоксигруппы соединений **3**, **4**, **5** в спектрах ЯМР ^1H проявляются в виде двух триплетных сигналов протонов в диапазоне 3,60–3,68 и 3,75–3,84 м.д. Идентичность слабополюсных сигналов метиленовых протонов в теллуридах **3** и **5** (δ 3,75 м.д.) и заметное смещение в слабое поле при переходе к теллуридхлориду **4** (δ 3,84 м.д.) позволяет отнести их к группе $=\text{CCH}_2\text{OCH}_2$, так как она наиболее подвержена влиянию теллура при двойной связи. Близкие величины сильнополюсных сигналов метиленовых протонов групп CH_2X ($\text{X} = \text{OH}, \text{Cl}$) (3,60 м.д. – теллурид **3**, 3,68 м.д. – теллуридхлорид **4**, 3,65 м.д. – теллурид **5**) согласуются с близкими величинами электроотрицательностей (по Полингу) O (3,44) и C (3,16). Соотнесение сигналов метиленовых углеродов в спектрах ЯМР ^{13}C соединений **2–5** сделано на основании выделения сигнала углерода группы $=\text{C}-\text{CH}_2-\text{O}$ (δ 74,09 м.д.) в спектре *Z,Z*-бис(2-хлор-3-этоксипроп-1-ен-1-ил)теллурида **2** и сравнении спектров соединений **3–5**. Слабополюсные сигналы в диапазоне 70,62–71,82 м.д. соответствуют группе OCH_2 , в то время как сильнополюсные сигналы при δ 42,74 и 42,95 м.д. указывают на CH_2Cl , а при δ 61,82 м.д. – на CH_2OH группу.

Экспериментальная часть

Спектры ЯМР ^1H (400,13 МГц) и ^{13}C (100,61 МГц) зарегистрированы на приборе Bruker DPX-400 в CDCl_3 , внутренний стандарт – ТМС. Масс-спектры получены на хромато-масс-спектрометре Agilent 5975 при энергии ионизирующих электронов 70 эВ. ИК-спектр соединения **5** получен на спектрометре IFS 25 Bruker в интервале 4000–400 cm^{-1} в тонком слое. Основные результаты получены с использованием материально-технической базы Байкальского аналитического центра коллективного пользования СО РАН.

***Z,Z*-бис(3-бром-2-хлорпроп-1-ен-1-ил)теллурид (1)** получен согласно методике [1] реакцией четыреххлористого теллура с пропаргилбромидом и восстановлением образующегося промежуточного продукта действием $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$.

***Z,Z*-Бис(2-хлор-3-этоксипроп-1-ен-1-ил)теллурид (2)**. В раствор 0,439 г

(1 ммоль) теллурида **1** в 20 мл сухого этанола, дегазированного барботированием аргона, добавляли 0,330 г (3 ммоль) Na_2CO_3 , полученную реакционную смесь перемешивали в атмосфере аргона на водяной бане (60 °C) 4 ч и при комнатной температуре 16 ч. Выпавший осадок отфильтровывали, фильтрат выпаривали, экстрагировали хлороформом. Растворитель удаляли в вакууме. Выход 0,138 г (38 %), темно-коричневое маслообразное вещество. Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д.: 1,23 т (6 H, 2 CH_3 , 3J 7,0 Гц); 3,53 к (4 H, 2 OCH_2 , 3J 7,0 Гц); 4,12 д (4 H, $\text{OCH}_2-\text{C}=\text{C}$, 4J 1,1 Гц); 7,06 т (2 H, 2 $=\text{CHCl}$, 4J 1,1 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 14,98 к (CH_3 , $^1J_{\text{CH}}$ 126,2 Гц); 65,89 т.к (OCH_2CH_3 , $^1J_{\text{CH}}$ 141,3, $^2J_{\text{CH}}$ 4,3 Гц); 74,09 т ($\text{OCH}_2-\text{C}=\text{C}$, $^1J_{\text{CH}}$ 145,2 Гц); 103,43 д ($=\text{CHTe}$, $^1J_{\text{CH}}$ 171,0 Гц); 137,27–137,40 м ($=\text{C}$). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %) (^{35}Cl , ^{130}Te): [M] $^+$ 368 (36); 339 (1) [$M-\text{C}_2\text{H}_5$] $^+$, 323 (2) [$M-\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$] $^+$, 287 (1) [$M-\text{C}_2\text{H}_5\text{O}-\text{HCl}$] $^+$, 249 (3); 220 (7); 204 (7); 185 (6); 165 (14); 129 (27); 101 (27); 91 (100); 55 (33). Найдено, %: C 33,13; H 4,01; Cl 19,39; Te 34,48, $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}_2\text{TeCl}_2$. Вычислено, %: C 32,75; H 4,40; Cl 19,33; Te 34,79, M 366,74.

***Z,Z*-Бис[3-(2-гидроксиэтоксипроп-1-ен-1-ил)теллурид (3)**. К раствору 0,229 г (0,52 ммоль) теллурида **1** в 6 мл этиленгликоля добавляли 87 мг (1,04 ммоль) этандиолата натрия, полученного растворением 1 эквивалента NaOH в 1 эквиваленте этиленгликоля, перемешивали в атмосфере аргона при комнатной температуре 6 ч. Реакционную смесь растворяли в 50 мл воды, экстрагировали хлороформом, экстракт сушили MgSO_4 . Растворители удаляли в вакууме. Выход 0,128 г (62 %); коричневое маслообразное вещество. Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д.: 3,02 с (2 H, 2 OH); 3,60 т (4 H, 2 OCH_2OH , 3J Hz); 3,75 т (4 H, 2 OCH_2O , 3J Hz); 4,18 с (4 H, 2 $\text{CH}_2-\text{C}=\text{C}$); 7,18 с (2 H, 2 $=\text{CHCl}$). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 61,82 т (CH_2OH , 1J 123,5 Гц); 71,82 т (OCH_2 , 1J 143,4 Гц); 74,70 т ($\text{OCH}_2-\text{C}=\text{C}$, 1J 147,6 Гц); 104,40 д ($=\text{CHTe}$, 1J 170,6 Гц); 136,93–137,08 м ($=\text{C}$). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %) (^{35}Cl , ^{130}Te): [M] $^+$ 400 (4); 355 (1) [$M-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$] $^+$, 339 (1) [$M-\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$] $^+$, 277 (1) [$M-2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}-\text{H}$] $^+$, 259 (1); 239 (1); 220 (2); 207 (3); 173 (2); 165 (3); 146 (2); 135 (4); 129 (7); 113 (4); 101 (6); 91 (20); 77 (10); 65 (9); 45 (100) [$\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$] $^+$, 39 (30) [C_3H_6] $^+$. Найдено, %: C 30,59; H 4,16; Cl 17,70; Te 32,48, $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}_4\text{Cl}_2\text{Te}$. Вычислено, %: C 30,12; H 4,04; Cl 17,78; Te 32,00, M 398,74.

Z,Z-Бис[2-хлор-3-(2-хлорэтокси)проп-1-ен-1-ил]теллурдихлорид (4). К раствору 0,128 г (0,32 ммоль) Z,Z-бис[3-(2-гидроксиэтокси)-2-хлорпропенил-1]теллурида **3** в 4 мл бензола добавляли за 2 ч в атмосфере аргона 0,680 г (5,7 ммоль) тионилхлорида в 2 мл бензола, перемешивали при комнатной температуре 2 ч. Реакционную смесь обрабатывали водой, экстрагировали хлороформом, сушили MgSO_4 . Растворитель удаляли в вакууме. Выход 0,098 г (60%); коричневое маслообразное вещество. Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д.: 3,68 т (4 H, 2 CH_2Cl , 3J 5,5 Гц); 3,84 т (4 H, 2 CH_2O , 3J 5,5 Гц); 4,35 д (4 H, 2 CH_2 , 4J 1 Гц); 7,92 т (2 H, 2 $=\text{CHCl}$, 4J 1 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 42,74 т (CH_2Cl , 1J 148,5 Гц); 71,65 т (CH_2O , 1J 144,7 Гц); 72,93 т ($\text{OCH}_2-\text{C}=\text{C}$, 1J 148,0 Гц); 122,33 д ($=\text{CHTe}$, 1J 189,8 Гц); 145,37 к ($=\text{C}$, 1J 5,5 Гц). Найдено, %: C 27,69; H 3,36; Cl 32,77; Te 29,48, $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_2\text{Cl}_2\text{Te}$. Вычислено, %: C 27,51; H 3,24; Cl 32,55; Te 29,29.

Z,Z-Бис[2-хлор-3-(2-хлорэтокси)проп-1-ен-1-ил]теллурид (5). К раствору 0,098 г (0,19 ммоль) теллурдихлорида **4** в 5 мл бензола добавляли в течение 1 ч раствор 0,489 г (2,2 ммоль) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ в 2 мл H_2O , перемешивали при комнатной температуре 15 ч. Органический слой отделяли, сушили MgSO_4 . Растворитель удаляли в вакууме. Выход 0,079 г (95%); светлорозовое маслообразное вещество. ИК-спектр, cm^{-1} : 3029, 2955 с, 2922 с, 2852 с, 1736, 1604, 1462 с, 1377, 1356, 1299, 1276, 1252, 1171, 1117 с, 1046. Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д.: 3,65 т (4 H, 2 CH_2Cl , 3J 5,5 Гц); 3,75 т (4 H, 2 CH_2O , 3J 5,5 Гц); 4,20 с (4 H, 2 $\text{CH}_2-\text{C}=\text{C}$); 7,15 с (2 H, 2 $=\text{CHCl}$). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 42,95 т (CH_2Cl , 1J 150,2 Гц); 70,62 т (CH_2O , 1J 142,8 Гц); 74,82 т ($\text{OCH}_2-\text{C}=\text{C}$, 1J 148,0 Гц); 104,52 д ($=\text{CHTe}$, 1J 167,7 Гц); 136,80 с ($=\text{C}$). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): (^{35}Cl , ^{130}Te): $[M]^+$ 436 (2); 357 ($^{\text{отн}}$) $[M-\text{OCH}_2\text{CHCl}]^+$, 321 (1) $[M-\text{OCH}_2\text{CHCl}-\text{HCl}]^+$, 283 (1) $[\text{TeCH}=\text{CClCH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}]^+$, 217 (1); 191 (3) $[\text{HTeCH}=\text{CCl}]^+$, 165 (3); 153 (7) $[\text{CH}=\text{CClCH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}]^+$, 101 (10); 93 (12) $[\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}]^+$, 63 (100) $[\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}]^+$. Найдено %: C 32,73; H 3,66; Cl 19,81; Te 34,50, $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_2\text{Cl}_2\text{Te}$. Вычислено %: C 32,93; H 3,87; Cl 19,44; Te 34,98, M 364,72.

Взаимодействие Z,Z-бис(3-бром-2-хлорпроп-1-ен-1-ил)теллурида 1 с сульфидом натрия в этаноле. К раствору

0,311 г (0,71 ммоль) теллурида **1** в 15 мл этанола медленно добавляли раствор 0,170 г (0,72 ммоль) $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 10 мл EtOH, перемешивали 7 ч при 50°C. Полученную реакционную смесь разбавляли водой, экстрагировали хлороформом, хлороформные вытяжки сушили MgSO_4 . Растворитель удаляли в вакууме. Получили 0,105 г (40%) бис(3-этокси-2-хлорпроп-1-ен-1-ил)теллурида **2**, ЯМР ^1H и ^{13}C спектры соответствуют спектрам теллурида **2**.

Взаимодействие Z,Z-бис(3-бром-2-хлорпроп-1-ен-1-ил)теллурида 1 с этандиолатом динатрия в этаноле. К раствору 0,220 г (0,5 ммоль) теллурида **1** в 10 мл сухого этанола добавили 0,106 г (1 ммоль) $\text{NaO}(\text{CH}_2)_2\text{ONa}$, перемешивали 4 ч в атмосфере аргона при 60°C. Выпавший осадок NaBr отфильтровывали, фильтрат растворяли в 10 мл хлороформа, промывали водой, сушили K_2CO_3 . Растворители удаляли в вакууме. Получили 0,145 г (79%) бис(3-этокси-2-хлорпроп-1-ен-1-ил)теллурида **2**, ЯМР ^1H и ^{13}C спектры соответствуют спектрам теллурида **2**.

Заключение

Приведенные в работе экспериментальные данные показывают, что взаимодействие Z,Z-бис(3-бром-2-хлорпроп-1-ен-1-ил)теллурида с такими нуклеофилами, как сульфид натрия и натриевые соли этиленгликоля, в этаноле приводит к образованию продуктов замещения атомов брома бромметильных групп теллурида на этокси-группы за счет генерирования в реакционных смесях более нуклеофильного этилата натрия. Замещение атомов брома в бромметильных группах теллурида на этиленгликолат натрия удается осуществить при использовании в качестве растворителя этиленгликоля. Полученный в результате реакции Z,Z-бис[2-хлор-3-(2-гидроксиэтокси)проп-1-ен-1-ил]теллурид при хлорировании под действием тионилхлорида приводит к продукту замещения обеих гидроксильных групп на атомы хлора и одновременно хлорирования теллура. Последующее восстановление теллурдихлорида действием водного $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ приводит к Z,Z-бис[2-хлор-3-(2-хлорэтокси)проп-1-ен-1-ил]теллуриду, перспективному теллурсодержащему реагенту для построения на его основе новых ациклических и циклических теллурсодержащих соединений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-03-00185).

Список литературы

1. Мартынов А.В., Махаева Н.А., Ларина Л.И., Амосова С.В. Реакция тетраоксида теллура с пропаргилгалогенидами // ЖОрХ. – 2015. – Т. 51, № 9. – С. 1275–1278.
2. Мусалова М.В., Мусалов М.В., Потапов В.А., Чернышев К.А., Амосова С.В. Регио- и стереоспецифическая реакция тетраоксида теллура с триметилпропаргилсиланом // Изв. АН Сер. Хим. – 2012. – № 12. – С. 2342–2343.
3. Мусалова М.В., Мусалов М.В., Потапов В.А., Хабибулина А.Г., Русаков Ю.Ю., Амосова С.В. Реакция тетраоксида теллура с гекс-3-ином // Изв. АН Сер. хим. – 2015. – Т. 51, № 11. – С. 2747–2749.
4. Потапов В.А., Хабибулина А.Г., Мусалова М.В., Чернышев К.А., Амосова С.В. Реакция тетраоксида теллура с пропаргилхлоридом // ЖОрХ. – 2012. – Т. 48, № 11. – С. 1506–1507.
5. Araujo M., Raminelli C., Comasseto J.V. Vinylic Tellurides as Precursors in a Stereoselective and Convergent Route to Z-Enynes and Z-Trisubstituted Enediynes // J. Braz. Chem. Soc. – 2004. – Vol. 15, № 3 – P. 358–365.
6. Comasseto J.V., Barrientos-Astigarraga R.E. Add a little tellurium to your synthetic plans! // Aldrichim. Acta. – 2000. – Vol. 33, № 2. – P. 66–78.
7. Braverman S., Cherkinsky M., Pechenick-Azizi T., Kalendar Yu., Sprecher M. Chalcogen Halides Plus Propargyl Alcohols—Fascinating Reaction Pathways and Products // Phosphorus, Sulfur, and Silicon. – 2011. – Vol. 186, № 5. – P. 1251–1254.
8. Comasseto J.V., Ling, L.W., Petragani N., Stefani H.A. Vinylic Selenides and Tellurides – Preparation, Reactivity and Synthetic Applications // Synthesis. – 1997. – № 4. – P. 373–403.
9. Cunha R.L.O.R., Zukerman-Schpector J., Caracelli I., Comasseto J.V. Revisiting the addition reaction of TeCl₄ to alkynes: The crystal structure and docking studies of 1-chloro-2-trichlorotelluro-3-phenyl-propen-2-ol // J. Organomet. Chem. – 2006. – Vol. 691, № 23. – P. 4807–4815.
10. Cunha R.L.O.R., Urano M.E., Chagas J.R., Almeida P.C., Bincoletto C., Tersariol I.L.S., Comasseto J.V. Tellurium-based cysteine protease inhibitors: evaluation of novel organotellurium(IV) compounds as inhibitors of human cathepsin B // Bioorg. Med. Chem. Lett. – 2005. – Vol. 15, № 3. – P. 755–760.
11. Martynov A.V., Larina, L.I. Amosova S.V. Novel bis[(E)-1-(halomethyl)-2-chlorovinyl] chalcogenides as starting material for the efficient synthesis of bis(chloromethylidene)-1,4-dichalcogenanes // Tetrahedron Lett. – 2012. – Vol. 53, № 10. – P. 1218–1221.
12. Musalova M.V., Potapov V.A., Amosova S.V. Addition of Tellurium Tetrachloride to Acetylene // Molecules. – 2012. – Vol. 17, № 5. – P. 5770–5779.
13. Ojima E., Fujiwara H., Kobayashi H., Kobayashi A.T., Ogura F. Synthesis, Structures, and Properties of New Organic Conductors Based on Tellurocycle-Fused TTF Donor Molecules // Adv. Mater. – 1999. – Vol. 11, № 18. – P. 1527–1530.
14. Pessoto F.S., Faria P.A., Cunha R.L.O.R., Comasseto J.V., Rodrigues T., Nantes I.L. Organotellurane-Promoted Mitochondrial Permeability Transition Concomitant with Membrane Lipid Protection against Oxidation // Chem. Res. Toxicol. – 2007. – Vol. 20, № 10. – P. 1453–1461.
15. Zeni G., Braga A.L., Stefani H.A. Palladium-Catalyzed Coupling of sp²-Hybridized Tellurides // Acc. Chem. Res. – 2003. – Vol. 36, № 10. – P. 731–738.

УДК 669.743.27: 669.054.83

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ОСАЖДЕНИЯ ПОЛИВАЛЕНТНЫХ МЕТАЛЛОВ ХЛОРСОДЕРЖАЩИМИ ОКИСЛИТЕЛЯМИ

Муллина Э.Р., Чупрова Л.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
Магнитогорск, e-mail: erm_73@mail.ru

В работе рассмотрены основные закономерности процесса окислительного осаждения поливалентных металлов на примере окислительно-восстановительных переходов ионов марганца. В качестве хлорсодержащих окислителей рассматривались растворы хлорной извести и электролизные гипохлоритные растворы, полученные путем электрообработки растворов хлорида натрия. Полученные результаты исследований позволили установить закономерности влияния pH на процесс окислительного осаждения ионов Mn (II). Дан анализ окислительной активности хлорсодержащих окислителей в зависимости от pH среды водного раствора. Рассмотрена возможность протекания побочных процессов. Установлено влияние побочных процессов на выход целевого продукта – дисперсной фазы диоксида марганца. Получены кинетические зависимости процесса окисления ионов марганца хлорсодержащими окислителями. Установлен оптимальный временной интервал выделения ионов марганца в виде нерастворимых форм. Обозначены рациональные технологические параметры процесса окислительного осаждения ионов марганца хлорсодержащими окислителями. Предложена методика расчета расхода реагента-окислителя для полного количественного осаждения ионов марганца в виде дисперсной фазы.

Ключевые слова: марганец, окисление, осаждение, параметры, процессы, эффективность

FACTOR ANALYSIS OF THE OXIDATIVE DEPOSITION POLYVALENT METALS CHLORINE-CONTAINING OXIDIZING AGENTS

Mullina E.R., Chuprova L.V.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: erm_73@mail.ru

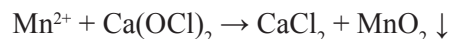
The paper considers the basic regularities of the process of oxidative precipitation of polyvalent an example of redox transitions of manganese ions. As the oxidants chlorine bleach solutions were examined and electrolysis hypochlorite solutions obtained by elektroobroabotki sodium chloride solutions. The results obtained allowed to establish regularities of the influence of pH on the oxidative precipitation of Mn ions (II). Dan oxidative activity assay chlorinated oxidants depending on the pH of the aqueous medium. The possibility of occurrence of side processes. The influence of secondary processes on the yield – the dispersed phase of manganese dioxide. Kinetic dependence of oxidation of manganese ions chlorinated oxidants. The optimal slot allocation manganese ions as insoluble forms. Marked rational technological parameters of the process of oxidative precipitation of Mn ions chlorinated oxidants. A method of calculating the oxidant reactant flow for complete quantitative precipitation of manganese ions in the form of the disperse phase.

Keywords: manganese, oxidation, deposition, process parameters, efficiency

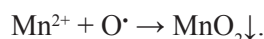
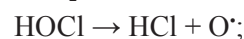
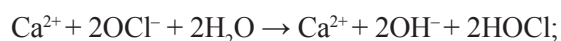
В работе основные закономерности процесса окислительного осаждения поливалентных металлов исследовали на примере окислительно-восстановительных переходов ионов марганца. Суть работы заключалась в разработке эффективных технологических параметров процесса окислительного осаждения из водных растворов ионов марганца Mn^{2+} в виде дисперсной фазы MnO_2 с использованием хлорсодержащих окислителей. В качестве хлорсодержащих окислителей использовали: раствор хлорной извести и электролизный гипохлоритный раствор, полученный при электрообработке растворов хлорида натрия (различной концентрации).

Процесс окисления ионов марганца (II) суспензией хлорной извести

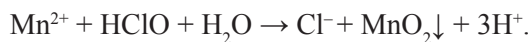
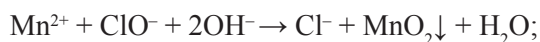
$Ca(OCl)_2$ до марганца (IV) в общем случае протекает по схеме:



Хлорная известь, содержащая анион слабого электролита ($K_{\kappa(HClO)} = 5 \cdot 10^{-8}$), в водном растворе гидролизует с образованием хлорноватистой кислоты, которая под воздействием прямого солнечного света, а также в результате взаимодействия с восстановителем (ионами Mn^{2+}) преобразуется в соляную кислоту и атомарный кислород, который и участвует в процессе окисления марганца (II) до марганца (IV) по схеме [1, 6, 8]:



В общем случае процесс окисления марганца (II) электролизными гипохлоритными растворами до марганца (IV) протекает по схеме [2, 7]:



Образующиеся гипохлорит-ионы и хлорноватистая кислота в процессе электролиза раствора хлорида натрия при взаимодействии с ионами Mn^{2+} восстанавливаются до хлорид-ионов и атомарного кислорода, действия которого аналогичны, как и в случае с растворами хлорной извести [6]. Поэтому очевидно, что и в первом и во втором случае в качестве окислителя выступает атомарный кислород, образующийся в процессе восстановления гипохлорит-ионов и хлорноватистой кислоты. Поэтому эффективность используемых окислителей напрямую будет зависеть от количества образующего атомарного кислорода в рассматриваемых реагентах. В дальнейшем хлор и его кислородные соединения будем называть общепринятым термином «активный хлор» [9, 12].

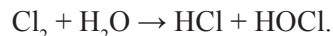
С целью определения эффективности применения первого и второго реагента-окислителя при окислении марганца (II) были проведены сравнительные исследования по определению оптимальной продолжительности обработки марганецсодержащих растворов данными окислителями, а также по определению фактического расхода каждого окислителя на извлечение 1 мг марганца (II) из растворов в виде осадка MnO_2 .

Результаты проведенных исследований показали, что оптимальное время протекания процесса окисления для раствора хлорной извести – 30 минут с момента начала реакции. Тогда как полное количественное извлечение марганца (II) из раствора в виде осадка MnO_2 с использованием электролизных кислородосодержащих соединений хлора, полученных электрообработкой растворов хлорида натрия, наблюдалось после протекания процесса окисления в течение 3 минут.

Экспериментальный расчет фактического расхода окислителя на извлечение 1 мг Mn^{2+} в виде осадка MnO_2 показал, что при использовании в качестве реагента-окислителя растворов хлорной извести в фактический расход «активного хлора» составил 3,35 мг, тогда как расход «активного хлора» в случае использования электролизных рас-

творов составил 2,41 мг. Расчет расхода реагента окислителя, необходимого для полного извлечения заданной концентрации ионов Mn (II) из исследуемого раствора проводили с использованием диаграммного метода, предложенного М.И. Лапшиным и И.Г. Нагаткиным. Суть метода заключается в определении хлороемкости раствора путем построения графической зависимости концентрации введенного «активного хлора» от концентрации остаточного «активного хлора» в растворе [6].

Значительная разница в количественном расходе реагента-окислителя на извлечение 1 мг Mn^{2+} и скорости протекания реакции может объясняться тем, что количество «активного хлора» в хлорной извести весьма незначительное (30–36%). Замедление скорости гидролиза хлорной извести происходит благодаря известной стойкости гипохлорита кальция, а также следует учитывать, что техническая хлорная известь содержит много неактивных примесей, снижающих ее ценность как окислителя [5, 6]. Кроме того, процесс гидролиза хлорной извести, протекающий с образованием «активного хлора» протекает медленнее, чем процесс гидролиза молекулярного хлора, образующийся в процессе электролиза:



Таким образом, на данном этапе проведения исследований была однозначно установлена целесообразность использования в качестве реагента-окислителя только электролизных растворов, содержащих «активный хлор».

С целью выбора оптимальных условий взаимодействия электролизных растворов «активного хлора» с раствором, содержащим ионы Mn^{2+} , в работе были рассмотрены два способа контакта окислителя с марганецсодержащим раствором:

– в первом случае рассматривался вариант *реагентного осаждения* Mn (II) электролизными растворами «активного хлора». Для этого водный раствор окислителя предварительно получали в электролизере бездиафрагменного типа путем электрообработки растворов хлорида натрия. Далее полученный раствор «активного хлора» вводили в водную систему, содержащую ионы Mn^{2+} ;

– во втором случае рассматривался вариант *электрокоагуляционного извлечения* Mn (II), протекающий в результате окисления ионов Mn^{2+} «активным хлором» до нерастворимых форм и последующего

электрокоагуляционного осаждения коллоидных хлопьев марганца в виде дисперсной фазы. Для этого в раствор, содержащий ионы Mn^{2+} , предварительно вводили хлорид-ионы в виде раствора хлорида натрия и затем проводили электролиз всей системы (при аналогичных первому случаю параметрах работы электролизера).

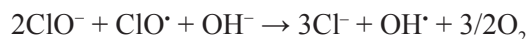
Необходимо учитывать, что окислительная активность хлорсодержащих окислителей, полученных путем электрообработки растворов в значительной степени зависит от условий проведения процесса электролиза. Так, при электролизной обработке низкоконтцентрированных растворов NaCl (концентрация хлорид-ионов менее 300 мг/дм³) степень превращения хлорид-ионов в «активный хлор» достаточно невысокая (2–5 %) и количество окислителя образующегося окислителя мало [3, 4]. Также следует отметить, что при нагревании раствора хлорида натрия увеличивается вероятность протекания побочных процессов, приводящих к образованию хлорат-ионов, которые обладают значительно меньшей окислительной активностью, чем ионы ClO^- и $HClO$ [10, 11].

В ходе экспериментальных исследований было установлено, что окислительное осаждение ионов марганца (II) из раствора в виде осадка MnO_2 возможно в достаточно широком интервале pH от 4,5 до 10,5. Однако, основываясь на данных проведенного теоретического анализа особенностей химических превращений кислородсодержащих соединений хлора при разных значениях pH раствора, можно сделать вывод, что процесс окислительного осаждения ионов марганца (II)

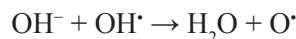
целесообразно проводить в диапазоне pH системы от 7,0 до 7,6, т.к. данный диапазон pH характеризуется наивысшей окислительной активностью кислородных соединений хлора (рисунок).

Такие особенности изменения окислительной активности хлорсодержащих окислителей объясняются тем, что указанные соединения, являясь сопряженными кислотой и основанием ($HClO + H_2O$; $H_3O^+ + ClO^-$; $ClO^- + H_2O$; $HClO + OH^-$), образуют в указанном диапазоне pH метастабильную систему, способную генерировать ряд соединений и частиц, обладающих гораздо большим окислительным действием, нежели хлорноватистая кислота: ClO^- – гипохлорит-радикал; $Cl^{\bullet}$ – хлор-радикал; $O^{\bullet}$ – атомарный кислород; $OH^{\bullet}$ – радикал гидроксила. Катализаторами реакций с участием хлоркислородных соединений будут ионы H^+ и OH^- , существующие в воде также приблизительно в равных количествах при значениях pH, близких к нейтральному.

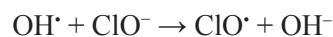
Активные радикалы $ClO^{\bullet}$ могут способствовать реакциям образования атомарного кислорода и $OH^{\bullet}$ радикала



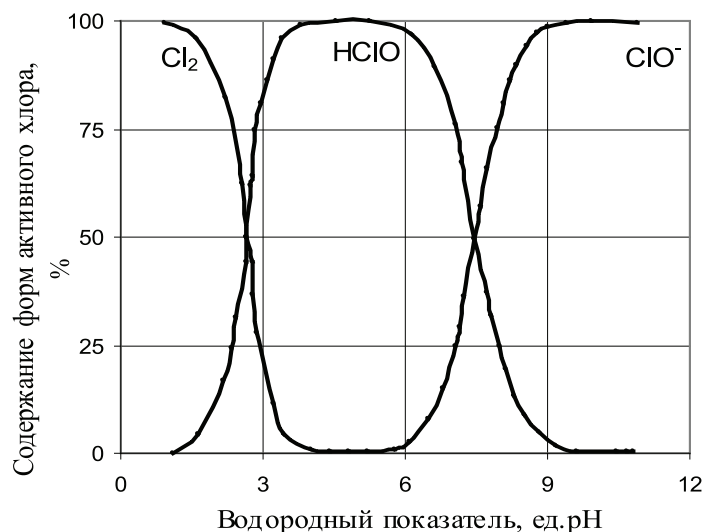
(процесс, определяющий скорость разложения гипохлорита);



(быстрый процесс выделения атомарного кислорода);



(менее вероятный процесс продолжения побочного развития цепи в сильнощелочной среде).



Содержание форм активного хлора в растворе при различных значениях pH [12]

В присутствии ионов металлов переменной валентности, помимо процесса восстановления «активного хлора» до хлорид-ионов могут так же протекать процессы восстановления хлоратов до ионов Cl^- [12]. Поэтому можно предположить, что атомарный кислород можно получить каталитическим разложением «активного хлора» во всем диапазоне pH, в котором хлор находится в растворе в виде кислородных соединений. Реакции с участием кислорода также зависят от кислотности среды. В щелочной среде скорость переноса кислорода в 50 раз меньше, чем в нейтральной и слабокислой средах, что в итоге отражается на процессе окисления [1, 11]. Этим объясняются выводы ряда авторов о том, что окислительные процессы в гипохлоритных растворах протекают с участием преимущественно хлорноватистой кислоты [1, 9, 10, 12].

Таким образом, можно констатировать, что окислительный процесс во многих случаях происходит с разложением «активного хлора» на атомарный кислород и хлорид-ион. Атомарный кислород участвует в окислительном процессе, а хлорид-ион остается в растворе. Присутствие катионов Mn^{2+} оказывает катализирующее действие на процесс восстановления «активного хлора», что значительно ускоряет время протекания процесса.

Полученные в работе кинетические зависимости процесса окислительного осаждения показали, что в случае *реагентного осаждения* Mn (II) электролизными растворами «активного хлора», оптимальным временным интервалом протекания процесса окислительного осаждения будет 3 минуты с момента начала реакции. При *электрокоагуляционном осаждении* Mn (II) процесса полного осаждения фиксируется после 30 секунд с момента начала реакции.

Таким образом, очевидно, что процесс окислительного осаждения ионов марганца (II) из растворов в виде осадка MnO_2 протекает с большей скоростью при электролизной обработке всей модельной системы, содержащей изначально ионы марганца (II) и необходимую концентрацию хлорид-ионов, т.е. в случае электрокоагуляционного осаждения.

На основании проведенных исследований было установлено, что фактический расход реагента-окислителя зависит от способа взаимодействия марганецсодержащего раствора с реагентом-окислителем (при исходно равных концентрациях хлорид-ионов – 300 мг/дм³). Так, при введении ре-

агента-окислителя в марганецсодержащую модельную систему в виде электролизного гипохлоритного раствора на извлечение 1 мг марганца (II) из раствора, в виде осадка MnO_2 фактически расходовалось 2,41 мг «активного хлора». В случае процесса электрокоагуляции на извлечение 1 мг марганца (II) из фактически расходовалось 1,32 мг «активного хлора».

Следовательно, более эффективно и при меньшем расходе реагента-окислителя процесс окислительного осаждения ионов марганца (II) протекает при электролизной обработке всей модельной системы, содержащей изначально необходимую концентрацию хлорид-ионов.

Такая особенность поведения ионов марганца (II) в растворах гипохлоритов может объясняться тем, что образующийся «активный хлор» в присутствии ионов Mn^{2+} отличается высокой окислительной активностью. Марганец в данном случае выступает как катализатор процесса восстановления «активного хлора», приводящего к образованию атомарного кислорода и хлорид-ионов. Поэтому при электролизной обработке всей модельной системы, содержащей изначально ионы марганца (II) и необходимую концентрацию хлорид-ионов, существенно снижается время протекания процесса и количество расходуемого реагента-окислителя.

Выводы

Проведенные исследования подтвердили эффективность использования метода окислительного осаждения в присутствии хлорсодержащих окислителей для количественного извлечения из растворов ионов Mn^{2+} в виде дисперсной фазы. Максимальные показатели извлечения достигают 99,9 %.

Согласно проведенным исследованиям были установлены рациональные технологические параметры окислительного осаждения ионов марганца хлорсодержащими окислителями:

- процесс окислительного осаждения более эффективно проводить путем электролизной обработки водных растворов, содержащей изначально ионы марганца (II) и необходимую концентрацию хлорид-ионов;
- диапазон pH водных растворов подерживается в интервале от 7,0 до 7,6;
- время электрообработки водной системы – 30 секунд;
- концентрация хлорид-ионов в растворе не менее 300 мг/дм³;

– расход на осаждение ионов марганца (II) хлорсодержащего окислителя рассчитывается из соотношения 1:1,32 мг.

При этом следует отметить, что применение электролизных гипохлоритных растворов в качестве реагента-окислителя для извлечения марганца (II) из растворов имеет ряд следующих преимуществ:

– процесс окисления характеризуется высокой скоростью протекания;

– процесс окисления обеспечивает использование безопасного реагента;

– для полного количественного извлечения марганца требуется незначительный расход реагента-окислителя ввиду высокой окислительной способности растворов, образующихся в процессе электролиза;

– возможность проводить окисление всего объема сточной воды без создания зон с повышенной концентрацией реагента благодаря его дозированной и пропорциональной обрабатываемому потоку воды подаче;

– отсутствует вторичное загрязнение воды, т.к. для получения гипохлоритных растворов методом электролиза возможно использование оборотной воды с определенным исходным содержанием хлорид-ионов, а при недостаточной их концентрации в оборотной воде (для извлечения заданного содержания марганца) возможно дополнительное введение хлорида натрия в оборотную воду, подаваемую в электролизер;

– стоимость производства гипохлорита натрия на месте в несколько раз дешевле покупки и транспортировки уже готового продукта;

– компактность и простота используемой аппаратуры;

– возможность автоматизации процесса.

Кроме того, гипохлоритный раствор, полученный электрохимическим методом из водных растворов хлорида натрия, не токсичен, легко отдает активный кислород, имеет небольшую молекулярную массу и малые размеры, благодаря чему легко проходит че-

рез клеточные мембраны и, следовательно, может окислять токсины, находящиеся не только в растворе, но и в клеточных структурах, что дает возможность использовать полученные растворы не только для извлечения марганца, но и для обеззараживания бытовых стоков.

Список литературы

1. Бондаренко Л.В. Исследование процесса восстановления активного хлора в условиях хлорного производства: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1980. – 18 с.
2. Галкова Л.И., Птицын А.Н. Переработка хлоридных растворов с получением качественного марганцевого концентрата // КИМС. – 1987. – № 5. – С. 88–90.
3. Ковалев В.В. Интенсификация электрохимических процессов водоочистки. – Кишнев: Штиница, 1986. – 136 с.
4. Красноборошко И.Г., Яковлев С.В. Технология электрохимической очистки воды. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-е, 1987. – 312 с.
5. Мишурина О.А., Муллина Э.Р. Химические закономерности процесса селективного извлечения марганца из техногенных вод // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2012. – № 3. – С. 58–62.
6. Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Муллина Э.Р. Деманганация сточных вод растворами хлорной извести // Альманах современной науки и образования. – 2013. – № 9 (76). – С. 115–118.
7. Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Муллина Э.Р. Особенности химических способов извлечения марганца из технических растворов // Молодой ученый. – 2013. – № 5. – С. 84–86.
8. Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Муллина Э.Р. Химические превращения кислород-содержащих ионов хлора растворов при разных значениях диапазона pH // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 2–2. – С. 43–46.
9. Никитин И.В. Химия кислородных соединений галогенов. – М.: Наука, 1986. – 104 с.
10. Прокопчик А.Ю. Разложение некоторых окислителей в щелочной среде: дис. ... д-ра хим. наук. – Вильнюс: ИХ и ХПЯ Лит.ССР, 1963. – 425 с.
11. Туманова Т.А., Флис И.Е. Физико-химические основы отбелки целлюлозы: Химические и физико-химические свойства хлора и его кислородных соединений / под ред. К.П. Мищенко. – М.: Лесн. пром-ть, 1972. – 262 с.
12. Туманова Т.А. Исследование окислительных свойств водных растворов хлора и его кислородных соединений в связи с отделкой целлюлозы: дис. ... д-ра хим. наук. – Л.: ЛТА им. Кирова, 1974. – 519 с.

УДК 550.35: 551.594

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИОНИЗАЦИИ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ВОЗДУХА С УЧЕТОМ ВКЛАДА ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ**Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н., Петров А.И., Бураева Е.А., Дергачева Е.В.,
Кубрина В.К., Колесников И.А., Егоров Е.В.***Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону,**e-mail: buraeva_elena@mail.ru, georgpu@rambler.ru, lera.kubrina@yandex.ru*

В работе представлены данные по мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения почв ряда регионов Северного Кавказа. Средняя МЭД гамма-излучения составляет 0,14; 0,14; 0,21 и 0,26 мкЗв/ч для Ростовской области, республик Адыгея, Северная Осетия – Алания и Кабардино-Балкария соответственно. Средние удельные активности радионуклидов в почвах отдельных пунктов региона исследования отличаются в 2–5 раз, в зависимости от типа почв, почвообразующих пород, условий формирования почв, особенностей рельефа и климата. Объемная активность ^{222}Rn в приземном слое воздуха варьирует от 10–15 Бк/м³ в г. Ростове-на-Дону и в высокогорьях Кабардино-Балкарии и до 100 Бк/м³ в республике Адыгея. Плотность ионизации приземного слоя воздуха (интенсивность ионообразования) линейно возрастает в зависимости от содержания естественных и искусственных радионуклидов в почве. Значимый вклад в плотность ионизации приземного воздуха дает радиоактивный газ ^{222}Rn .

Ключевые слова: естественные радионуклиды, искусственные радионуклиды, активность, ионизация, приземный слой атмосферы, плотность потока ^{222}Rn

**THE STUDY OF IONIZATION OF SURFACE AIR
WITH THE CONTRIBUTION OF NATURAL RADIONUCLIDES****Petrova G.G., Panchishkina I.N., Petrov A.I., Buraeva E.A.,
Dergacheva E.V., Kubrina V.K., Kolesnikov I.A., Egorov E.V.***Southern Federal University, Rostov-on-Don,**e-mail: buraeva_elena@mail.ru, georgpu@rambler.ru, lera.kubrina@yandex.ru*

The paper presents data on the equivalent dose rate of gamma radiation of the Northern Caucasus. The average dose rate of gamma radiation is 0,14; 0,14; 0,21 and 0,26 mSv/h for the Rostov Region, Republic of Adygea, Republic of North Ossetia-Alaniya and Republic of Kabardino-Balkar, respectively. The average activity concentrations of radionuclides in the soil of the study region vary in 2–5 times, depending on the type of soil parent rock material, the conditions of soil formation, topography and climate. The volume activity concentration of ^{222}Rn in the ground layer of air in Rostov-on-Don and in the highlands of Kabardino-Balkaria varies from 10 to 15 Bq/m³, and amounts 100 Bq/m³ in the Republic of Adygea. The surface air ionization density increases linearly as a function of the content of natural and artificial radionuclides in the soil. A significant contribution to the surface air ionization density enables a radioactive gas ^{222}Rn .

Keywords: natural radionuclides and artificial radionuclides, activity, ionization, the surface layer of the atmosphere, ^{222}Rn flux density

Электрические процессы в приземном слое воздуха и особенно в системе почва – атмосфера достаточно сложны. Атмосферно-электрические характеристики определяются множеством процессов и факторов: перемешиванием атмосферы, интенсивностью ионизации, загрязненностью и увлажненностью воздуха, наличием таких явлений, как туман, дождь, снег; температура и давление воздуха и так далее – также меняются в течение суток и на протяжении года.

В целом атмосферу можно рассматривать как коллоидную систему, в которой растворителем является смесь газов – воздух, а растворенной субстанцией являются твердые и жидкие примеси – аэрозоли. К аэрозольным компонентам природного происхождения приземного слоя воздуха относятся: минеральная и вулканическая

пыль, частицы, образовавшиеся в результате конденсации летучих органических соединений, дым от лесных и степных пожаров, выхлопы автомобилей и промышленные выбросы (дым, сажа, дорожная пыль и др.), продукты химических реакций газов, частицы почвенного происхождения, океанические аэрозоли и пр. Частицы, размером 0,01–0,2 мкм, оказывают существенное влияние на значения величин атмосферного электричества.

Основными ионизаторами приземной атмосферы в рамках всего земного пространства являются радиоактивные излучения естественных и искусственных радионуклидов, содержащихся в литосфере и атмосфере, солнечная радиация и космическое излучение. Причем в зависимости от геолого-географической характеристики

региона вклады земной и космогенной составляющей в процессы ионизации атмосферы могут существенно варьировать.

Целью работы является оценка вклада природных радионуклидов в ионизацию приземного слоя воздуха.

Материалы и методы исследования

Северный Кавказ расположен на крайнем юго-западе России (между 47°12' и 41°11' с.ш. и 36°32' и 48°35' в.д.) на стыке умеренного и субтропического климатических поясов. На территории Северного Кавказа расположены 7 Республик: Адыгея, Карачаево-Черкесия, Кабардино-Балкария, Северная Осетия – Алания, Ингушетия, Чеченская республика, Дагестан; 2 края: Краснодарский, Ставропольский; а также частично районы Ростовской области и Калмыкии. В природном отношении Северный Кавказ включает в себя два различных типа территорий – равнины бассейна Дона и Предкавказья и горная и предгорная части Кавказа.

Исследования проводились в различных регионах Северного Кавказа, преимущественно в горных районах: Республики Адыгея, Северная Осетия, Кабардино-Балкария и на ряде степных территорий Ростовской области. Измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД, мкЗв/ч), объемной активности ²²²Rn в воздухе и отбор почвенных проб были проведены в экспедициях 2013–2015 годов.

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения определяли дозиметрами-радиометрами СРП-88н, ДРБП-03, ДКС-96; радионуклидный состав почв – гамма-спектрометрическим методом с использова-

нием сцинтилляционного спектрометра «Прогресс-Гамма». Для измерения объемной активности ²²²Rn в воздухе применяли радиометры радона РРА-01М-03 с пробоотборным устройством ПОУ-04. Методики отбора и подготовки проб использовали стандартные.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 приведены сводные данные по мощности эквивалентной дозы гамма-излучения территорий Северного Кавказа, определенные в экспедициях 2013–2014 годов.

С увеличением высоты над уровнем моря, по сравнению с равнинными территориями, МЭД в высокогорье возрастает, как видно по нашим данным, почти вдвое [2]. Это обусловлено возрастанием интенсивности космического излучения в высокогорных районах. Также для горных территорий характерны выходы пород с повышенным содержанием естественных радионуклидов. Горным породам присуща повышенная эманация ²²²Rn, особенно на территориях с тектоническими нарушениями (разломы и трещины земной коры). В табл. 2 приведены средние удельные активности естественных радионуклидов и искусственного ¹³⁷Cs в верхнем (0–5 см) слое почвы на различных территориях Северного Кавказа.

Таблица 1

Мощность эквивалентной дозы (МЭД) на различных территориях

Регион	Высота над уровнем моря, м	Количество измерений	МЭД, мкЗв/ч		
			Минимум	Максимум	Среднее арифметическое
Ростовская область (степные районы)	10–200	1168	0,05	0,29	0,13
Республика Адыгея (горные районы)	500–800	977	0,02	0,35	0,14
Республика Северная Осетия – Алания (Дигорский район)	2000–2200	3722	0,14	0,43	0,21
Республика Кабардино-Балкария (пики Чегет и Терскол)	3050–3150	1248	0,11	0,57	0,26

Таблица 2

Средние удельные активности радионуклидов в 0–5 см почвенном слое

Район	Средняя удельная активность ± Погрешность, Бк/кг			
	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
Ростовская область (степные районы)	34,9 ± 3,5	22,3 ± 2,4	25,1 ± 2,6	380,4 ± 40,1
Республика Адыгея (горные районы)	42,0 ± 3,8	29,8 ± 2,7	30,8 ± 3,1	447,3 ± 45,5
Республика Северная Осетия – Алания (Дигорский район)	230,2 ± 24,2	41,1 ± 3,9	38,7 ± 3,5	667,3 ± 63,2
Республика Кабардино-Балкария (пики Чегет и Терскол)	53,6 ± 5,4	39,8 ± 4,1	58,2 ± 5,4	681,0 ± 70,5

Содержание естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в высокогорных районах Северной Осетии и Кабардино-Балкарии почти в два раза выше, чем в степях Ростовской области, что обусловлено влиянием радионуклидного состава почвообразующих пород на радиоактивность почв [5]. В горных районах имеют место выходы пород с высоким содержанием естественных радионуклидов (граниты, гранодиориты и др.). На высокое содержание ^{226}Ra в почвах может оказывать влияние повышенное содержание урана в почвообразующих породах, характерное для территорий с тектоническими нарушениями.

Значимые вариации искусственного ^{137}Cs связаны как с неравномерностью выпадений данного радионуклида после аварии на Чернобыльской АЭС и испытаний ядерного оружия, так и с влиянием особенностей рельефа и процессов почвообразования в регионах исследования.

Одним из наиболее важных атмосферно-электрических параметров является электропроводность атмосферы, которая для приземного слоя, толщиной в несколько десятков метров, на 80 % обеспечивается мгновенным значением концентрации ионов в воздухе, образованных полями ионизирующих излучений, генерируемых при

распаде радиоактивных элементов, находящихся в почве и атмосфере [1, 6].

В данной работе для оценки зависимостей плотности ионизации атмосферы от удельной активности почвенных радионуклидов и плотности ионизации от высоты над поверхностью земли была использована модель [3]. Вертикальные распределения плотности ионизации атмосферы за счет почвенных радионуклидов были аппроксимированы функцией

$$q(z) = B e^{Cz + Dz^E}, \quad (1)$$

где B – переменный коэффициент, зависящий от типа i -го радионуклида и его удельной активности A_i , Бк/кг; C , D и E – постоянные коэффициенты, зависящие от типа i -го радионуклида.

Из рис. 1 видно, что плотность ионизации линейно возрастает в зависимости от удельной активности естественных радионуклидов. Максимальное влияние на ионизацию оказывают ^{226}Ra и ^{40}K . Значение плотности ионизации, обусловленной радионуклидами ^{232}Th и ^{137}Cs , примерно в два раза меньше. Ниже приведены особенности высотного распределения плотности ионизации, обусловленной разными радионуклидами на различных территориях.

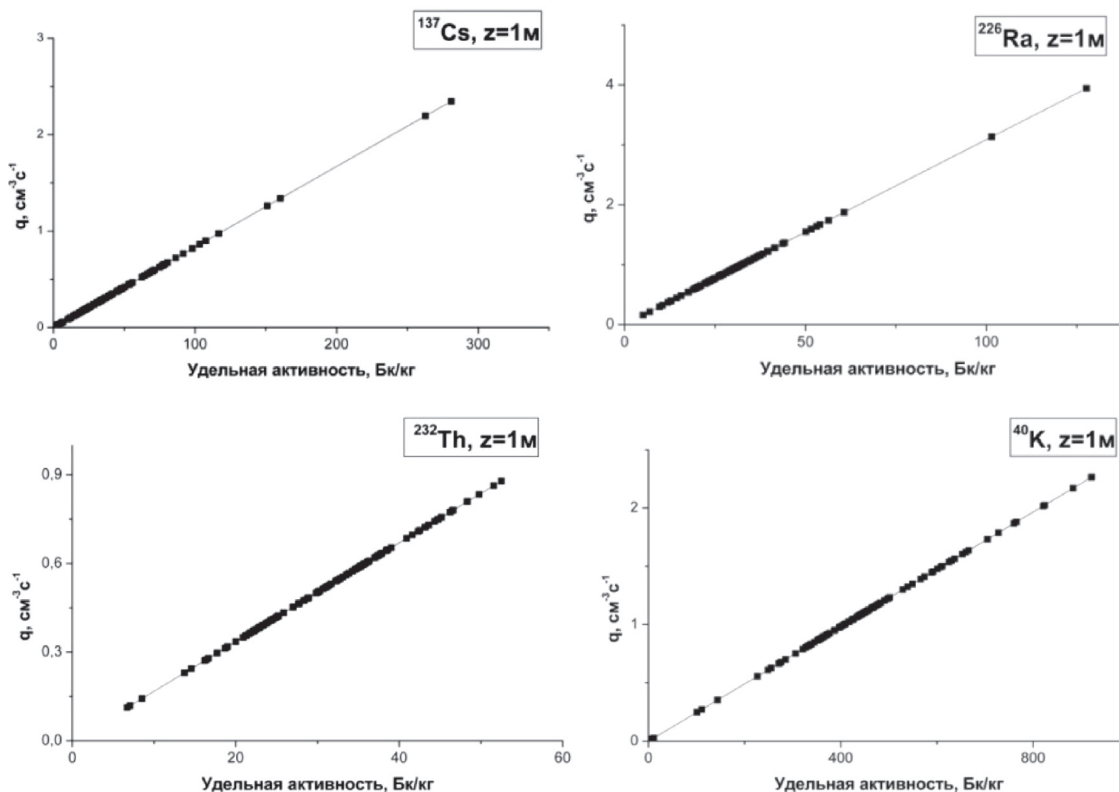


Рис. 1. Графики зависимости функции плотности ионизации от удельной активности почвенных радионуклидов

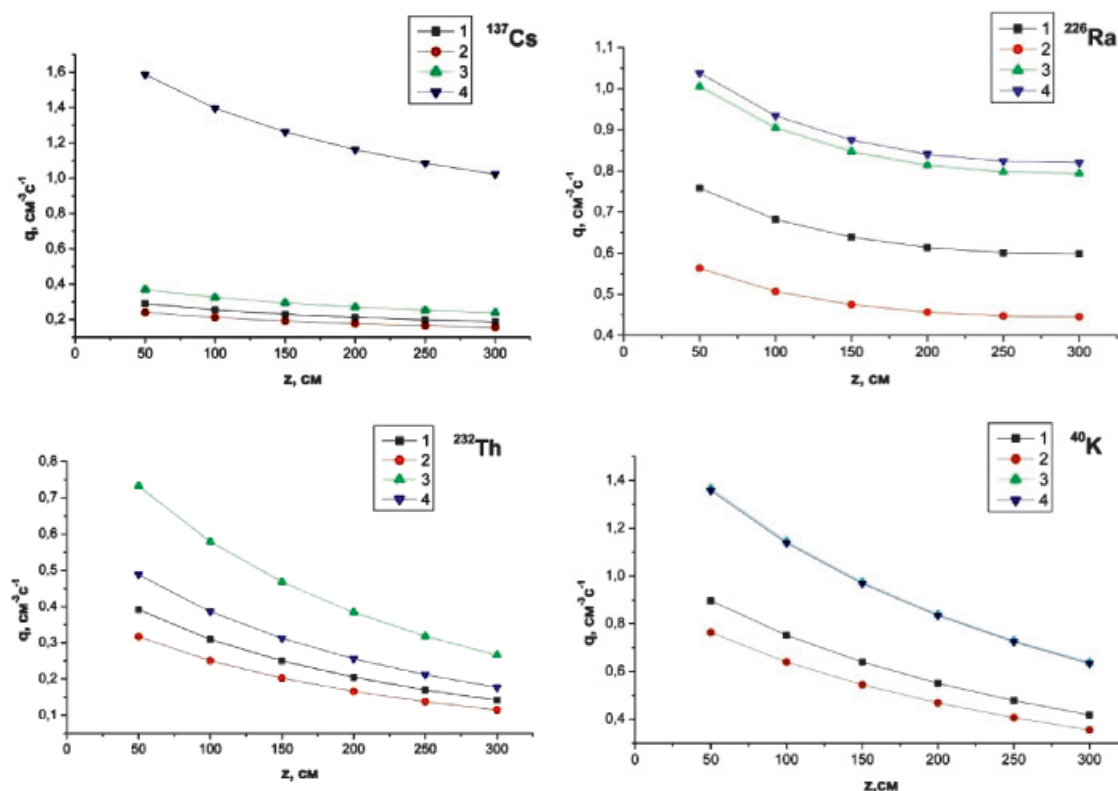


Рис. 2. Графики зависимости плотности ионизации от природных радионуклидов и ^{137}Cs от высоты над земной поверхностью:

1 – Адыгея; 2 – Ростовская область; 3 – Кабардино-Балкария; 4 – Северная Осетия

Снижение плотности ионизации с ростом высоты над поверхностью земли может быть обусловлено длиной пробега ионизирующих частиц в приземном слое атмосферы.

Также имеет место эманация ^{222}Rn . Авторы работы [1] предлагают следующую модель интенсивности ионообразования от ^{222}Rn :

$$q_{Rn} = kRn, \quad (2)$$

где Rn – концентрация ^{222}Rn , Бк/м³; k – коэффициент, показывающий, сколько пар ионов образуется в 1 см³ за 1 с при одном α -распаде, то есть при $Rn = 1$ Бк/м³ (1 Бк = 1 распад/с).

$$k = \frac{E}{\omega\tau} \approx 0,2 \text{ пар ионов/сБк},$$

где E – энергия α -частиц (3 МэВ); $\omega \approx 33$ эВ – средняя энергия ионообразования; $\tau \approx 3,8$ дней – период полураспада ^{222}Rn [4].

На территории Республик Адыгея и Кабардино-Балкария объемную активность ^{222}Rn измеряли на высоте 1 м от поверхности земли, на территории г. Ростова-на-Дону – на высоте 15 м от поверхности земли (табл. 3). В целом интенсивность ионообразования в приземном слое воздуха максимальна на территориях с высоким содержанием ^{222}Rn .

По литературным данным [1] вклад в ионизацию приземного слоя воздуха от почвенных радионуклидов составляет 35–45%. В данной работе был оценен вклад от почвенных радионуклидов (естественного и искусственного происхождения) в плотность

Таблица 3

Интенсивность ионообразования в приземном слое воздуха от ^{222}Rn на различных территориях (дневные часы)

Район	Объемная активность ^{222}Rn , Бк/м ³	Интенсивность ионообразования, см ⁻³ с ⁻¹
г. Ростов-на-Дону	10–15	2–3
Республика Адыгея (горные районы)	50–110	10–22
Республика Кабардино-Балкария (пики Чегет и Терскол)	10–20	2–4

ионизации приземного слоя воздуха. Использовали средние арифметические удельные активности радионуклидов в 0–5 см почвенном слое без учета их вариаций по площади.

радионуклидом ^{137}Cs наземных экосистем при фоновом содержании земных радионуклидов, вклад радиоцезия в плотность ионизации приземного слоя воздуха может оказаться существенным.

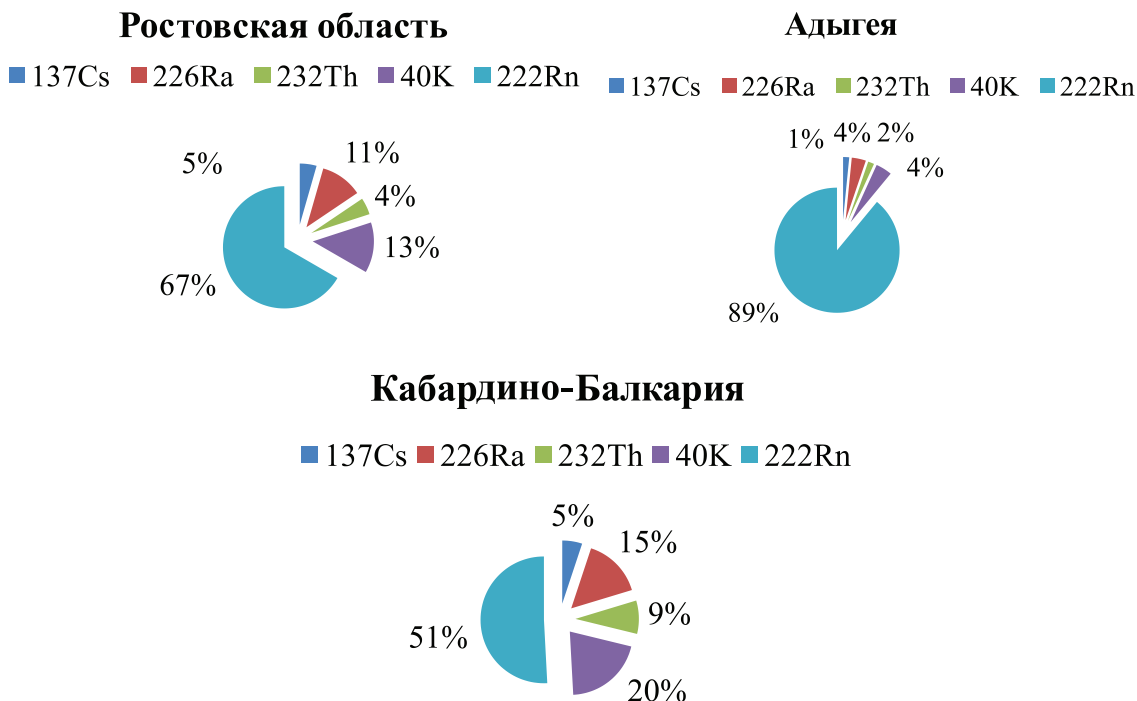


Рис. 3. Вклад почвенных радионуклидов в плотность ионизации приземного слоя воздуха

Как видно из рис. 3, вклад естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и искусственного ^{137}Cs в плотность ионизации приземного слоя воздуха на уровне земли в зависимости от удельной активности радионуклидов в верхнем почвенном слое может достигать от 20–25 % (для республики Адыгея) до 50 % (для республики Кабардино-Балкария). Причем значимую роль в ионизации приземной атмосферы могут играть α -излучающий радионуклид ^{226}Ra и β -излучающий ^{40}K . Так как плотность ионизации практически линейно возрастает в зависимости от содержания радионуклидов в почве, вклады данных элементов в ионизацию приземного слоя воздуха могут существенно варьировать.

В целом в почвах Северного Кавказа удельная активность ^{226}Ra может достигать нескольких сотен Бк/кг, а ^{40}K – нескольких тысяч Бк/кг. Также необходимо учитывать и α -излучающий радионуклид земного происхождения ^{232}Th на территориях с ториевыми аномалиями. А в регионах со значительными загрязнениями искусственным

Также в работе не учитывался вклад в ионизацию приземного слоя воздуха от остальных радионуклидов, входящих в семейства урана (^{238}U), актиноурана (^{235}U) и тория (^{232}Th) – ^{234}Th , ^{224}Ra , ^{210}Pb , ^{228}Ac , ^{225}Ac , ^{210}Po , ^{212}Pb , ^{214}Pb , ^{212}Bi , ^{214}Bi , ^{208}Tl и др., а также радиоактивных газов торона и актинона (^{220}Rn , ^{219}Rn).

Заключение

В работе проанализированы данные по мощности эквивалентной дозы гамма-излучения Северного Кавказа. Средняя МЭД гамма-излучения составляет 0,14; 0,14; 0,21 и 0,26 мкЗв/ч для Ростовской области, республик Адыгея, Северная Осетия и Кабардино-Балкария соответственно. Подобное распределение МЭД гамма-излучения обусловлено излучением почвенных радионуклидов, эманацией ^{222}Rn и космическим излучением на исследуемых территориях.

Средние удельные активности естественных и искусственных радионуклидов в почвах отдельных пунктов региона исследования отличаются в 2–5 раз,

в зависимости от типа почв, почвообразующих пород, условий формирования почв, особенностей рельефа и климата. Объемная активность ^{222}Rn в приземном слое воздуха г. Ростова-на-Дону и в высокогорьях Кабардино-Балкарии составляет 10–15 Бк/м³, в республике Адыгея может достигать 100 Бк/м³.

Плотность ионизации приземного слоя воздуха линейно возрастает в зависимости от содержания естественных и искусственных радионуклидов в почве. Доля радионуклидов земного происхождения и искусственного радиоцеция в суммарной плотности ионизации атмосферы может составлять от 20 до 50 % и существенно зависит от радиоактивности почв территорий исследования. Значимый вклад в плотность ионизации приземного воздуха вносит радиоактивный газ ^{222}Rn .

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), грант 16-05-00930 А.

Список литературы

1. Березинский Н.А. Влияние процессов подготовки землетрясений на концентрацию радона и электропроводность приземной атмосферы / Н.А. Березинский и др. // Геология и геофизика Юга России. – 2011. – № 2. – С. 14–21.
2. Бураева Е.А., Малышевский В.С., Нефедов В.С., Тимченко А.А., Горлачев И.А., Семин Л.В., Шиманская Е.И., Триболина А.Н., Кубрин С.П., Гуглев К.А., Толпыгин И.Е., Мартыненко С.В. Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных и урбанизированных территорий Северного Кавказа // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–5. – С. 1073–1077.
3. Закау В.В. Ионизация приземной атмосферы излучением почвенных радионуклидов / В.В. Закау и др. // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 2. – С. 171–175.
4. Морозов В.Н. Математическое моделирование атмосферно-электрических процессов с учетом влияния аэрозольных частиц и радиоактивных веществ. – СПб.: РГТУ, 2011. – 253 с.
5. Неганова К.С., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Нефедов В.С., Дергачева Е.В., Стасов В.В., Аветисян С.Р., Гончарова Л.Ю., Вардуни Т.В., Данилова А.А. Особенности распределения радионуклидов в аллювиальных почвах Северного Кавказа // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12–1. – С. 131–135.
6. Редин А.А. Математическое моделирование электродинамических процессов в приземном слое в условиях аэрозольного загрязнения атмосферы / А.А. Редин и др. // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 8. – С. 111–121.

УДК 544.01:536.7:532.73

КИНЕТИКА ВЫСВОБОЖДЕНИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ АНТИБИОТИКА ЛИНКОМИЦИНА ИЗ БИОДЕГРАДИРУЕМЫХ БИОПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН МЕДИЦИНСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ

**Севостьянов М.А., Насакина Е.О., Баикин А.С., Леонов А.В.,
Сергиенко К.В., Каплан М.А., Конушкин С.В., Колмаков А.Г.**

*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук,
Москва, e-mail: cmakp@mail.ru*

Разработана технология получения биodeградируемых биополимерных мембран на основе хитозана высокой плотности с необходимыми для медицинского применения свойствами. Создана технология включения в мембраны на основе хитозана высокой плотности антибиотика общего действия – линкомицина. Изучено влияние толщины мембраны и pH окружающего мембраны раствора на кинетику высвобождения антибиотика из мембран. Показано, что кинетика высвобождения линкомицина из биodeградируемых биополимерных мембран на основе хитозана высокой плотности зависит от технологии изготовления мембраны и условий экстракции. Сделан вывод, что биodeградируемые биополимерные мембраны, используемые в данном исследовании, по техническим параметрам пригодны для изготовления биodeградируемых биополимерных покрытий стентов и протезов с пролонгированным и контролируемым высвобождением лекарственных препаратов в окружающие ткани.

Ключевые слова: контролируемая доставка фармацевтических препаратов, биodeградируемые мембраны, хитозан, антибиотик, линкомицин

THE KINETICS OF LINCOMYCIN RELEASE FROM BIOPOLYMER BIODEGRADABLE OF MEMBRANES BASED ON HIGH DENSITY CHITOSAN

**Sevostyanov M.A., Nasakina E.O., Baikin A.S., Leonov A.V., Sergienko K.V.,
Kaplan M.A., Konushkin S.V., Kolmakov A.G.**

*A.A. Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, Russian Academy of Sciences,
Moscow, e-mail: cmakp@mail.ru*

The technology of production of biodegradable biopolymer membranes based on high density chitosan required for medical use properties was create. Created technology inclusion of lincomycin to membrane based on high density chitosan. The influence of the thickness of the membrane and the ambient pH of the membrane solution on the kinetics of antibiotic release from membranes was studied. It is shown that the kinetics of active substance release from biodegradable biopolymer membranes based on high density chitosan depends on the manufacturing technology of the membrane and the extraction conditions. Concluded that the biodegradable polymeric membranes used in this study are suitable for coating of stents and prostheses sustained and controlled release of drugs into the surrounding tissue.

Keywords: antibiotic, biodegradable membranes, polylactic acid, lincomycin

Разработка и изучение систем контролируемой доставки фармацевтических препаратов на основе биodeградируемых полимерных мембран является одним из наиболее перспективных и быстро развивающихся направлений химической технологии [10]. В настоящее время выделяющие лекарственные вещества материалы в основном используются для покрытия хирургических имплантатов или как перевязочные материалы. Такие материалы, как правило, содержат:

- 1) матрицу в виде волокон или непрерывного полимера;
- 2) терапевтически активное вещество, размещенное в матрице;
- 3) вспомогательное вещество которое либо способствует связыванию терапевти-

чески активного вещества с матрицей, либо, наоборот, способствует его высвобождению.

Основное преимущество систем контролируемой доставки фармацевтических препаратов заключается в возможности длительного поддержания стационарного уровня фармацевтического препарата в тканях или биологических жидкостях в течение необходимого для терапии времени. Эффективность систем с контролируемой доставкой фармацевтических препаратов во многом определяется свойствами материалов, из которых изготовлена матрица, свойствами терапевтически активного вещества и свойствами вспомогательного вещества [7]. В целом системы контролируемой доставки фармацевтических препаратов кроме необходимых физико-химических

и механических свойств (высокая сорбционная способность, эластичность, газопроницаемость, стабильность и т.п.) должны быть атравматичными, биосовместимыми, биodeградируемыми. Перспективным материалом для получения систем с контролируемой доставкой фармацевтических препаратов является хитозан [9].

В настоящее время хитозан и его производные с успехом используются для доставки лекарств через нос, слизистые мембраны глаз, а также ротовую полость. Благодаря своей катионной природе, хитозан способен образовывать нерастворимые полиэлектролитные комплексы с анионными полимерами [2]. Эта способность используется

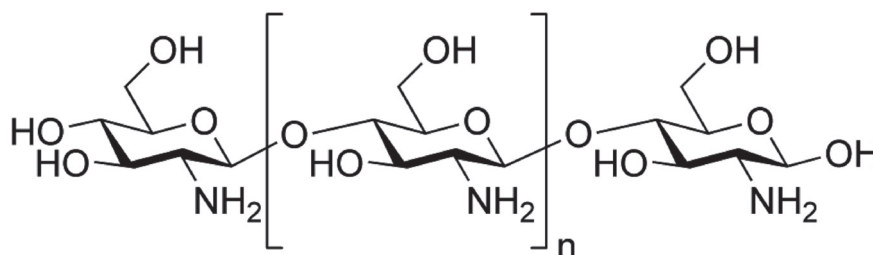


Рис. 1. Химическая формула хитозана

Хитозан – это полиаминосахарид, состоящий из случайно связанных β -(1-4) D-глюкозаминовых звеньев и N-ацетил-D-глюкозамина. Получают хитозан только из хитина, в чистом виде он в природе не встречается [2]. Хитозан содержит в себе большое количество свободных аминогрупп, что позволяет ему связывать и прочно удерживать различные катионы [5]. Хитозан способен образовывать большое количество водородных связей, поэтому он может связать не только металлы, но и большое количество органических водорастворимых веществ [7]. Сам по себе хитозан плохо растворим в воде, так как в ней происходит протонирование аминогрупп, что затрудняет его растворение, при этом он довольно хорошо растворяется в неорганических кислотах [2]. В органических кислотах содержащих несколько карбоксильных групп, хитозан не растворяется, поскольку данные кислоты образуют межмолекулярные сшивки [5]. Хитозан может удерживать в своей структуре как растворитель, так и растворенные в нём вещества [7]. В данной статье будет рассмотрено решение проблемы связанной с наличием кислоты в составе хитозана. Кроме того, хитозан может частично связывать жирорастворимые соединения за счет эффекта молекулярного сита и гидрофобных взаимодействий [9]. Для хитозана характерны мукоадгезивные свойства, то есть способность к прилипанию к слизистым оболочкам. Данные свойства хитозана активно используются при создании лекарственных форм, поступающих в организм через слизистые оболочки.

в технологиях капсулирования, в том числе при направленной радионуклидной терапии [1]. Нужно отметить, что при растворении в организме млекопитающих хитозан кроме описанных выше эффектов оказывает гипохолестеринемическое и дезинтоксикационное действие. Хитозан уменьшает уровень мочевой кислоты, холестерина и глюкозы в крови на фоне сахарного диабета, увеличивает эффективность усвоения кальция из пищи, обладает противогрибковыми и антибактериальными свойствами. На физиологическом уровне хитозан способствует усилению перистальтики кишечника, предотвращению всасывания жиров в тонком кишечнике, нормализации кишечной микрофлоры, более быстрому наступлению ощущения сытости после принятия пищи. За счет того, что хитозан обладает рядом уникальных свойств, его применяют в различных отраслях, например в сельском хозяйстве в качестве добавки в корма для животных, при изготовлении продуктов питания и косметики, а с недавнего времени и при создании продуктов биомедицины [5]. Нами создан ряд технологических решений получения биodeградируемых полимерных мембран и покрытий на основе хитозана высокой плотности с нужными механическими свойствами, однако принципиальная возможность создания на их основе систем контролируемой доставки фармацевтических препаратов до сих пор не подтверждена. Цель данной работы заключалась в исследовании кинетики высвобождения фармацевтического препарата линкомицина (антибиотик группы линкозамидов)

(рис. 2) из биodeградируемых биополимерных мембран на основе хитозана высокой плотности. Принципиальная новизна представленной работы заключается в создании и исследовании биodeградируемой полимерной мембраны на основе хитозана высокой плотности, обладающей необходимыми механическими свойствами и способными без остатка высвободить фармацевтический препарат линкомицин во временном интервале от 1 суток до 1 месяца.

Мембраны на основе хитозана получали методом литья раствора полимера с последующим испарением растворителя. Приготовление 3%-ных растворов высокомолекулярного хитозана (1000 кДа) (Sigma-Aldrich, США,) в 3%-ном растворе соляной кислоты (Иреа 2000, Россия) проводили перемешиванием до гомогенного состояния в течение 1,5 ч при температуре раствора 40°C. Для депонирования в мембрану лекарственного препарата в однородный

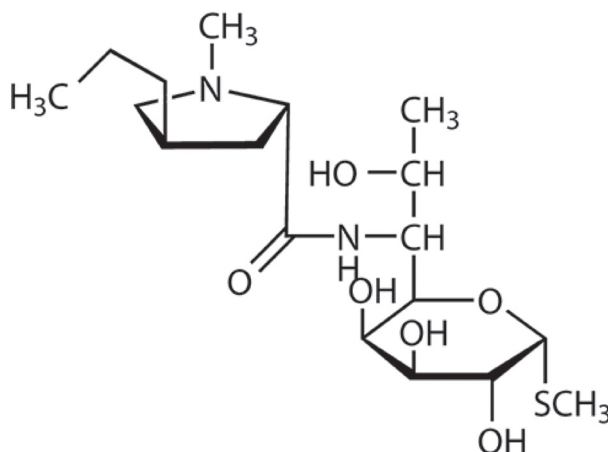


Рис. 2. Химическая формула линкомицина

Уникальные свойства хитозана, а именно биосовместимость с тканями организма млекопитающих, бактериостатичность, способность усиливать регенерационные процессы, а также способность к пленкообразованию, определяют возможность использования хитозана в качестве покрытий хирургических имплантов. Нанесение его на поверхности имплантов способствует уменьшению вероятности послеоперационных осложнений. Одним из существенных преимуществ покрытий имплантов пленками на основе хитозана является их способность к ферментативному разложению. Такие биodeградируемые полимерные покрытия с лекарственными препаратами постепенно разрушаются в организме, при этом скорость высвобождения лекарственного препарата пропорциональна скорости биodeградации матрицы. В настоящее время известны несколько технологий получения биodeградируемых полимерных мембран и покрытий на основе хитозана высокой плотности с нужными свойствами [4, 6], однако даже основные закономерности высвобождения из них лекарственных препаратов до сих пор не изучены.

раствор добавляли порошок антибиотика широкого спектра действия линкомицин гидрохлорид (Акрихин ХФК, Россия). Полученный раствор разливали в пластиковые формы размером 50×30 мм и заливали фиксирующим раствором (30% этиловый спирт и 70% аммиачная вода) на 20 минут. Водородный показатель раствора измеряли с помощью рН-метр Эксперт-001 (Эконикс, Россия). По истечении этого времени фиксирующий раствор сливали и сушили пленки при 37°C в течение 24 часов. Сухие пленки отмывали в фиксирующем растворе (50 мл на одну пленку) в течение 5 часов при комнатной температуре с последующей промывкой в дистиллированной воде, а затем в этиловом спирте. После отмывки пленки опять сушили при 37°C в течение 24 часов. В итоге получают пластичные мембраны содержащие линкомицин и имеющие толщину от 200 до 400 мкм.

Непосредственно перед экспериментом мембраны помещали в водные растворы для экстракции с разными значениями рН. Изучение кинетики высвобождения линкомицина из мембран на основе хитозана высокой плотности в раствор для экстракции проводили методом дифференциальной

спектроскопии в видимой и ультрафиолетовой части спектра [9]. Измерения проводили в кварцевых кюветах с длиной оптического пути 1 см при помощи спектрофотометра Cary 100 (Varian, Австралия) [3]. Суть метода заключается в сравнении спектральных свойств двух растворов, отличающихся по одному признаку. В нашем случае проводили сравнение раствора, образующегося над хитозановой мембраной с антибиотиком, и раствора над хитозановой мембраной без антибиотика. Данный подход позволяет учесть влияние хитозана, который хоть и плохо, но также частично растворяется в водных растворах. Для контроля растворения хитозана высокой плотности использовали сравнение раствора, образующегося над хитозановой мембраной, не содержащей антибиотик, и изначального раствора, в котором проходила экстракция веществ из мембран [9]. Для моменталь-

ных количественных оценок высвобождения антибиотика из мембран на основе хитозана высокой плотности было необходимо определить коэффициенты молярного поглощения линкомицина (рис. 3), мы приняли его за 8300 л/моль при 192 нм.

Исследовано влияние pH на высвобождение линкомицина из биodeградируемых биополимерных мембран на основе хитозана высокой плотности. В большинстве исследованных нами случаев скорость высвобождения линкомицина из биodeградируемых биополимерных мембран на основе хитозана высокой плотности зависит от значений pH (табл. 1, 2). Общей является следующая закономерность: чем ниже значение pH, тем быстрее идет высвобождение антибиотика. Так, для фильтра толщиной 200 мкм при pH 5,8 и при pH 9,0 динамика выхода линкомицина к 7 суткам отличается почти в 2 раза, для фильтра толщиной 400 мкм отличие – 1,5 раза. Необходимо

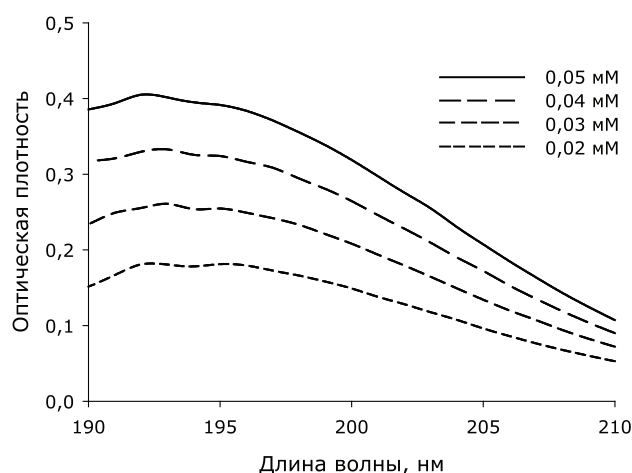


Рис. 3. Спектральные свойства растворов линкомицина в концентрациях (0,02–0,05 мМ) в фосфатно-солевом буфере (1 мМ; pH 7,4)

Таблица 1

Высвобождение линкомицина (0,9 мас %) из 200 мкм биodeградируемой биополимерной мембраны, созданной на основе хитозана высокой плотности, при разных значениях pH экстрагирующего водного раствора

Время, сутки	Экстракция линкомицина, %			
	pH 5,8	pH 6,3	pH 7,4	pH 8,5
1	11,3 ± 0,9	13,3 ± 1,0	11,0 ± 1,0	11,2 ± 0,8
2	13,3 ± 1,1	17,1 ± 1,6	14,6 ± 1,2	11,2 ± 0,9
3	33,8 ± 2,1	41,4 ± 3,7	37,6 ± 2,4	25,0 ± 2,0
5	44,4 ± 3,6	50,8 ± 4,9	40,2 ± 3,1	27,6 ± 2,2
7	59,1 ± 3,9	57,1 ± 5,1	49,8 ± 4,5	29,5 ± 2,4
10	75,5 ± 3,8	66,1 ± 5,2	50,8 ± 4,0	34,8 ± 2,9
13	88,6 ± 4,2	80,2 ± 5,3	57,9 ± 4,3	35,7 ± 2,9
15	93,1 ± 1,9	83,7 ± 6,4	58,1 ± 4,4	35,7 ± 3,0
30	99,1 ± 0,3	93,8 ± 2,4	60,1 ± 4,5	36,8 ± 3,0

отметить, что количество высвободившегося антибиотика за первые сутки в значительной мере не зависит от значений pH, это связано в первую очередь с краевыми эффектами, когда выход линкомицина в раствор не связан с растворением или разбуханием хитозана.

Исследовано влияние толщины биодеградируемых биополимерных мембран на основе хитозана высокой плотности на высвобождение из них линкомицина. При кислых pH 5,8 со вторых по тринадцатые сутки экстракции наблюдается следующая закономерность – чем толще мембрана, тем быстрее идет высвобождение. Так при pH 5,8 за двое суток из 200 мкм мембраны в раствор выходит линкомицина около 13 %, из 400 мкм – 18 %, на пятые 44 % против 61 % и т.д. При более длительных временах экспонирования различие в скоростях экс-

тракции исчезает, система приходит в состояние насыщения. При показателях pH от 6,3 до 8,5 не наблюдалось существенных различий в скорости экстракции линкомицина из мембран 200 и 400 мкм.

В целом кинетика выхода линкомицина из биодеградируемых биополимерных мембран на основе хитозана высокой плотности толщиной 200 и 400 мкм адекватно описывается экспоненциальным уравнением (Rise to Maximum) типа $y = a(1 - e^{-bx})$. Нужно отметить, что данный тип уравнения при подгонке имеет корреляцию с реальными результатами не менее $R^2 = 0,96$. Например, для формального описания кинетики выхода линкомицина из биодеградируемых биополимерных мембран на основе хитозана высокого давления толщиной 400 мкм при pH 5,8 параметр $a = 100,43$, $b = 0,14$, при этом $R^2 = 0,99$.

Таблица 2

Высвобождение линкомицина (0,9 мас %) из 400 мкм биодеградируемой биополимерной мембраны, созданной на основе хитозана высокой плотности, при разных значениях pH экстрагирующего водного раствора

Время, сутки	Экстракция линкомицина, %			
	pH 5,8	pH 6,3	pH 7,4	pH 8,5
1	9,8 ± 0,7	7,2 ± 0,5	6,3 ± 0,5	5,7 ± 0,5
2	18,7 ± 1,2	15,0 ± 0,9	10,3 ± 0,7	11,7 ± 0,5
3	48,9 ± 2,9	40,9 ± 2,8	29,3 ± 1,3	26,9 ± 0,5
5	60,8 ± 3,6	55,1 ± 3,2	50,2 ± 2,9	40,2 ± 0,5
7	72,1 ± 4,2	69,6 ± 3,9	60,7 ± 3,4	47,6 ± 0,5
10	80,2 ± 4,0	75,5 ± 3,9	67,3 ± 3,0	50,9 ± 0,5
13	89,6 ± 2,9	83,6 ± 3,7	68,0 ± 3,0	52,0 ± 0,5
15	95,0 ± 1,2	86,6 ± 3,7	68,3 ± 3,1	54,0 ± 0,5
30	99,0 ± 0,2	89,6 ± 3,8	69,1 ± 3,1	56,9 ± 0,5

Таблица 3

Высвобождение линкомицина (1,8 мас %) из 200 мкм биодеградируемой биополимерной мембраны, созданной на основе хитозана высокой плотности, при разных значениях pH экстрагирующего водного раствора

Время, сутки	Экстракция линкомицина, %			
	pH 5,8	pH 6,3	pH 7,4	pH 8,5
1	7,1 ± 0,6	6,1 ± 0,4	5,8 ± 0,2	4,7 ± 0,3
2	18,9 ± 1,1	12,1 ± 0,9	9,7 ± 0,7	10,6 ± 1,3
3	36,3 ± 1,9	33,5 ± 2,0	22,1 ± 1,7	24,5 ± 1,8
5	56,8 ± 3,7	45,6 ± 3,5	39,9 ± 2,7	30,6 ± 2,6
7	66,7 ± 4,2	57,0 ± 3,9	55,0 ± 3,9	34,5 ± 3,3
10	78,4 ± 4,9	65,8 ± 4,7	56,6 ± 4,3	38,6 ± 3,2
13	89,9 ± 3,0	76,2 ± 4,2	57,6 ± 4,3	39,2 ± 3,8
15	93,9 ± 1,8	79,3 ± 3,9	57,7 ± 4,4	40,0 ± 3,6
30	99,9 ± 0,1	82,3 ± 4,1	59,3 ± 4,4	40,1 ± 3,6

Исследовано влияние концентрации линкомицина на его высвобождение из биодеградируемых биополимерных мембран на основе хитозана высокой плотности (табл. 1, 3). Показано, что изменение концентрации линкомицина в два раза, от 0,9 до 1,8 %, не оказывает существенного влияния на скорость его высвобождения.

Таким образом, в работе показано, что динамика высвобождения фармацевтического препарата линкомицина из биодеградируемых биополимерных мембран на основе хитозана высокой плотности слабо зависит от толщины мембран и концентрации антибиотика. Биодеградируемые биополимерные мембраны используемые в данном исследовании по техническим параметрам вполне пригодны для изготовления покрытий стентов и протезов с пролонгированным и контролируемым высвобождением лекарственных препаратов в окружающие ткани [8].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ «14-29-10208-офи_м» и гранта РФФИ «16-08-01132-А».

Список литературы

1. Воденев В.А., Звягин А.В., Шилягина Н.Ю., Куликов Д.А., Куликов А.В., Гудков С.В. Направленная радионуклидная терапия: Современное состояние и перспективы // Гены и клетки. – 2015. – Т. X, № 1. – С. 23–29.
2. Гальбрайт Л.Г. Хитин и хитозан: строение, свойства, применение // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – № 1. – С. 51–56.
3. Иванов В.Е., Карп О.Э., Попова Н.Р., Черников А.В., Гудков С.В., Брусков В.И. Образование долгоживущих форм белков сыворотки крови под действием тепла // Альманах клинической медицины. – 2014. – Т. 31. – С. 17–20.
4. Севостьянов М.А., Федотов А.Ю., Колмаков А.Г., Заболотный В.Т., Баринов С.М., Гончаренко Б.А., Комлев В.С., Баикин А.С., Сергиенко К.В., Тетерина А.Ю., Насакина Е.О., Леонова Ю.О., Леонов А.В. Механические свойства композиционного материала «наноструктурный нитинол – хитозан» // Материаловедение. – 2014. – № 3. – С. 34–37.
5. Скрыбин К.Г., Вихорева Г.А., Варламов В.П. Хитин и хитозан. Получение, свойства и применение – М.: Наука, 2002. – 386 с.
6. Федотов А.Ю., Севостьянов М.А., Колмаков А.Г., Сергиенко К.В., Тетерина А.Ю., Цванг Ф.М., Егоров А.А. Пенки на основе хитозана с лекарственными препаратами // Материаловедение, 2014. – № 2. – С. 15–18.
7. Ahmadi F., Oveisi Z., Samani S.M., Amoozgar Z. Chitosan based hydrogels: characteristics and pharmaceutical applications // Res. Pharm. Sci. – 2015. – Vol. 10 (1). – P. 1–16.
8. Nasakina E.O., Baikin A.S., Sergienko K.V., Sevost'yanov M.A., Kolmakov A.G., Goncharenko B.A., Zabolotnyi V.T., Fadeev R.S., Fadeeva I.S., Gudkov S.V., Solntsev K.A. Biocompatibility of nanostructured nitinol with titanium or tantalum surface composite layers formed by magnetron sputtering // Doklady Chemistry. – 2015. – Vol. 461 (1). – P. 86–88.
9. Sevost'yanov M.A., Fedotov A.Yu., Nasakina E.O., Teterina A.Yu., Baikin A.S., Sergienko K.V., Kolmakov A.G., Komlev V.S., Ivanov V.E., Karp O.E., Gudkov S.V., Barinov S.M. Kinetics of the release of antibiotics from chitosan-based biodegradable biopolymer membranes // Doklady Chemistry. – Vol. 465 (1). – P. 278–280.
10. Zia K.M., Noreen A., Zuber M., Tabasum S., Mujahid M. Recent developments and future prospects on bio-based polyesters derived from renewable resources: A review // Int. J. Biol. Macromol. – 2016. – Vol. 82. – P. 1028–1040.

УДК 630.90

ДИГИТАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**Антонов А.М., Долинская И.С., Пастухова Н.О.***Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
Архангельск, e-mail: a.antonov@narfu.ru, hope203@yandex.ru*

Подробно описываются существующие методы научных исследований (микроскопический, гистохимический и информационный), связанные с определением анатомических и биометрических показателей и особенностей древесины, семян и побегов древесно-кустарниковой и травянистой растительности. В статье проводится анализ методов, описываются их положительные и отрицательные стороны и рассматривается необходимость в создании способа, который бы их объединил. Цель работы – разработать новую инновационную дигитальную технологию с применением ее в разных областях науки, направленную на изучение древесных пород. В статье подробно описывается разработанный инновационный способ получения научных данных с применением оптико-дигитальной установки, а также возможность сравнения и применения результатов в научных исследованиях. Проведен сравнительный анализ оценки эффективности работы дигитальной установки с существующей методикой, предложенной MarITU. Установлено, что результаты, полученные на оптико-дигитальной установке, отличаются минимальной долей погрешности, меньшим количеством затрат по времени на обработку материала, а сам метод отличается большей эффективностью, надежностью и высокой достоверностью результатов. Наглядно приводятся результаты исследований в виде цифрового изображения объекта и анализа полученных данных. Оптико-дигитальная установка позволяет проводить измерения линейных и площадных параметров изучаемого объекта, сохранять результаты на электронном носителе, что обеспечивает возможность дальнейшей работы с ними. Разработанный дигитальный метод позволяет существенно повысить качество измерений изучаемых показателей, скорость обработки информации и создать банк цифровых данных различных образцов по разным областям науки.

Ключевые слова: дигитальные технологии, биометрические параметры древесины и семян, смоляные ходы, методы исследований

DIGITAL TECHNOLOGY IN RESEARCH**Antonov A.M., Dolinskaya I.S., Pastukhova N.O.***Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,
Arkhangelsk, e-mail: a.antonov@narfu.ru, hope203@yandex.ru*

In detail described the existing methods of research (microscopic, histochemical and information) associated with the definition of anatomical and biometric parameters and characteristics of wood, seeds and shoots of trees and shrubs and herbaceous vegetation. Described the analysis methods by their positive and negative sides, and addresses the need for a method that would unite them. Purpose – to develop new and innovative digital technologies with the use of it in various fields of science, aimed at the study of wood, its quality, biometric seeds and anatomical features sections shoots of trees. In article in detail describes developed an innovative way to obtain scientific data using optical-digital installation, as well as the possibility of comparing and applying the results of scientific research. Described a comparative analysis of the performance evaluation of digital installation with existing methodology proposed MarSTU. It was found that the results obtained in the optical-digital setting different minimum share of errors, less time spent on processing the material, and the method itself is more efficient, reliable and high confidence results. Presented the results of research in the form of a digital image of the object and analysis of the data obtained. Optical – digital setting allows measurement of linear and area parameters of the studied object, save the results on electronic media, enabling further work with them. Designed by digital method can significantly improve the quality of measurements of the studied parameters, speed of information processing, and to create a bank of digital data of different samples in different areas of science.

Keywords: digital technology, biometric parameters of wood and seeds, moves of resin, research methods

В существующей научной практике для определения анатомических и биометрических показателей древесины, семян и побегов хвойных и лиственных пород применяются микроскопический, гистохимический и информационный методы. Микроскопический метод (метод оптической микроскопии) позволяет изучить строение выбранных объектов. Заключается в изготовлении очень тонких, прозрачных срезов и их исследовании в проходящем свете с помощью оптического микроскопа. Гистохимический метод основан на способности древесного волокна давать определенную окраску при

взаимодействии специфических химических реагентов с каким-либо компонентом клеточной стенки. Информационный метод позволяет применять ЭВМ для обработки материала и создания баз данных, что дает возможность наглядного построения моделей исследования [7].

Изучение анатомии древесины в растущем дереве, без нанесения ему вреда и, как следствие, оценка динамики процесса жизнедеятельности и экологического состояния насаждения, возможно путем использования образцов древесины – кернов, отражающих в своем строении весь жизненный

цикл дерева. Наиболее отработанным на сегодняшний день микроскопическим методом изучения кернов является применение микроскопа типа МБС. Методика работы с прибором достаточно проста, но трудоемка. Перемещение объекта исследования (керна) по предметному столу осуществляется вручную, результаты полученных измерений сложно объединять и сравнивать, приходится вводить их в компьютер и обрабатывать известным, но уже достаточно рутинным способом. На точность измерения элементов древесины по этой методике влияет множество субъективных факторов, основным из которых является сам оператор, который субъективно определяет границу между ранней и поздней зоной древесины на образцах кернов, что соответственно отражается на результатах исследований. При оперативном перемещении керна по предметному столу возможен сбой базовой отметки, вызывающий необходимость повторного измерения.

Для исследования элементов макроструктуры древесины применяют и другие приборы: микроскоп Амслера, АДДО-Х модель 2, ИСК-2М, телевизионный и компьютерный микродендрометр и др. [6]. Основным недостатком существующих систем является отсутствие эффективности информационного метода. Результаты измерений выводятся из памяти запоминающего устройства на бумажный носитель, что вызывает необходимость при дальнейшей работе вновь вводить их в компьютер и обрабатывать результаты традиционным способом. Изображение керна не сохраняется, а повторное исследование этих образцов практически невозможно. Схожие проблемы могут возникнуть при изучении параметров смоляных ходов хвойных пород, при определении биометрических показателей семян и при изучении анатомических особенностей срезов побегов древесных растений. В связи с этим наиболее перспективным направлением в научных исследованиях является разработка дигитального метода (цифрового), который объединил бы уже существующие способы. Этот метод позволит работать с цифровым изображением исследуемого объекта на современном инновационном уровне и повысит точность измерений. Возможности применения дигитальных технологий многогранны, их можно применять во многих областях науки, что существенно облегчает работу в сфере исследований.

Цель работы – разработать новую инновационную технологию для упрощения и повышения точности результатов научных исследований в изучении элементов микро- и макроструктуры древесины, а также применить данную технологию в семеноводстве и в изучении анатомических особенностей срезов побегов различных древесных пород с использованием гистохимического метода анализа древесины.

Для достижения поставленной цели была разработана экспериментальная система измерения, состоящая из оптико-дигитальной установки и компьютерной программы «Измеритель» (Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007611593), позволяющая повысить точность измерения изучаемых элементов, снизить трудоемкость процесса, сохранять и архивировать результаты исследований, создавать базы данных изображений объектов для последующих исследований независимо от времени и без сохранения натуральных образцов [1].

Дигитальная технология. Разработанная нами оптико-дигитальная установка предназначалась для изучения макро- и микростроения древесины, но, как показывает практика научных исследований, она может применяться и в других областях: для определения качества обработки поверхности древесины, для изучения параметров смоляных ходов анатомического строения ствола дерева, для определения качества швов клеевых соединений, при определении биометрических показателей семян в селекционных исследованиях, для изучения анатомических особенностей срезов побегов различных древесных и кустарниковых пород и во многих других областях научно-исследовательской деятельности, в том числе в учебном процессе.

Работа с полученными изображениями элементов исследования, их сохранение, преобразование и измерение проводятся при помощи, разработанной для дигитального устройства программы «Измеритель», которая является одной из ключевых составляющих системы. Алгоритм работы программы показан на рис. 1.

Программа «Измеритель» позволяет: сохранять изображения образцов без потери качества, сопровождая каждое изображение необходимым количеством поясняющей текстовой и визуальной информации; повышать уровень документирования результатов анализа; проводить по полученному изображению анализ элементов, измерение

линейных и площадных параметров; сравнивать в процессе анализа полученное изображение образца с эталонным; проводить демонстрацию для группы наблюдателей.

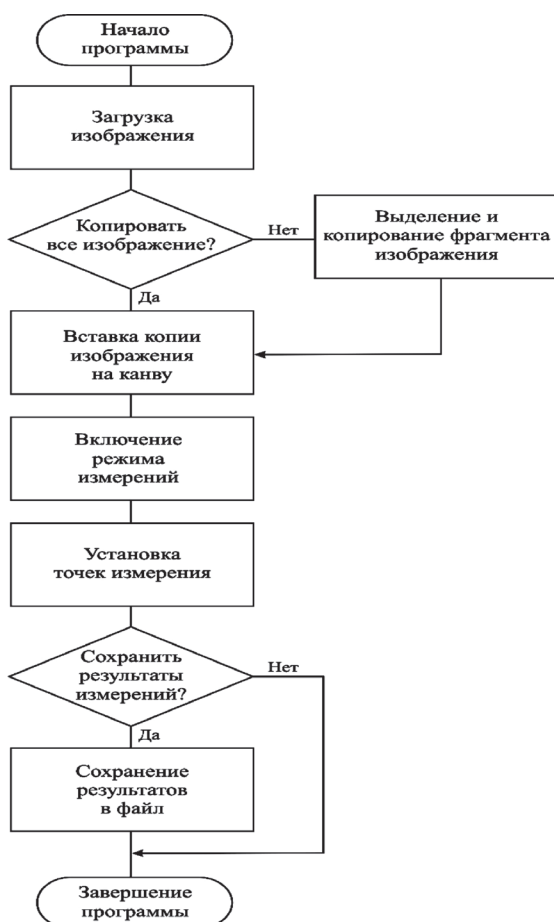


Рис. 1. Алгоритм работы программы «Измеритель»

Для оценки работы программы «Измеритель» был проведен сравнительный анализ результатов измерения ранних и поздних зон древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на стандартных образцах 20×20×30 мм. Измерение зон проводилось по стандартной методике на микроскопе Амслера, затем параметры были определены на цифровой установке. Результаты наблюдений обработаны статистически и определены отклонения от стандартной методики. Достоверность результатов цифрового метода составила 96%, точность опыта – 1%, тогда как достоверность по стандартной методике не превысила 80%. Также для оценки эффективности программы проведен сравнительный анализ с методикой предложенной МарГТУ (таблица) [4]. При равных условиях и рассмотрении одних и тех же показателей исследования цифровой метод

оказался более эффективным и надежным, с минимальной долей погрешности результатов и с меньшим количеством затрат по времени на обработку изучаемых образцов.

Помимо определения анатомических особенностей древесины хвойных и лиственных пород другой областью применения оптико-дигитальной установки является измерение биометрических показателей семян древесно-кустарниковой и травянистой растительности. Измерения проводились на примере семян одуванчика (лат. *Taraxacum*), с целью определения их биометрических показателей (рис. 2). Длина семени одуванчика составила 3,7 мм, ширина 0,58 мм. Результаты исследований также сохранялись в приложении Microsoft Excel где осуществлялся дальнейший расчет показателей.

Гистохимические методы, которые используются для анализа морозостойкости древесных пород и при изучении вертикальных смоляных ходов анатомии древесины, подразумевают анализ материала по наличию, интенсивности и локализации окраски слоев среза древесины различными препаратами, которые раскрывают анатомическое строение древесно-кустарниковой и травянистой растительности [2, 3, 5]. Дигитальная установка помогает получить результат в виде цифровых изображений, без сохранения натурального образца с помощью фиксирующих препаратов и без последующего повторного его изучения, что существенно облегчает работу при сравнении результатов большого количества повторностей, собранных в различные фазы вегетационного периода (рис. 3). С помощью программы «Измеритель» возможно измерение ширины слоев срезов древесины или побегов, а также биометрических показателей смоляных ходов хвойных пород. При изучении смолоносной системы в качестве рабочего материала выступают керны. В результате прокрашивания (перманганатом калия) слоев древесины вертикальные смоляные ходы, находящиеся в поздней зоне годичного слоя, становятся более заметными (в виде белых точек) (рис. 4). КERN исследуемой древесной породы помещается на предметный стол микроскопа в специальный держатель (суппорт), и в результате фотографирования его цифровое изображение загружается в программу «Измеритель», где проводится замер параметров смоляных ходов с точностью ±0,1 мм в полуавтоматическом режиме. После чего данные исследований также сохраняют в excel-файле, что позволяет работать с ними в дальнейшем.

Сравнительный анализ методики разработанной в МарГТУ, и дигитального метода

Показатели	Микродендрометр (МарГТУ)	Дигитальный метод
Измеряемые показатели	Длина образца, (мм); Средняя ширина годичного слоя, (мм); Число годичных слоев в 1 см (шт.); Процент поздней древесины (%); Количество годичных слоев (шт.)	Длина образца, (мм); Средняя ширина годичного слоя, (мм); Число годичных слоев в 1 см (шт.); Процент поздней древесины (%); Количество годичных слоев (шт.); Все значения ранних и поздних зон (мм); Количество смоляных ходов и их размеры
Вывод результатов	На экран монитора На бумажный носитель	На экран монитора, McExcel, на бумажный носитель
Измерения проводятся	На натурном образце при увеличении $\times 6$ или $\times 8$	На цифровом изображении образца при увеличении от $\times 8$ до $\times 56$
Время обработки образца длиной 3 см	2 минуты	1 минута 13 секунд
Погрешность	3,1–10 %	1,0–5,0 %
Установление границ зон	Оператор	Оператор
Определение ранней или поздней зоны	Вручную при помощи переключения тумблера в положение «РАН» или «ПОЗ»	Автоматически при проведении измерений
Проведение повторных исследований	Необходимо вновь исследовать натуральный образец	Загрузка сохраненного цифрового изображения керна
Отрицательные стороны повторного исследования	У образца может измениться влажность, цвет. Образец может быть утерян или поврежден	Нет

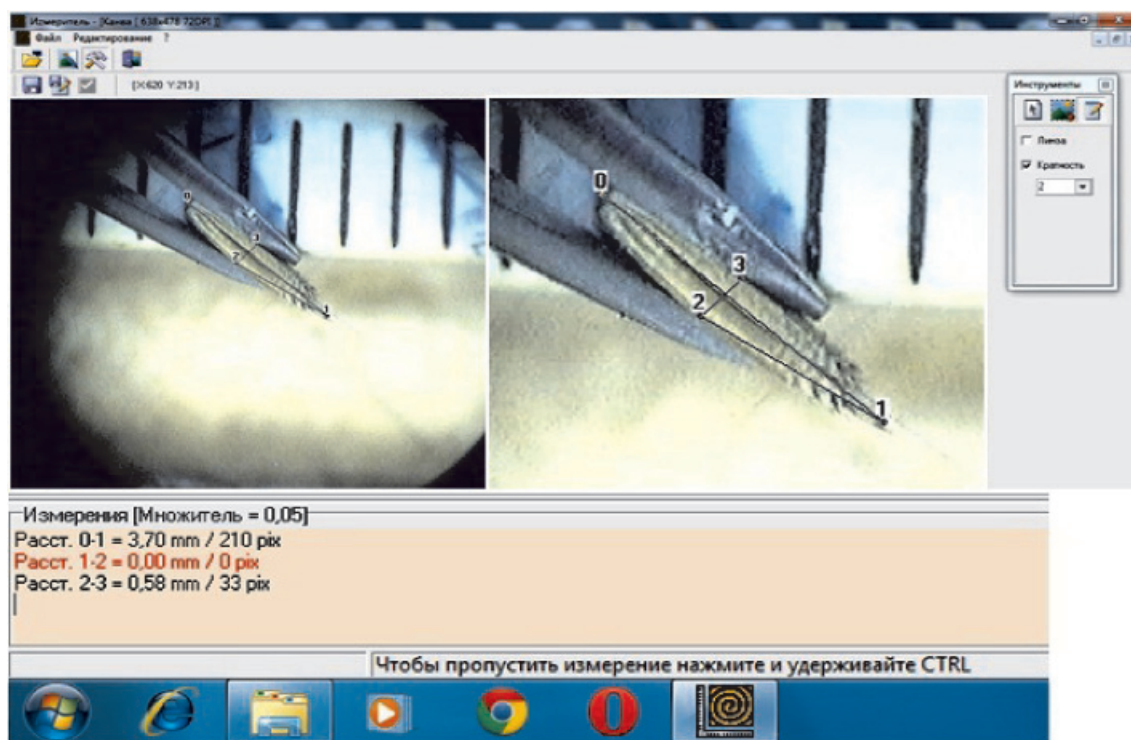


Рис. 2. Измерение биометрических показателей семян сорных растений (одуванчика) программой «Измеритель»

Таким образом, разработанный дигитальный метод позволяет существенно повысить качество измерений изучаемых объектов, скорость обработки информации и создать банк цифровых данных различных

образцов. Он может широко применяться при проведении научных исследований в различных областях лесного хозяйства, в селекции и семеноводстве, а также в учебном процессе.

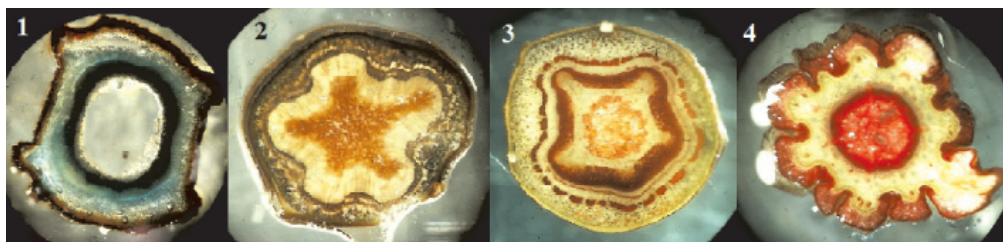


Рис. 3. Гистохимические анализы поперечных срезов побегов текущего года древесных растений, сделанные на оптико-дигитальной установке для выявления:

1 – кутина в *Forsythia × intermedia* Zabel.; 2 – суберина в *Quercus robur* L.; 3 – лигнина компонента М в *Populus balsamifera* L.; 4 – лигнина компонента Ф в *Picea pungens* f. *glauca* Regel

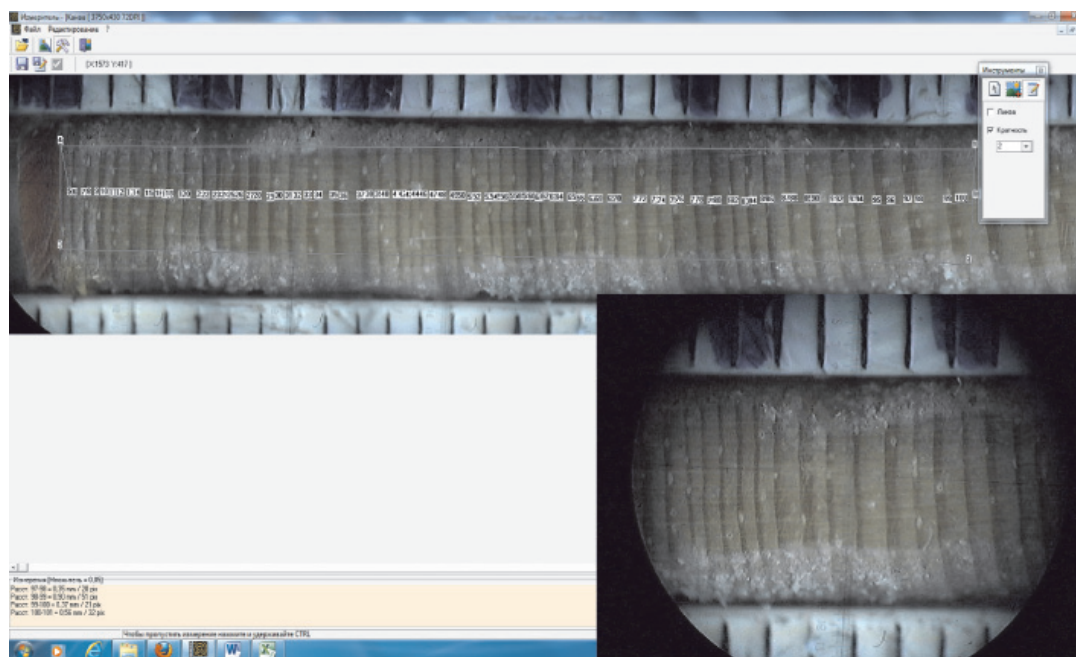


Рис. 4. Расчет рабочей поверхности среза керн в программе «Измеритель»

Выводы

1. Разработана специализированная экспериментальная оптико-дигитальная установка для изучения строения и качества древесины, биометрических показателей семян и срезов древесно-кустарниковой и травянистой растительности.

2. Оптико-дигитальная система позволяет существенно облегчить и повысить точность измерений изучаемого объекта, архивировать результаты наблюдений, создавать базы данных для древесиноведческих, дендрохронологических, селекционных и экологических исследований без сохранения натуральных образцов и сравнивать результаты новейших научных исследований с ретроспективными.

3. Достоверность результатов исследований с применением дигитального метода, при изучении макроструктуры древесины, составляет 96 %.

4. Точность измерений смоляных ходов хвойных пород на оптико-дигитальной установке $\pm 0,1$ мм.

Список литературы

1. Антонов А.М., Бабич Н.А., Коновалов Д.Ю., Мелехов В.И., Мосеев А.Л. Дигитальный метод изучения строения древесины // Известие высших учебных заведений «Лесной журнал». – 2007. – № 2. – С. 123–128.
2. Барская Е.И. Изменения хлоропластов и вызревание побегов в связи с морозоустойчивостью древесных растений. – М.: Наука, 1967. – 224 с.
3. Барыкина Р.П. Справочник по ботанической микро-технике, основы и методы. Издательство московского университета. – М., 2004. – 313 с.
4. Колесникова А.А. Исследование свойств древесины по кернам: Научное издание. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 178 с.
5. Кондратьева Г.К. Методы фармакогностического анализа: макроскопия и микроскопия: учебное пособие для подготовки студентов к курсовому и государственному экзаменам по фармакогнозии. – Владивосток, Владивостокский Государственный медицинский университет, 2005. – 55 с.
6. Столяров Д.П., Полубояринов О.И., Декатов А.А. Использование кернов древесины в лесоводственных исследованиях: методические рекомендации. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1988. – 43 с.
7. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учебник для лесотехнических вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МГУЛ, 2002. – 340 с.

УДК 631.45:631.427:631.8

ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ ПРИЁМОВ БИОЛОГИЗАЦИИ И СРЕДСТВ ХИМИЗАЦИИ

^{1,2}Воронкова Н.А., ²Храмцов И.Ф., ²Тукмачева Е.В., ²Комаров С.Г.,
²Дороненко В.Д., ^{2,3}Волкова В.А., ^{2,3}Цыганова Н.А.

¹Омский государственный технический университет, Омск, e-mail: voronkova.67@bk.ru;

²ФГБНУ «Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», Омск, e-mail: sibniish@bk.ru;

³ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»,
Омск, e-mail: duxa21@mail.ru

Исследования проводились в длительных стационарных опытах на чернозёмной почве в южной лесостепи Западной Сибири. Установлено, что использование приёмов биологизации (введение в севооборот многолетних бобовых трав (50 % от площади), ежегодное внесение навоза, соломы, в дозе соответствующей урожаю культуры) способствовало увеличению содержания лабильного органического вещества и нитратного азота, запасов продуктивной влаги в почве и более экономному влагопотреблению, что обеспечило повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и экологическую безопасность агроценозов. При введении в севооборот бобового компонента (люцерны) сформировался положительный баланс азота в почве с интенсивностью 119 %, доля биологического азота в приходной статье баланса при этом составила в среднем 82 %. В зернопаровом севообороте (пар – пшеница – соя – пшеница – ячмень), к примеру, баланс азота отрицательный (–28 кг/га) с интенсивностью 66 %. Урожайность пшеницы, высеваемой по пласту люцерны, на 22 % выше, в сравнении с урожайностью этой же культуры, высеваемой по чистому пару. Систематическое применение органоминеральной системы удобрений (N₁₅P₂₃ на гектар севооборотной площади в комплексе с соломой) в зернотравяном севообороте стабилизировало содержание гумуса в почве, запасы лабильного органического вещества возросли на 0,27–0,48 т/га в сравнении с неудобренным фоном. Применение биологизированной системы удобрений увеличило запасы продуктивной влаги в почве на 11–13 %, обеспеченность растений нитратным азотом на 18–24 % и численность агрономически полезной микрофлоры на 71 %. Продуктивность зернотравяного севооборота на этом фоне возросла на 32 % в сравнении с вариантом без удобрений, окупаемость минеральных удобрений при этом составила – 18,4 кг зерновых единиц.

Ключевые слова: плодородие почвы, минеральные и органические удобрения, многолетние бобовые травы, биогенные элементы, гумус, биологическая активность почвы, агроценоз, продуктивность

CHANGE OF FERTILITY CHERNOZEM SOIL AND PRODUCTIVITY OF FIELD CROPS WITH LONG-TERM USED OF THE TECHNIQUES OF BIOLOGICAL AND CHEMICAL PRODUCTS

^{1,2}Voronkova N.A., ²Khramtsov I.F., ²Tukmacheva E.V., ²Komarov S.G.,
²Doronenko V.D., ^{2,3}Volkova V.A., ^{2,3}Tsyganova N.A.

¹Omsk State Polytechnic University, Omsk, e-mail: voronkova.67@bk.ru;

²Siberian Scientific Research Institute of Agriculture, Omsk, e-mail: sibniish@bk.ru;

³Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, e-mail: duxa21@mail.ru

The studies were conducted in long-term stationary experiments on chernozem soil in the southern forest-steppe of Western Siberia. It was established that the use of biologization techniques (introduction into the crop rotation of perennial legumes (50 % of the area), the annual application of manure and straw, at a dose equivalent to the culture harvest) contributed to an increase in the content of labile organic matter and nitrate nitrogen, productive moisture reserves in the soil and more economical water consumption, ensuring increased productivity of crops and environmental safety of agroecosystem. The use of legumes component (alfalfa) in crop rotation formed a positive nitrogen balance in the soil with the intensity of 119 %, the proportion of biological nitrogen in the balance sheet thus amounted to an average of 82 %. In grain-fallow crop rotation (black fallow–wheat–soybeans–wheat–barley), for example, nitrogen balance was negative (–28 kg/ha) with an intensity of 66 %. The yield of wheat sown on a layer of alfalfa was on 22 % higher compared to the yield of the same culture, sown on a black fallow. Systematic application of organic-mineral system of fertilizers in grain-grass crop rotation (N15P23 per hectare of crop rotation area in the complex with a straw) stabilized the humus content in the soil, the reserves of labile organic matter had increased by 0,27–0,48 t/ha compared to unfertilized variants. The use of bio-fertilizers system had increased productive moisture reserves in the soil by 11–13 %, the supply of plants nitrate nitrogen – by 18–24 % and the number of agronomically useful microorganisms – by 71 %. The productivity of grain-grass crop rotation had increased by 32 % in comparison with variant without fertilizers, the recoupment of mineral fertilizers amounted to 18,4 kg of grain unit.

Keywords: soil fertility, mineral and organic fertilizers, perennial legume grasses, biogenic elements, humus, biological activity of soil, agroecosystem, efficiency

Решение проблемы повышения урожайности и улучшения качества продукции в лесостепной зоне Западной Сибири неразрывно связано с необходимостью оптимизации питания растений,

с помощью применения удобрений, а также с изучением направленности и основных приемов по управлению продукционным процессом в системе «почва – растение – удобрение» [3, 7, 8, 9].

Научные исследования и практика ведения земледелия свидетельствуют о том, что для повышения продуктивности пашни необходимо расширить круговорот биогенных элементов, улучшить агрофизические и биологические свойства почвы. Это можно сделать на основе высокой культуры земледелия, путём научно обоснованного применения удобрительных средств в севооборотах и комплекса агротехнических мероприятий, направленных на расширенное воспроизводство почвенного плодородия почвы [3, 4, 8].

Следует отметить, что большую ценность представляют научные результаты, полученные в длительных стационарных полевых опытах, так как информация, полученная в них, позволяет изучить действие и последствие изучаемых факторов на плодородие почвы и на продукционный процесс отдельных культур и севооборотов в целом. Особую актуальность в этой связи приобретают вопросы, связанные с изучением длительного применения минеральных удобрений в комплексе с приёмами биологизации на плодородие почвы, продуктивность сельскохозяйственных культур.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в 2009–2011 гг. на опытном поле лаборатории агрохимии ГНУ СибНИИСХ в южной лесостепной зоне Западной Сибири в стационарных опытах, заложенных на основе шестипольного зернотравяного (1986 г. закладки) и пятипольного зернопарового (1987 г. закладки) севооборотов. Чередование культур в севооборотах: люцерна 3-х лет использования – пшеница – пшеница – овес и пар – пшеница – соя – пшеница – ячмень соответственно. Севообороты развернуты во времени и в пространстве.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный тяжелосуглинистый, исходное содержание подвижного фосфора среднее, обменного калия – очень высокое, величина рНсол – 6,7 близкая к нейтральной.

Схемы опытов представлены в табл. 1 и 2. Общая площадь делянок 160–200 м², учетная 36,0–51,2 м². Размещение делянок систематическое, повторность вариантов – 4-кратная. В качестве удобрения использовали Наа, АФ и Кх. Фосфорные удобрения вносили весной до посева локально, сеялкой на глубину 6–8 см, аммиачную селитру и хлористый калий – взброс под предпосевную культивацию. Подстильный полуперепревший навоз (60 т/га) вносили осенью после уборки замыкающей культуры (овса) один раз за ротацию. Солому зерновых культур измельчали при уборке и оставляли в поле в количестве, соответствующем ее урожаю.

Погодные условия за период исследований были различные. В 2009 году за вегетационный период выпало 404 мм осадков при средней температуре воздуха – 15,9°C при норме 197 мм и $t = 16,2^{\circ}\text{C}$. Прохладная погода и влажные условия года спровоцировали

распространение болезней, вторичное отрастание сорной растительности и в целом удлинение вегетационного периода, что отразилось на урожайности с.-х. культур. Вегетационный период 2010 года характеризовался резкими перепадами температур воздуха в сочетании с недобором осадков более чем на 40%, ГТК составила – 0,55, отмечены явные проявления почвенной засухи. В 2011 году недобор осадков в сочетании с повышенной (на 0,3–1,7°C выше нормы) температурой воздуха отмечался в первой половине вегетации. В июле – августе увлажнение было более благоприятным (119–121% осадков при ГТК 1,28–1,44). В итоге за вегетацию количество осадков и температура воздуха были почти близки к норме (203 мм и 16,2°C).

Во всех полевых опытах применялась традиционная технология возделывания зерновых, кормовых и зернобобовых культур и соответствующая серийная почвообрабатывающая и посевная техника. Высевали районированные сорта сельскохозяйственных культур.

Анализ почвы проводили стандартными агрохимическими методами [1]. Численность микроорганизмов учитывали на твердых питательных средах, согласно общепринятым методикам [2]. Результаты исследований обработаны статистическим методом дисперсионного и корреляционного анализов по Б.А. Доспехову [6].

Результаты исследований и их обсуждение

В условиях засушливого земледелия оптимизация водного режима представляется весьма сложной проблемой. Поиск путей более полного и рационального использования выпадающих осадков в условиях интенсификации земледелия имеет особую актуальность. В системе севооборотов запасы продуктивной влаги в почве дифференцировались в зависимости не только от предшественников, но и вида и дозы удобрений. Весенние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы, после люцерны летнего срока распахки, соответствовали хорошей обеспеченности (159 мм) и не уступали черному пару. На фонах длительного применения минеральных удобрений влагонакопление было значительно выше в сравнении с неудобренными вариантами, так как использование удобрений обеспечивает не только получение высоких урожаев, но и дополнительное поступление в почву органического вещества в виде пожнивных остатков, опада, что в свою очередь улучшает физические свойства и водный режим почвы. За счет ежегодного внесения измельченной соломы (в среднем 2,0 т/га севооборотной площади) в севообороте запасы продуктивной влаги в почве увеличивались на 6–12 мм. Наилучшие агрогидрологические условия складывались при органоминеральной системе удобрений, предусматривающей комплексное применение соломы

и минеральных удобрений ($N_{10-15}P_{17-23}$ + солома), влагозапасы при этом увеличиваются на 11–13 % в сравнении с вариантом без удобрений.

В системе зернопарового севооборота длительное применение минеральных удобрений обеспечивает более экономный расход почвенной влаги, коэффициент водопотребления зерновых культур в этих вариантах на 11–17 % ниже, чем в варианте без удобрений (табл. 1).

Использование соломы снижает коэффициент водопотребления сельскохозяйственных культур на 8–11 мм, за счет мульчирующего эффекта и улучшения агрофизических свойств почвы.

Исследования органического вещества почвы показали, что в севообороте, где 50 % площади пашни занимают многолетние бобовые травы, содержание гумуса существенно не изменилось по сравнению с исходным (табл. 2). Действие минеральных удобрений на гумусообразование проявилось, начиная

с первой ротации севооборота, прирост новообразованного органического вещества отмечался после каждой ротации и зависел от дозы минеральных удобрений.

Исследованиями установлено, что внесение навоза в зернотравяном севообороте является одним из значимых приёмов увеличения гумуса в почве. После третьей ротации севооборота содержание гумуса в варианте внесения навоза возросло на 0,26 % в сравнении с исходным содержанием. Наибольший прирост гумуса был получен в варианте $N_{15}P_{23}$ + навоз, после третьей ротации севооборота содержание гумуса увеличилось в сравнении с исходным на 0,41 %. Действие соломы на гумусовый режим почвы при внесении её в норму, не превышающей 2,0 т/га, несущественно. Применение соломы с минеральными удобрениями существенных изменений в накоплении гумуса в сравнении с вариантами внесения только минеральных удобрений не обеспечивало.

Таблица 1

Влияние минеральных удобрений и соломы на водопотребление культур зернопарового севооборота, мм/т зерна (2009–2011 гг.)

Внесено удобрений на 1 га севооборотной площади, кг д.в.	Пшеница по пару	Ячмень
Без удобрений	149	165
$N_{12}P_{18}$	133	141
$N_{17}P_{34}$	136	137
$N_{30}P_{54}K_{18}$	128	135
Без соломы	136	144
*Внесение соломы	128	135

Примечание. *норма соломы – 3,0 т/га.

Таблица 2

Содержание и запасы гумуса в слое почвы 0–20 см после третьей ротации зернотравяного севооборота в зависимости от минеральных удобрений, навоза и соломы (2003–2008 гг.)

Вариант	Гумус, %	Запасы гумуса, т/га	Отклонение ±, %	
			от исходного	от контроля
Без удобрений	6,77	148,9	0,04	–
Солома	6,78	149,2	0,03	0,01
Навоз (10 т/га)	6,96	153,1	0,26	0,19
$N_{10}P_{17}$	6,83	150,3	0,15	0,06
$N_{10}P_{17}$ + солома	6,90	151,8	0,17	0,13
$N_{10}P_{17}$ + навоз (10т/га)	7,04	154,9	0,29	0,27
$N_{15}P_{23}$	6,99	153,8	0,22	0,22
$N_{15}P_{23}$ + солома	6,94	152,3	0,16	0,17
$N_{15}P_{23}$ + навоз (10т/га)	7,18	158,0	0,41	0,41
НСР ₀₅			0,17	0,16

Обеспеченность растений доступным азотом на черноземных почвах Западной Сибири оценивается по содержанию нитратного азота в слое 0–40 см [4, 7]. Хорошие условия по обеспеченности растений азотным питанием складывались по предшественнику люцерны, летнего срока распахки. На естественном фоне запасы $N-NO_3$ составили 106–138 кг/га, за счет обогащения почвы биологическим азотом растительных остатков люцерны. При введении в севооборот бобового компонента (50% люцерны) баланс азота положительный (21 кг/га) с интенсивностью 119%, при этом в приходной статье баланса доля

биологического азота составляет в среднем около 82% (рис. 1). Тогда как в зернопаровом севообороте складывается отрицательный баланс азота (–28 кг/га) с интенсивностью 66%.

Лабильное органическое вещество почвы, которое сравнительно легко подвергается деструкции почвенными микроорганизмами, в немалой степени предопределяет питательный режим почвы растений [9]. Количество лабильного органического вещества (мортмассы) в почве после люцерны в варианте без удобрений было на 0,27 т/га или 43% выше, чем в этом же варианте по чистому пару (табл. 3).

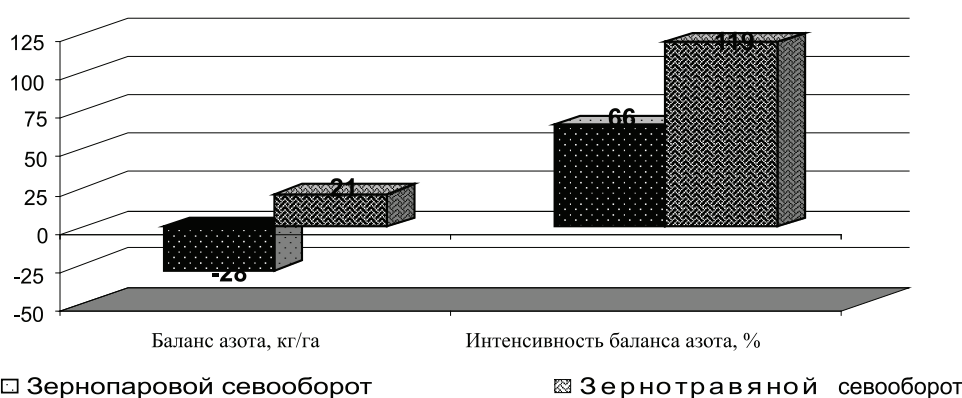


Рис. 1. Баланс (кг/га) и интенсивность баланса (%) азота в зависимости от севооборота

Таблица 3

Запасы мортмассы в слое 0–25 см в зависимости от предшественника и применения удобрений в севооборотах, т/га (2009–2010 гг.)

Доза минеральных удобрений, кг/га	Солома	Запасы мортмассы	Прибавка
<i>Зернотравяной севооборот</i>			
Без удобрений	C_0	0,89	–
	C_1	1,00	0,11
$N_{10}P_{17}$	C_0	1,12	0,23
	C_1	1,25	0,36
$N_{15}P_{23}$	C_0	1,21	0,32
	C_1	1,37	0,48
<i>Зернопаровой севооборот</i>			
Без удобрений	C_0	0,62	–
	C_1	0,76	0,14
HCP_{05}			0,10

Примечание. C_0 – без соломы; C_1 – с соломой.

Систематическое применение соломы увеличивает количество легкоразлагаемого органического вещества в почве на 12–22 %. Наибольшие запасы мортмассы (1,25–1,37 т/га) накапливаются при использовании органоминеральной системы удобрений (NP + солома). При этом обеспеченность растений нитратным азотом в этих вариантах увеличилась до 43 %.

Сложившееся плодородие по фосфору в севооборотах является результатом систематического применения фосфорсодержащих удобрений. Следует отметить, что исходное содержание подвижного фосфора (105–123 мг/кг) после трёх ротаций севооборота существенно не изменилось. Из органических удобрений (навоз, солома), применяемых в зернотравяном севообороте, только при систематическом использовании навоза в дозе 10 т/га севооборотной площади отмечался прирост подвижного фосфора 35 мг/кг почвы или 34 % (в среднем). Обеспеченность обменным калием культурных растений после трех ротаций севооборотов была высокой (более 180 мг/кг) и значимых закономерностей в изменении данного биогенного элемента не установлено.

Микробиологический мониторинг состояния почвы свидетельствует, что возделывание люцерны в севообороте интенсифицирует процесс нитрификации, численность нитрифицирующих бактерий в зернотравяном севообороте на 33 % больше, чем в зернопаровом агроценозе. А при систематическом внесении соломы отмечается положительная направленность увеличения численности сапрофит-

ных бактерий (на 18 %), разлагающих органические соединения азота (на МПА), и фосфатмобилизующих бактерий (на 12 %) (табл. 4).

Интенсивность микробиологических процессов в почве значительно возрастает в результате комплексного применения минеральных удобрений и соломы ($N_{15}P_{23} + C_1$), при этом увеличивается численность бактерий на МПА на 73 %, олигонитрофилов на 77 %, фосфатмобилизующих бактерий на 78 % и нитрификаторов на 56 % в сравнении с вариантом без удобрений. Коэффициент трансформации органических соединений (Пм) в этом варианте наиболее высокий – 97.

Интегральным показателем эффективности удобрительных средств и приёмов является продуктивность агроценоза. Исследования показали, что включение в севооборот люцерны способствует формированию урожайности пшеницы на уровне – 2,99 т/га зерна, что на 22 % выше, чем возделывание этой же культуры по чистому пару. Систематическое внесение соломы в комплексе с минеральными удобрениями ($N_{15}P_{23}$ на га/севооборотной площади) обеспечивает продуктивность севооборота на уровне – 2,87 т/га зерн. ед., что на 0,70 т/га или 32 % выше, чем в варианте без удобрений. Окупаемость одного килограмма удобрений составила – 18,4 кг зерна.

Выводы

1. В условиях южной лесостепи Западной Сибири на черноземных почвах включение в севооборот многолетних бобовых

Таблица 4
Влияние длительного применения удобрений на биологическую активность чернозема выщелоченного под пшеницей, слой 0–20 см, (2009–2011 гг.)

Показатель биологической активности почвы	C_0	C_1	$N_{10}P_{17} + C_1$	$N_{15}P_{23} + C_1$
Численность микроорганизмов, КОЕ/г				
– бактерии на МПА, млн.	25,7	30,2	28,2	44,5
– микроорганизмы на КАА, млн	28,8	26,0	26,7	37,8
– олигонитрофилы, млн	108,8	96,0	11,6	192,7
– фосфатмобилизующие, млн	77,4	87,0	63,7	137,6
– целлюлозоразрушающие, тыс.	41,7	27,4	34,8	38,6
– нитрификаторы, тыс.	3,8	3,4	3,5	5,3
– грибы, тыс.	38,2	28,6	27,8	92,0
– общее количество микроорганизмов, млн	240,8	239,1	230,4	412,7
КАА/МПА	1,12	0,86	0,95	0,85
Пм (МПА + КАА×МПА/КАА)	49	65	58	97
Нитрификационная способность, мг/кг	14,6	19,4	16,3	19,4

Примечание. C_0 – вариант без соломы; C_1 – вариант с соломой.

трав (люцерны до 50 %) стабилизирует содержание гумуса, повышает запасы мортмассы на 0,48 т/га, содержание нитратного азота, численность агрономически полезной микрофлоры в почве и увеличивает производство зерна более чем на 20 % при одновременном повышении его качества.

2. Длительное применение органоминеральных систем удобрений в севооборотах способствует увеличению запасов продуктивной влаги в почве на 11–13 %, содержанию гумуса на 0,16–0,41 %, лабильного органического вещества на 0,36–0,48 т/га, обеспеченности растений нитратным азотом на 18–24 % и интенсивности биологических процессов в почве.

3. Применение органоминеральных систем удобрений, сочетающих внесение соломы и минеральных удобрений ($N_{15}P_{23}$), обеспечивает увеличение продуктивности севооборота на 32 % и окупаемости (18,4 кг зер. ед.) минеральных удобрений.

Список литературы

1. Агрохимические методы исследования почв // АН СССР и др. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Наука, 1975. – 494 с.
2. Большой практикум по микробиологии / Т.Е. Аристовская и др. – М.: Высшая школа, 1962. – 490 с.
3. Воронкова Н.А. Биологические ресурсы и их значение в сохранении почвенного плодородия и повышении продуктивности агроценозов Западной Сибири: монография. Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. – 188 с.
4. Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири. – М.: Наука, 1981. – 266 с.
5. Гамзиков Г.П., Завалин А.А. Проблемы азота в земледелии // Плодородие. – 2006. – № 5. – С. 64.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агрохимиздат, 1985. – 351 с.
7. Коновалов Н.Д., Коновалов С.Н. Ресурсы биологизации земледелия и их использование // Аграрная наука. – 2000 – № 8. – С. 9–12.
8. Кочергин А.Е. Условия питания зерновых культур азотом, фосфором и калием и применение удобрений на черноземах Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра. с.-х. наук: – М., 1965 – 40 с.
9. Шарков И.Н. Влияние пожнивных остатков на состав органического вещества чернозема выщелоченного в лесостепи Западной Сибири / И.Н. Шарков и др. // Почвоведение. – 2014. – № 4. – С. 473.

УДК 635.054:581.522.5

БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ САКСАУЛА ЧЕРНОГО В УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

²Крючков С.Н., ¹Морозова Е.В., ¹Иозус А.П.

¹Камышинский технологический институт (филиал), ГОУ «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: end@kti.ru;

²Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации, Волгоград

На юго-востоке европейской части России пастбищные угодья занимают десятки миллионов гектаров. Однако в результате антропогенной нагрузки произошла их резкая деградация, их продуктивность составляет 2–4 ц/га воздушно-сухой массы. Кроме того, существенным недостатком в этом регионе является бедный видовой состав растений, их низкая питательная ценность. В целях обогащения состава кормовой растительности, улучшения условий содержания скота на пастбищных землях создают системы пастбище-защитных лесных полос. Они включают мелиоративно-кормовые насаждения из ценных кустарников для отдыха животных и защиты ферм и кошар от холодных ветров зимой. Наиболее подходящей породой для подобных насаждений является саксаул черный. Саксаул черный сочетает признаки засухоустойчивости и солеустойчивости, проявляет способность регулирования процессов жизнедеятельности в зависимости от изменений условий окружающей среды. Накопленный опыт интродукции саксаула на юго-востоке европейской территории России свидетельствует о перспективности использования местных адаптированных экотипов, которые акклиматизировались в новых почвенно-климатических условиях, изменили ритмы роста и развития, физиолого-биохимические структуры тканей, что обеспечило растениям хорошую подготовку к зиме и перезимовке. Как следствие, они имели стабильное состояние и продуктивность. Это открывает возможности целенаправленной селекции саксаула на устойчивость к абиотическим факторам. Наиболее надежный метод – сочетание размножения саксаула местной репродукции с селекционным отбором инорайонных климатипов. При интродукции саксаула необходимо учитывать экологическое происхождение и формовое разнообразие исходных растений, что очень важно для организации его семеноводства и создания устойчивых агролесомелиоративных насаждений. Таким образом, формы, экотипы и климатипы саксаула черного являются наиболее перспективными для пастбищных защитных насаждений.

Ключевые слова: саксаул черный, пастбища, защитные насаждения, засухоустойчивость, солеустойчивость, морозоустойчивость, адаптация

THE BIOECOLOGICAL FEATURES OF ADAPTATION OF BLACK SAXAUL IN CONDITIONS OF THE SOUTH-EAST OF EUROPEAN TERRITORY IN RUSSIA

²Kryuchkov S.N., ¹Morozova E.V., ¹Iozus A.P.

¹Reader of Kamyshin Tecnological Institut (branch) of Volgograd State Technical University, Kamyshin, e-mail: end@kti.ru;

²ALL-Russian Research Institut of Agroforest Melioration, Volgograd

In the southeast of the European part of Russia rangelands occupy tens of millions of hectares. However, as a result of anthropogenic load occurs their sharp degradation, their productivity is 2–4 tons/ha of air-dry weight. In addition, a significant disadvantage in this area is an poor species composition of plants, their low nutritional value. Systems of pasture protective forest strips are created in order to enrich the composition of fodder plants, improve the conditions of detention of cattle on pasture land. These include reclamation-fodder plantings of valuable shrubs for recreation of animals and protection of farms and sheepyards from cold winds in winter. Saxaul black is the most suitable breed for such plantings. Black saxaul combines signs of drought resistance and salt tolerance, exhibits the ability to regulate the vital processes according to changes in environmental conditions. Experience of introduction of saxaul in the southeast of the European part of Russia show the availability of locally adapted ecotypes that are acclimatized to the new soil and climatic conditions, changed the growth and development rhythms, physiological and biochemical structure of the tissues that provide plants with a good preparation to overwintering. As a consequence, they had a stable condition and productivity. This opens up the possibility of a targeted selection of saxaul on stability to abiotic factors. The most reliable method – a combination of reproduction of haloxylon local reproductions with selective breeding of climatotypes from other areas. At the introduction of saxaul must take into account the ecological origin and form diversity of the parent plant, which is very important for the organization of its seed production and the creation of sustainable forest amelioration plantations. Thus, forms, ecotypes and climatotypes of black saxaul are the most promising for the protective plantations of pastureland.

Keywords: black saxaul (Haloxylon), pastures, protective plantings, drought tolerance, salt tolerance, resistance to frost, adaptation

На юго-востоке европейской части России пастбищные угодья занимают десятки миллионов гектаров. Однако в результате антропогенной нагрузки произошла их резкая деградация, их продуктивность составляет 2–4 ц/га воздушно-сухой массы. Кроме

того, существенным недостатком в этом регионе является бедный видовой состав растений, их низкая питательная ценность. В целях обогащения состава кормовой растительности, улучшения условий содержания скота на пастбищных землях создают

системы пастбищезащитных лесных полос, включающие мелиоративно-кормовые насаждения из ценных кустарников для отдыха животных и для защиты ферм и кошар от холодных ветров зимой.

Наиболее подходящей породой для подобных насаждений является саксаул чёрный.

Цель исследования – изучение биологических характеристик и особенностей адаптации саксаула черного в условиях юго-востока европейской территории России.

Материалы и методы исследования

Саксаул чёрный – древовидный кустарник высотой 3–4 м. Отдельные экземпляры его в благоприятных условиях достигают высоты 10–12 м с диаметром ствола 25–50 см, крона ажурная, однолетние побеги зелёные с недоразвитыми листьями.

Саксаул чёрный занимает относительно небольшие площади, приуроченные к берегам и руслу древних рек, произрастает в различных экологических условиях.

Это растение сочетает признаки ксеро-, гало- и мезофита, проявляет способность регулирования процессов жизнедеятельности в зависимости от изменений условий среды. С наступлением высокой температуры и дефицита влаги у саксаула начинается состояние полупокоя в связи со значительным снижением энергии ростовых процессов, обмена веществ и опадением части ассимилирующих побегов. Осенью после выпадения атмосферных осадков и снижения температуры воздуха у него восстанавливаются развитие и созревание плодов, отрастание зелёных побегов.

Саксаул чёрный довольно требователен к водно-солевому режиму почвогрунта. Лучше всего он растёт на супесчаных и суглинистых серозёмах с высокой фильтрационной способностью, особенно при залегании грунтовых вод на глубине 5–20 м. В этих условиях развивает мощную, глубоко проникающую корневую систему, достигающую уровня грунтовых вод или влажных слоёв почвогрунта. Он выдерживает минерализацию грунтовых вод до 40 г/л сухого остатка и накапливает в ассимиляционных тканях 30–45 % водорастворимых солей. По типу аккумуляции зольных веществ относится к щелочно-натриевым растениям [2, 5].

В регионе ЮВ ЕТР саксаул естественно не произрастает, поэтому актуален вопрос об организации местных лесосеменных баз. Опыт лесоводов Узбекистана, Казахстана и Туркмении, а также исследования ВНИАЛМИ показывают, что в целях интродукции саксаула чёрного допустимы единовременные перемещения семян при наличии сходных почвенно-климатических условий с востока на запад до 1500 км (лучше 800–1000 км), с запада на восток 650–700 км, с юга на север 400–450 км, с севера на юг 500–600 км. При этом основные территории пустынь и полупустынь бывшего СССР были разбиты на семь широтных зон, в пределах которых разрешалась переброска семян саксаула при лесомелиоративных работах [4].

В естественных саксаульниках у растений имеется несколько экоформ. Существуют формы, устойчивые к болезням и вредителям, имеющие хорошее качество семян и высокие таксационные показатели. Использование качественного семенного материала

из высокопродуктивных и здоровых насаждений – залог создания биологически устойчивых мелиоративных насаждений.

В качестве основных методов исследования применялись методы селекционных исследований, адаптированные учеными ВНИАЛМИ для работы с саксаулом черным [1, 4].

Результаты исследования и их обсуждение

Первый опыт по изучению возможности использования семян саксаула черного выполнен во ВНИАЛМИ в 1969 г. [3]. Для этого в Сасыкольском питомнике Хараба-линского лесхоза Астраханской обл. выселили семена местного климата со ст. Дасанг и инорайонного происхождения (Казахстан и Средняя Азия).

Попытки интродуцировать саксаул чёрный в юго-восточные районы европейской части РФ предпринимались ещё полвека назад. Первыми удачными оказались посадки 1943 г. на ст. Дасанг Астраханской обл., сохранившиеся до настоящего времени. В хорошем состоянии находятся насаждения, созданные в 1965 г. в Харабалинском лесхозе Астраханской обл. из семян, завезенных из Кызыл-Ординской обл., т.е. северо-западной части естественного ареала саксаула.

Приживаемость культур местного происхождения, созданных в урочище «Кордон» того же лесхоза, составила 76%, кзыл-ординского климата 75, ташаузского 55, ургенчского 40, ферганского 17%. Основной причиной гибели или низкой сохранности посевов явилась недостаточная морозоустойчивость растений южного происхождения [3].

Всего до настоящего времени в опытно-производственных культурах Астраханской, Волгоградской обл. и Калмыкии испытано 19 экотипов саксаула. После суровой зимы 1971/72 г. (абсолютный минимум – 40 °С) хорошо сохранились кзыл-ординский, джамбульский, ташаузский и хорезмский климаты. Почти полностью погибли посадки ферганского, бухарского происхождения и другие из южных районов Узбекистана и Туркмении. Таким образом, полученные результаты дают возможность предварительно определить допустимые границы использования посевного материала саксаула чёрного для Северного Прикаспия. Они проходят южнее Аральского моря, по северным районам Бухарской обл. и южной границе Казахстана.

При интродукции саксаула необходимо учитывать экологическое происхождение и формовое разнообразие исходных растений,

что очень важно для организации его семеноводства и создания устойчивых агролесомелиоративных насаждений. Недостаток влаги в почве (40% от ПВ) оказывает стимулирующее действие на пропускную способность клеточных мембран его корня, как типичного ксерофита. Влажность почвы 60% от ПВ является уже избыточной. Однако при глубокой засухе в сочетании с засолением из-за высокого осмотического потенциала почвенного раствора скорость поступления воды в корень снижается, но гибели растений не наблюдается благодаря экономному расходу воды ассимиляционными побегами [4].

Недостаток влаги в почве способствует повышению водоудерживающей способности тканей побегов и корней. Наиболее благоприятный водный режим для саксаула складывается при сочетании малой водообеспеченности (40% от ПВ) с хлоридным засолением в пределах 0,25% по Cl. Положительное влияние дефицита влаги и слабого засоления проявляется и на росте и сохранныости растений (табл. 1).

Эта порода чутко и своеобразно реагирует на водный режим почвы не только в период вегетации, но и в зимний. При дефиците влаги в почве в летний период у саксаула происходит функциональная перестройка, подавляются процессы роста и он переходит в состояние полупокоя. При этом остаётся весьма инертен к воздействию абиотических факторов, в т.ч.

к отрицательным температурам в последующий зимний период [1].

Изменение морозоустойчивости саксаула при разной влажности почвы можно проследить по результатам промораживания климатипов разного происхождения (табл. 2). Критическими температурами, при которых гибнет 50% растений, выросших при влажности 20–30% ПВ, являются –20...–22°C, при 40–50% ПВ –22...–24°C, 60–70% ПВ –14...–16°C и при 80% ПВ –12...–14°C. Растения саксаула из Приаралья, Каракалпакии, Кызыл-Орды переносят более низкие (на 4–7°C) температуры, чем из южных районов Казахстана.

В естественных условиях саксаул успешно растёт и развивается при высокой солнечной активности. В районе Северного Прикаспия поток солнечной радиации и сумма тепла падают, влажность возрастает, что, безусловно, отражается на ритмах развития саксаула. Недостаток солнечной радиации резко снижает его морозоустойчивость в связи с низким уровнем накопления пластических веществ. Критические температуры, вызывающие вымерзание, падают с –19...–20 до –13...–14°C. Кроме того, недостаток солнечной радиации и избыточное увлажнение в отдельные месяцы вегетации способствуют развитию мучнистой росы, камароспориоза и фузариоза. Оптимальным экологическим фоном для роста и развития саксаула являются высокая солнечная радиация в течение всей вегетации и низкая влажность почвы.

Таблица 1
Рост и сохранность климатипов саксаула на разном экологическом фоне

Происхождение	Засоление почвы по Cl, %	Влажность почвы, % от ПВ					
		60		40		20	
		высота, см	сохранность, %	высота, см	сохранность, %	высота, см	сохранность, %
Приаралье (Кунград, Казалинск)	0	17	99	20	100	18	86
	0,25	15	93	17	100	–	–
	0,50	13	96	17	100	–	–
Кзыл-Орда, Талды-Курган	0	14	92	18	100	17	93
	0,25	16	99	26	100	16	90
	0,50	18	94	17	100	16	90
Каракалпакия (Нукус, Хива, Ургенч)	0	13	100	17	100	17	98
	0,25	13	97	18	100	16	86
	0,50	12	82	15	100	13	91
Северный Прикаспий (Дасанг, Харабали)	0	13	90	14	100	18	94
	0,25	16	98	15	100	12	76
Мангышлак, Гурьев	0	15	95	17	100	16	97
	0,25	12	97	18	100	15	83
	0,50	11	97	14	100	–	–
Джамбул, Чимкент, Мары	0	13	92	14	100	18	100
	0,25	13	100	17	100	16	96
НСР ₉₅		2,6		2,9		1,5	

Таблица 2

Влияние влажности и засоления почвы на морозоустойчивость климатипов саксаула

Происхождение	Критические температуры, °С				
	при влажности почвы, % от ПВ				при засолении
	80	60	40–50	20–30	
Приаралье (Кунград, Казалинск)	–14...–16	–18...–20	–22...–24	–22...–24	–14...–16
Кзыл-Орда, Талды-Курган	–14...–16	–17...–19	–22...–24	–22...–24	–14...–16
Каракалпакия (Нукус, Хива, Ургенч)	–14...–16	–15...–17	–22...–24	–20...–22	–12...–14
Северный Прикаспий (Дасанг, Харабали, Баскунчак)	–15...–16	–15...–16	–22...–24	–20...–22	–14...–16
Мангышлак, Гурьев	–10...–12	–15...–17	–22...–24	–20...–22	–10...–12
Джамбул, Чимкент, Коканд	–10...–12	–14...–16	–22...–24	–20...–22	–9...–11
Мары, Чарджов	–10...–11	–11...–13	–22...–24	–18...–20	–7...–10

Успешность интродукции растений связана с ритмами прохождения фенологических фаз в период акклиматизации. В ходе фенологических наблюдений в условиях Харабалинского лесхоза Астраханской обл. выявлено, что раньше других начинают и заканчивают вегетацию растения местной репродукции из Дасанга, Баскунчака, Харабали. Массовое набухание почек у них отмечалось на 7–9 дней раньше, чем у растений из Нукуса, Ташауза, Ургенча.

У растений из семян местной репродукции по сравнению с климатипами естественного ареала интенсивный прирост отмечен в первой половине лета. Следовательно, подготовка этих растений к зиме проходит в более ранние сроки. В целом вегетационный период у саксаула в условиях Астраханской обл. составляет от 180 до 215 дней, что на 1–1,5 месяца короче, чем в условиях естественного ареала.

Первое цветение саксаула наблюдалось на третий год после посадки. Раньше всех зацветает зайсанский саксаул, через 3–10 дней – остальные климатипы. Наиболее обильное цветение у растений из Кзыл-Орды, Ташауза и у особей местной репродукции (Дасанга, Харабали); слабое цветение отмечено у саксаула из Нукуса, Джусалы и Кунграда; у остальных климатипов – умеренное.

Завязываемость плодов у климатипов различная: обильно плодоносили растения местной репродукции (Дасанг, Харабали), умеренно – саксаул из Кзыл-Орды и Казалинска, слабо – из Нукуса, у остальных плодоношение практически отсутствовало.

В условиях Астраханской обл. саксаул цветёт на 2–3 недели позже, а семена созревают на 3–4 недели раньше, чем в условиях естественного ареала. Следовательно, саксаул чутко реагирует на изменившиеся условия и адаптируется к ним (табл. 3).

Таблица 3

Репродуктивное развитие саксаула в 15-летнем возрасте

Происхождение	Срок цветения		Степень цветения, балл	Срок созревания семян		Плодоношение, балл
	начало	конец		начало	конец	
Зайсан	17.04	03.05	5	06.09	10.10	1
Ургенч	23.04	10.05	3	10.09	17.10	1
Нукус	23.04	10.05	3	08.09	15.10	2
Чимкент	25.04	10.05	3	08.09	15.10	1
Кульсары	23.04	08.05	2	07.09	15.10	1
Кармаркчи	28.04	10.05	3	08.09	20.10	1
Ташауз	25.04	10.05	5	10.09	20.10	3
Кунград	25.04	10.05	3	10.09	19.10	1
Чиили	20.04	06.05	3	07.09	16.10	1
Джусалы	24.04	08.05	2	09.09	17.10	1
Казалинск	20.04	07.05	4	15.09	21.10	3
Кзыл-Орда	25.04	10.05	5	10.09	17.10	3
Баскунчак	23.04	07.05	4	10.09	18.10	3
Харабали	23.04	08.05	5	10.09	19.10	4
Дасанг	25.04	10.05	5	10.09	19.10	4

Кроме того, адаптация оценивается интенсивностью роста и общим состоянием на фоне жестких засух и суровых зим. Лучший рост по высоте и диаметру отмечен у климатипов из Кызыл-Орды, Ташауза и местных особей. Почти вдвое по таксационным показателям уступает им саксаул зайсанский. Высоким и стабильным текущим приростом отличались растения местной репродукции (Дасанг, Харабали) и из районов Кызыл-Орды и Приаралья, а наименьшим – саксаул из Ташауза, Нукуса и другие растения среднеазиатского происхождения (табл. 4).

Интенсивный прирост сопровождается формированием продуктивной фитомассы. Для пастбищных растений наибольшую ценность представляет поедаемая часть – ассимиляционные побеги (табл. 5). Наибольшим этот показатель был у растений местной репродукции (из Дасанга). Саксаул зайсанский значительно отставал в росте, так как формирует кусты с широкой приземистой кроной с продуктивной поедаемой фитомассой, т.е. является ценным кормовым кустарником. Наименьшая фитомасса формировалась у особей из среднеазиатских республик.

Таблица 4
Показатели роста 15-летних культур саксаула в условиях Астраханской обл.

Происхождение	Высота, м	Диаметр, см	Текущий прирост, см	
			по высоте	по диаметру
Зайсан	2,5	4,8	23,1	1,11
Ургенч	5,5	7,2	31,0	2,95
Нукус	5,3	5,9	14,9	1,33
Чимкент	5,5	6,7	22,1	1,91
Кульсары	5,1	5,8	10,4	1,27
Кармаркчи	5,1	5,8	16,2	1,21
Ташауз	5,6	6,0	7,1	1,00
Кунград	5,4	5,4	11,8	1,01
Чиили	5,5	7,6	36,9	3,21
Джусалы	5,4	5,6	6,4	1,01
Казалинск	5,7	7,9	35,9	3,10
Кзыл-Орда	5,9	8,7	38,8	3,21
Баскунчак	5,6	6,9	27,7	2,22
Харабали	5,7	8,0	31,5	2,67
Дасанг	5,7	8,5	54,9	3,44
НСР ₉₅	0,9	0,7		

Таблица 5
Накопление биомассы у саксаула чёрного разного происхождения в условиях Астраханской обл. в 15-летнем возрасте

Происхождение	Проекция кроны, м ²	Биомасса одного растения, кг с.в.			
		побегов	ветвей	ствола	всего
Зайсан	5,0	3,6	1,9	1,5	7,0
Нукус	5,4	3,7	1,3	3,3	8,3
Ташауз	5,2	3,6	1,4	4,0	9,0
Казалинск, Кызыл-Орда	5,7	4,3	1,3	4,1	9,7
Дасанг, Баскунчак	6,9	5,5	2,6	5,4	13,1

Наблюдениями за состоянием растений после суровой зимы 1985/1986 г. зафиксировано, что у растений из Дасанга, Харабелей, Баскунчака и Приаралья повреждены только верхушечные почки. Сильно пострадали растения из Ургенча, Нукуса, Чимкента, в т.ч. зайсанского происхождения, у которых вымерзли однолетние приросты и частично были повреждены 2–3-летние побеги. Большинство климатипов легко восстановили крону после повреждения. Несмотря на отсутствие осадков, растения из Кызыл-Орды, Приаралья и особи местной репродукции не снизили темпы роста. Высокие показатели коэффициента поляризации и слабое сопротивление тканей току высокой частоты свидетельствуют об их хорошем текущем физиологическом состоянии в период засухи.

Выводы

Таким образом, накопленный опыт интродукции саксаула на юго-востоке европейской территории России свидетельствует о перспективности использования местных адаптированных экотипов, которые акклиматизировались в новых по-

чвенно-климатических условиях, изменили ритмы роста и развития, физиолого-биохимические структуры тканей, что обеспечило растениям хорошую подготовку к зиме и перезимовке. Как следствие, они имели стабильное состояние и продуктивность. Это открывает возможности целенаправленной селекции на устойчивость к абиотическим факторам. Наиболее надёжный метод – сочетание размножения саксаула местной репродукции с селекционным отбором инорайонных климатипов.

Список литературы

1. Архангельская Г.П. Влияние влажности почвы на водообмен саксаула чёрного // Селекционные основы повышения устойчивости защитных лесных насаждений в аридной зоне. – Волгоград, 1985. – Вып. 1 (84). – С. 23–88.
2. Касьянов Ф.М., Озолин Г.П., Зюзь Н.С. Выращивание саксаула чёрного на пастбищах и песках. – М.: Лесная промышленность, 1978. – С. 97.
3. Крючков С.Н. К вопросу организации семеноводства саксаула чёрного в Северном Прикаспии // Научные исследования 1981–1985 гг. / Минлесхоз РСФСР. – М.: Лесная промышленность, 1986. – С. 231–236.
4. Крючков С.Н., Маттис Г.Я. Лесоразведение в засушливых условиях. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2014. – 300 с.
5. Никитин С.А. Древесная и кустарниковая растительность пустынь СССР. – М.: Наука, 1966. – 356 с.

УДК 630*165.7: 631.53

ОСОБЕННОСТИ ВЕГЕТАТИВНОГО РАЗМНОЖЕНИЯ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО ДЛЯ ЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

¹Морозова Е.В., ¹Иозус А.П., ²Крючков С.Н.

¹Камышинский технологический институт (филиал), ГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: end@kti.ru;

²Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации, Волгоград

Одной из основных лесообразующих пород в степной и сухостепной зонах является дуб черешчатый (*Quercus pedunculata*), имеющий наиболее широкий ареал естественного распространения. Здесь он произрастает на черноземах, темно-каштановых почвах, а также темноцветных, интразональных почвах. Дуб является практически единственной аборигенной эндемичной древесной породой, произрастающей в сухой степи Нижнего Поволжья. Тогда как южная граница естественного ареала другой основной породы защитного лесоразведения – сосны, проходит уже по северу Саратовской области. При организации селекционного семеноводства основных лесообразующих пород, в том числе и дуба, выделенный генофонд должен пройти репродукцию при сохранении всех положительных свойств материнских растений, с целью введения их в клонные архивы и лесосеменные плантации. Единственным эффективным методом создания клонных лесосеменных плантаций является метод вегетативного размножения, который позволяет полностью передать саженцу генетические свойства плюсового материнского дерева. В литературе практически отсутствуют материалы по вегетативному размножению различных видов и биотипов дуба в районе степей европейской части Российской Федерации. Установлено, что наиболее надежным и приемлемым методом прививки всех видов дуба является метод вприклад с обрезкой кроны и изоляцией полиэтиленовым пакетом. Для обеспечения приживаемости саженцев на лесосеменной плантации прививки целесообразно выращивать в теплицах. Состояние подвоя в весенний период не оказывает резкого влияния на приживаемость прививок. Однако прививочные работы необходимо заканчивать до момента начала роста почек. При поливе в условиях степей европейской части Российской Федерации летние прививки также дают хорошую приживаемость.

Ключевые слова: дуб черешчатый, вегетативное размножение, привой, защитное лесоразведение, лесосеменные плантации

FEATURES OF VEGETATIVE PROPAGATION ENGLISH OAK FOR PROTECTIVE AFFORESTATION IN THE REGION OF THE STEPPES OF THE EUROPEAN PART OF THE RUSSIAN FEDERATION

¹Morozova E.V., ¹Iozus A.P., ²Kryuchkov S.N.

¹Kamyshinsky Institute of Technology (branch) of the Public Educational Institution «Volgograd State Technical University», Kamyshin, e-mail: kti@mail.ru;

²ALL-Russian Research Institut of Agroforest Melioration, Volgograd

One of the main forest-forming species in the steppe and dry steppe zone is English oak (*Quercus pedunculata*), which has the widest range of natural distribution. Here it grows on chernozems, dark chestnut soils, as well as dark-colored, intrazonal soils. Oak is practically the only aboriginal endemic tree species growing in the dry steppe of the Lower Volga region. While southern border of the natural range of other bedrock protective afforestation – pine, runs in the north of the Saratov region. At the organization of the selective seed breeding main tree species, including oak, highlighted the gene pool must undergo reproduction while maintaining all the positive properties of the parent plant, in order to introduce them in archives of clone and seed orchards. The only effective method of creating a clonal forest-seed plantations is the method of vegetative propagation, which allows you to fully convey the sapling the genetic properties of the plus mother tree. In the literature, there are practically no material for vegetative propagation of various species and biotypes of pedunculate oak trees in the region of the steppes of the European part of the Russian Federation. It was found that the most reliable and affordable method of grafting of all species of pine is grafting method in the butt with pruning of crown and isolation in plastic bag. To ensure the survival of saplings in the forest-seed plantations grafting must be grown in the greenhouse. State of rootstock in the spring does not have a sharp impact on the survival rate of grafting. However, necessary to finish works for the grafting of tree before the start of the kidney growth. The summer vaccinations give also a good survival rate when watering in the conditions of steppes the European part of the Russian Federation.

Keywords: pedunculate oak (petiolate oak, English oak (*Quercus pedunculata*)), vegetative propagation (cloning), cion (graft), protective wood cultivation, seed orchards

В связи с приказом Рослесхоза от 09.03.2011 г. № 61 «Об утверждении перечня лесорастительных зон Российской Федерации и перечня лесных районов Российской Федерации» и приказом Рослесхоза от 28.03.2016 г. № 100 «Об установлении лесосеменного районирования», согласно кото-

рым Волгоградская область включает три лесосеменных района, для каждого из них необходимо создавать специализированные лесосеменные плантации. Что подразумевает большой объем работ по вегетативному размножению перспективных основных лесообразующих пород.

Одной из основных лесообразующих пород в степной и сухостепной зоне является дуб черешчатый, имеющий наиболее широкий ареал естественного распространения. Здесь он произрастает на черноземах, темно-каштановых почвах, а также темноцветных, интразональных почвах. Дуб является практически единственной аборигенной эндемичной древесной породой, произрастающей в сухой степи Нижнего Поволжья. Тогда как южная граница естественного ареала другой основной породы защитного лесоразведения – сосны, проходит уже по северу Саратовской области.

При организации селекционного семеноводства основных лесообразующих пород, в том числе и дуба, выделенный генотип должен пройти репродукцию при сохранении всех положительных свойств материнских растений. Такой приём размножения можно осуществить только вегетативным путём. Однако древесные виды имеют разную способность к вегетативному размножению, особенно в аридном регионе – за пределами своих естественных ареалов. Поэтому основной задачей при создании лесосеменных объектов (клоновых архивов, клоновых и маточных плантаций) являлось использование эффективных приёмов вегетативного размножения для каждой древесной породы с учётом её биоэкологии и конкретных условий выращивания.

Цель исследования – разработать эффективные методы вегетативного размножения дуба черешчатого в условиях юго-востока европейской территории России.

ВНИАЛМИ в результате 30-летних экспериментальных исследований разработаны и освоены приёмы вегетативного размножения основных древесных видов при создании их постоянной лесосеменной базы в юго-восточном регионе.

В последние годы в защитном лесоразведении на орошаемых землях широкое распространение получил дуб пирамидальной формы, который при семенном размножении не всегда сохраняет материнский габитус. Выращивание саженцев дуба пирамидального из зелёных черенков в нестационарной плёночной теплице с мелкокапельным орошением, режим которого обеспечивает образование постоянной водной плёнки на поверхности листовой пластинки, даёт высокий процент укоренения. Лучшими субстратами для укоренения являются торф и смесь его с песком или мелким керамзитом в соотношении 2:1. Благоприятный микроклимат складывается при

повторении мелкокапельного орошения через 40–60 мин при 30–40-секундном включении установки. При таком режиме температура воздуха не превышает 28–30°C, субстрата 26–28°C. Для заготовки черенков берутся побеги с заложившейся апикальной почкой и нормально развитыми верхушечными листьями. Оптимальная длина черенка 7–10 см, глубина посадки 0,7–1,0 см при плотной схеме посадки 5×5 см. При соблюдении перечисленных условий черенки, вычлененные от растений в возрасте 1–6 лет, после предварительной обработки ИМК – 50 мг/л, ИУК – 100 мг/л или ростовой пудрой укореняются на 90–100%; черенки, полученные от 20–25-летних растений при обработке ростовой пудрой, укореняются на 70% [1].

Но побегопроизводительная способность старых маточных деревьев всех видов обычно ослаблена и основным способом их вегетативного размножения является прививка.

Наибольшее применение в отечественной и зарубежной практике при вегетативном размножении дуба черешчатого получил способ прививки его черенков на молодые подвои. Опыт по его прививкам в условиях экологического оптимума имеется [2, 3, 4, 6, 7 и др.]. Большинство авторов отмечают, что лучшая, хотя и довольно низкая, приживаемость черенков дуба достигается при прививке «в мешок» на 3–6-летних дубках в период интенсивного роста побегов. Низкая приживаемость обусловлена биологией дуба (наличие дубильных веществ в коре и древесине, позднее начало вегетации, короткий период роста). В сухостепной зоне эти работы практически не проводились. Необходимо было разработать эффективную технологию прививок дуба применительно к специфике селекционной работы в этом регионе.

Закладка клоновых лесосеменных плантаций дуба осуществляется двумя способами: прививкой черенков плюсовых деревьев на подвои, выращенные на постоянном месте, и посадкой сеянцев с закрытой корневой системой, привитых в условиях питомника.

Исследования проводились в период 1974–2002 гг. в условиях г. Волгограда (ОПХ ВНИАЛМИ) и Новоаннинского селекционно-семеноводческого комплекса на сеянцах с закрытой корневой системой и подвойных культурах в лесосеменных плантациях.

Прививку на подвои с закрытой корневой системой выполняли на 2–3-летний подвой 1974/1975 г., выращенный в полиэтиленовых пакетах из желудей от плюсовых

деревьев. Черенки заготавливали с тех же деревьев в марте и хранили в холодильнике. Прививали в 1-й декаде мая тремя способами: в боковой зарез, вприклад (по Е.П. Проказину) и врасщеп верхушечного побега. Каждый из них имел 4–5 модификаций. Обязка – полихлорвиниловая лента [5, 6]. Кроме этого использовалась защита привоя полиэтиленовым колпачком (пакетом с отенением). С целью улучшения микроклиматических условий для привоя, защищенного полиэтиленовым колпачком, применяют частичное отенение колпачка. Нами для защиты особо ценных прививок клонов успешно применялся способ, когда в колпачок входит пробирка с водой, крепящаяся на подвой. 3–4-летние подвой вполне ее выдерживают.

Приживаемость черенков наблюдалась в первой десятидневке. Через месяц число живых прививок стабилизировалось и были сняты колпачки и обязка. Низкая приживаемость и сохранность отмечены на вариантах врасщеп и в боковой зарез без обрезки кроны (15–35%), лучшая – на варианте вприклад в модификации с обрезкой кроны и изоляцией полиэтиленовым пакетом (90%), в том числе с пробиркой под колпачком.

В 1975–1978 гг. испытывались способы «в мешок» по Б.М. Сидорченко [7]; улучшенная копулировка, применяющаяся в плодоводстве; вполуприклад за кору. Последний способ – предложенная нами модификация метода вприклад, при которой кора у подвоя не удаляется, а прижимается к камбию черенка с внешней стороны. На первом варианте подвой обрезался на уровне корневой шейки, на других – примерно на середине высоты. Все прививки защищались полиэтиленовыми колпачками [5].

Лучшие приживаемость и сохранность получены на варианте вполуприклад за кору (80%); мы объясняем это обеспечением наибольшей площади контакта между прививочными компонентами (табл. 1). На втором и четвертом вариантах получены вполне удовлетворительные результаты

(64%). Способ «в мешок» на 2-летних подвоях оказался неудачным, подвой по толщине не соответствовал размерам черенков.

Способы вполуприклад за кору и вприклад можно рекомендовать при весенней прививке на 2-летние подвой с закрытой корневой системой с последующим их переносом на лесосеменные плантации.

Прививки на постоянном месте проводили в клоновом архиве и лесосеменных плантациях в 1975–1985 гг. на 3–8-летние подвой с защитой колпачками способами «в мешок» на штамбе; за кору на штамбе; вприклад сердцевинной на камбий; вполуприклад за кору. Первые два варианта применялись на 6–8-летних подвоях, два последних – на 3–4-летних.

Наиболее эффективным оказался способ вполуприклад за кору на 3-летних подвоях и за кору на штамбе на 6-летних дубках. На каждом варианте наблюдались вариации по росту привоя. Однако на крупных подвоях прививки росли более энергично (табл. 2), в этом случае удавалось избежать трещин на коре и обеспечить надёжное срастание. Сохранность прививок снижалась увеличением штамба, что вызвано повреждаемостью высоких прививок ветром. Лучшие результаты получены при проведении прививочных работ в период интенсивного роста побегов у подвоя, когда хорошо отделяется кора от древесины.

Более результативными (66–84%) оказались прививки одревесневшими и зелеными черенками на 4–7-летних подвоях, выполненные в 3-й декаде апреля и начале мая (табл. 3). Эти сроки прививки для условий сухой степи следует считать оптимальными. При определении сроков проведения весенних прививок лучше всего ориентироваться на фенофазу подвоя. В районе степей европейской части Российской Федерации лучшая приживаемость достигается в фазу интенсивного роста побегов, эта фаза обычно проходит в диапазоне сумм температур 150–400°C – в этом диапазоне наиболее целесообразно проводить прививочные работы.

Таблица 1

Эффективность прививок дуба (среднее за 3 года)

Способ прививки	2-летний подвой с закрытой корневой шейкой			3–8-летний подвой в лесосеменной плантации		
	приживаемость, %	сохранность, %	годовой прирост, см	приживаемость, %	сохранность, %	годовой прирост, см
«В мешок»	12	8	19,8 ± 0,6	64	49	83,5 ± 6,6
Вприклад	64	56	18,4 ± 0,4	76	60	54,7 ± 6,5
Вполуприклад за кору	80	70	19,1 ± 0,4	84	70	79,1 ± 5,8
Улучшенная копулировка	64	60	20,4 ± 0,8	79	67	83,5 ± 4,5

Таблица 2

Рост и сохранность прививок дуба при разной толщине подвоя

Способ прививки	Диаметр подвоя на высоте прививки, см	Сохранность, %	Годичный прирост, М ± m, см
Вприклад	До 1,0	60	44,7 ± 6,6
	1,1–1,5	57	53,8 ± 6,3
	1,6–2,0	63	79,1 ± 5,8
«В мешок»	До 3,0	46	63,5 ± 6,6
	3,1–5,0	49	82,5 ± 4,5
	5,1–6,0	52	95,0 ± 7,4

Летние сроки целесообразно применять при ремонте и дополнении весенних прививок. Прививки зелеными черенками обеспечивают приживаемость до 44 % и также могут применяться при отсутствии одревесневших черенков. При поливе подвоев в районе степеней европейской части Российской Федерации летние прививки дают хорошую приживаемость и могут заполняться в опытных и производственных целях с начала июля до конца августа в диапазоне сумм температур 1200–2600°C. Однако хорошо сохраняются и зимуют только

майские и июньские прививки, а июльские и августовские, не успевающие дать прирост, погибают.

Наиболее плотное совмещение черенка с подвоем происходит в нижней части «мешка». Выше контакт между тканями подвоя и черенка нередко прерывается – образуются пустоты. Поэтому плотное совмещение тканей достигается при оптимальных размерах черенка и подвоя, что обуславливает дифференцированный выбор способа прививки в соответствии с конкретными объектами работы (табл. 4).

Таблица 3

Приживаемость и сохранность прививок, выполненных в разные сроки способом «в мешок»

Дата прививки	Одревесневший черенок			Зелёный черенок		
	Приживаемость, %	Сохранность, %		Приживаемость, %	Сохранность, %	
		осенью	весной		осенью	весной
		1978 г.	1979 г.		1978 г.	1979 г.
10–15 апреля	27	24	14			
20–30 апреля	84	78	72			
5–15 мая	66	62	58	44	39	36
20–30 мая	34	29	24	32	26	21
15–20 июня	54	49	40	39	32	20
10–20 июля	36	30	6	24	19	0
15–20 августа	40	32	2	42	35	4

Таблица 4

Рекомендуемые способы прививки дуба в зависимости от размера подвоя

Возраст подвоя, лет	Диаметр подвоя на уровне прививки, см	Способ прививки	Оптимальная толщина черенка привоя, мм
2–3	0,5–1,0	Вприклад	2–4
3–5	1,1–3,0	Копулировка	5–7
		Вприклад	5–7
		«В мешок»	2–3
		За кору	3–5
5–7	3,1–5,0	«В мешок»	2–5
		За кору	5–7
7 и более	5,1 и больше	«В мешок»	3–5
		За кору	5–7

Энергичный рост прививок в высоту происходит через 15–20 дней, а через 25–30 дней наблюдается усиленный прирост по диаметру. В этот период необходимо удалять обвязку и одновременно подвязывать неодревесневшие побеги к колям во избежание выламывания их ветром.

Выводы

1. Лучшими сроками заготовки черенков для проведения прививочных работ в районе степей европейской части Российской Федерации является март – начало апреля. При условии, что черенки сразу после заготовки помещались под снег, в исключительных случаях можно пользоваться черенками декабрьской и январской заготовки.

2. Хорошую приживаемость дает прививка зелеными черенками.

3. При определении сроков проведения весенних прививок лучше всего ориентироваться на фенофазу подвоя. В районе степей европейской части Российской Федерации лучшая приживаемость достигается в фазу интенсивного роста побегов, эта фаза обычно проходит в диапазоне сумм температур 150–400 °С – в этом диапазоне наиболее целесообразно проводить прививочные работы.

4. При поливе подвоев в районе степей европейской части Российской Федерации летние прививки дают хорошую приживаемость и могут заполняться в опытных и производственных целях с начала июля до

конца августа в диапазоне сумм температур 1200–2600 °С.

5. В условиях сухого и жаркого климата в районе степей европейской части Российской Федерации прививки целесообразно проводить в утренние и вечерние часы, когда относительная влажность воздуха не ниже 80 %.

6. Хорошие результаты дает защита привоев полиэтиленовым колпаком с частичным отенением и введением под колпачок пробирки с водой с целью улучшения микроклиматических условий.

Список литературы

1. Архангельская Г.П., Изотова Л.В. Особенности черенкования дуба пирамидальной формы // Интродукция, семеноводство и методы интенсивного размножения деревьев и кустарников. – Волгоград, 1990. – Вып. 2(57). – С. 38–45.
2. Белоус В.И. Новый способ прививки дуба и других лиственных пород // Лесохозяйственная информация. – 1971. – № 4. – С. 14.
3. Давыдова Н.И. Итоги многолетнего испытания семенного потомства дуба обыкновенного // Лесоводство и агролесомелиорация. – Киев: Урожай, 1977. – Вып. 48. – С. 10–16.
4. Ефимов Ю.П. Изменчивость сосны обыкновенной по типу сексуализации и её значение для лесного семеноводства // Генетические основы лесной селекции и семеноводства. – Воронеж, 1982. – С. 61–75.
5. Иозус А.П. Семеноводство сосны для защитного лесоразведения в Нижнем Поволжье: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Свердловск, 1981.
6. Иозус А.П., Крючков С.Н., Морозова Е.В. Селекционное семеноводство древесных пород на юго-востоке европейской России: монография. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ. 2016. – 184 с.
7. Сидорченко Б.И. Прививка дуба // Лесное хозяйство. – 1949. – № 7. – С. 14–15.

УДК 632.51:633.15

**ВИДОВОЙ СОСТАВ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ ПОСЕВОВ КУКУРУЗЫ
ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ****Накаев С.-М.А., Оказова З.П.***Чеченский государственный педагогический университет, Грозный, e-mail: okazarina73@mail.ru*

Изучение видового состава сорной растительности является основным элементом, входящим в систему мероприятий по защите посевов от сорняков. Целью работы явилось уточнение видового состава сорной растительности посевов кукурузы для совершенствования мер борьбы с ними. Исследование проводилось в лесостепной зоне Чеченской Республики. Анализ видового состава сорной растительности осуществлялся общепринятыми методами, путем прохода по диагонали поля, накладки учетной рамки, установления видового и количественного состава сорнополевого компонента. Основными сорными растениями посевов кукурузы являются: галинсога мелкоцветная, горец вьюнковый, марь белая, амброзия полыннолистная, просо куриное, василек синий, мак самосейка, подмаренник цепкий, бодяк полевой, дрема белая, осот полевой, пастушья сумка, ваточник сирийский. Основная часть из зарегистрированных видов сорных растений – малолетние, из которых 2/3 – ранние яровые и зимующие.

Ключевые слова: сорная растительность, кукуруза, видовой состав, маршрутный метод, карантинный сорняк

**SPECIFIC STRUCTURE OF WEED PLANTS OF CROPS OF CORN
OF THE FOREST-STEPPE ZONE OF THE CHERCHEN REPUBLIC****Nakaev S.-M.A., Okazova Z.P.***Chechen State Pedagogical University, Grozny, e-mail: okazarina73@mail.ru*

Studying of specific structure of weed vegetation is the basic element entering in sivity actions for protection of crops against weeds. The purpose of work was specification of specific structure of weed vegetation of crops of corn for improvement of measures of fight against them. The research was conducted in a forest-steppe zone of the Cheren Republic. The analysis of specific structure of weed vegetation was carried out by the standard methods, way of pass on the diagonal of the field, overlaying of a registration frame, establishment of specific and quantitative structure of a sornopolevy component. The main weed plants of crops of corn are: the galinsoga is melkotsvetny, the mountaineer vyunkovy, mar white, an ambrosia polynolistny, millet chicken, a cornflower blue, poppy a samoseyka, a lady's bedstraw tenacious, бодяк field, a sleepiness white, a sow-thistle field, a shepherd's bag, a vatochnik Syrian. The main part from the registered species of weed plants – juveniles, from which 2/3 – early summer and wintering.

Keywords: weed vegetation, corn, specific structure, route method, quarantine weed

Основная задача сельскохозяйственного производства на современном этапе – получение экологически безопасной продукции высокого качества, что становится достаточно проблематичным в связи с ухудшением общего фитосанитарного состояния агроценозов. Лидирующим фактором, вызывающим максимальные потери урожая на фоне снижения качества производимой продукции, по-прежнему остается засоренность посевов. 1/4 часть урожая ежегодно теряется в связи с высокой засоренностью посевов полевых культур. Потенциальные потери урожая зерновых культур составляют около 25%, пропашных – порядка 50 [1, 3].

Существовавшие системы защиты растений в настоящее время не могут быть использованы, что связано с рядом причин: общий спад производства, в связи со сложной экономической ситуацией, значительный рост цен на средства защиты посевов, высокая токсичность доступных средств защиты посевов. Вместе с тем имеет место расширение ареала сорных растений, что

связано с возрастающей вредоносностью сорнополевого компонента. Особую актуальность приобретает проблема появления и распространения в агроценозах полевых культур новых видов сорных растений, которые устойчивы и конкурентоспособны и наносят народному хозяйству огромный ущерб, связанный с вынужденным повышением доз гербицидов и выражающийся дополнительными экономическими затратами, ухудшением экономической и социальной обстановки. Миграция пестицидов и их метаболитов с мест применения и существенный рост пестицидной нагрузки, в связи с низкой эффективностью существовавших ранее препаратов приводит к аккумуляции их в цепях питания биоты. С целью снижения экологической напряженности необходимо расширять ассортимент гербицидов путем использования новых экологически безопасных препаратов с меньшими нормами расхода [4].

Цель исследований – уточнение видового состава сорной растительности посевов кукурузы лесостепной зоны Чеченской

Республики для совершенствования мер борьбы с ними.

Анализ засоренности проведен по результатам обследования посевов полевых культур (проводилось на площади около 150 га в лесостепной зоне Чеченской Республики).

Объект исследования – посевы кукурузы в лесостепной зоне Чеченской Республики. Основные страны экспортеры зерна кукурузы – США, Китай, Франция, Аргентина.

Ценная кормовая и зерновая культура. Калорийность 100 г ее зерна – 325 ккал. Содержание моно- и дисахаридов – 1,16 г/100 г, крахмала – 58,2 г, ненасыщенных жирных кислот – 3,46 г. Кроме того, зерно содержит значительное количество витаминов группы В. Из макроэлементов в зерне кукурузы преобладают калий (340 мг/100 г), фосфор (301 мг на 100 г) и магний (104 мг на 100 г). Из микроэлементов: алюминий (440 мкг/100 г); бор (270 мкг/100 г) и медь (280 мкг/10 г). Кормовая ценность 1 кг зерна – 1,34 к.е., 1 кг проса – 1,23 к.е., пшеницы – 1,19 (С.Г. Блиев, 1998; Г.М. Полетаев, 2008; А.Ф. Стулин, 2009).

Кукуруза является основным видом комбикорма в животноводстве, причем преимущественно используется при производстве мяса. Кукурузный силос – универсальный корм – 1 центнер кукурузного силоса – это свыше 21 к.е. При этом содержание протеина в комбикорме из кукурузы сравнительно низкое, поэтому наиболее целесообразным считается ее использование как составной части.

Большое разнообразие природных условий, выраженная вертикальная зональность отличает территории Северного Кавказа. В процессе перехода из одной зоны в другую происходит изменение условий возделывания культур, что связано прежде всего с географическими особенностями. Это оказывает влияние и на видовой состав вредных объектов, находящихся в посевах и способствующих снижению урожая.

Видовой состав и распространенность сорных растений изучали путем проведения обследований в хозяйствах с использованием «Методических указаний по учету и картированию засоренности полей», «Инструкции по определению засоренности полей, многолетних насаждений, культурных сенокосов и пастбищ».

Обследования выполнялись маршрутным методом, путем проходя по диагонали поля, накладывая учетной рамки 1 м² через равные расстояния, подсчета количества сорных растений по всем видам.

В ходе проведения обследований установлено следующее.

Видовой состав сорной растительности в посевах кукурузы имеет тенденцию к значительному расширению [3, 6].

Большинство из определенных видов составили малолетние, в числе которых 2/3 – ранние яровые и зимующие. Доля поздних яровых незначительна. Для ранних яровых и зимующих сорных растений в посевах кукурузы созданы оптимальные условия для роста и развития. В период вегетации кукурузы чаще всего встречались просо куриное (*Echinochloa crusgalli* (L.)), мак самосейка (*Papáver rhoéas* (L.)), канатник Теофраста (*Abutilon theophrasti Medicus*), амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiifolia* (L.)), амброзия трехраздельная (*Ambrosia trifida* (L.)), пикульник обыкновенный (*Galeopsis tetrahit* (L.)), росичка кроваво-красная (*Digitaria sanguinalis* (L.)), паслен черный (*Solanum nigrum* (L.)), щирица запрокинутая (*Amaránthus retrofléxus* (L.)), бодяк полевой (*Cirsium arvense* (L.) Scop.), галинсога мелкоцветная (*Galinsoga parviflora* (Cav.)), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* (L.)), ваточник сирийский (*Asclepias syriaca* (L.)), звездчатка средняя (*Stellária média* (L.)), свинорой пальчатый (*Cynodon dactylon* (L.)) (таблица).

Засоренность посевов кукурузы 5–2600 шт/м².

В посевах кукурузы малолетние сорные растения в среднем составляли 60,0%, а многолетние – 2,3 (рисунок).

По биологическим группам в посевах кукурузы 59,4% малолетних сорняков и 36,7% многолетних.

Щирица запрокинутая. Поздний яровой однолетник. Растет и развивается повсеместно. Засоряет поля, сады и огороды, луга. Щирица запрокинутая особенно агрессивна и вредоносна в посевах пропашных культур. Корень стержневой, может произрастать в глубину на 135–230 см, имеет розово-свекольный оттенок. Стебель прямостоячий, высотой 20–150 см. Стебель светло-зеленого или красноватого цвета. Листья размещены поочередно, продолговатой или яйцевидно-ромбической формы. Цветки собраны в продолговатые, плотные метельчатые колосовидные соцветия, желтовато-зеленого цвета. Плод – блестящее, чечевицеобразное, сдавленное по бокам черное семя. Масса 1000 семян – до 0,4 г.

Встречаемость сорных растений в посевах кукурузы

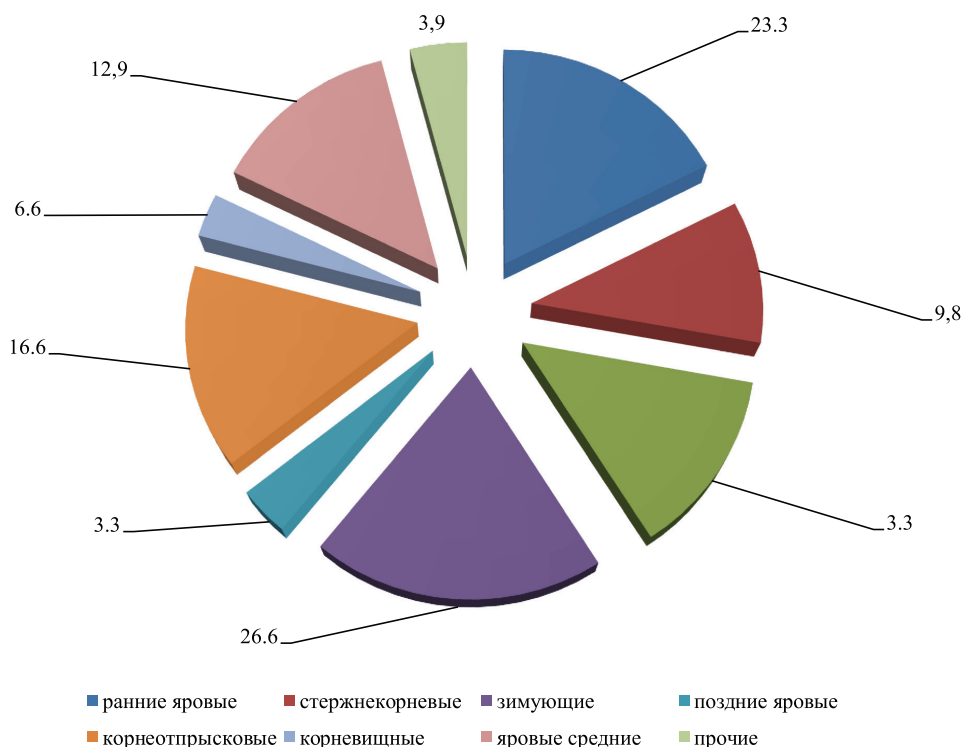
Название сорного растения		Встречае- мость, %
русское	латинское	
Малолетние, яровые ранние		
Галинсога мелкоцветная	<i>Galinsoga parviflora</i> (Cov.)	2,4
Горец вьюнковый	<i>Poligonum convolvulus</i> (L.)	2,0
Марь белая	<i>Chenopodium album</i> (L.)	5,2
Лебеда обыкновенная	<i>Atriplex calothtca</i> (Rafn)Fries	2,3
Ромашка душистая	<i>Digitaria sanguinatis</i> (L.)	4,7
Малолетние, яровые средние		
Амброзия полыннолистная	<i>Ambrosia artemisifolia</i> (L.)	6,3
Амброзия трехраздельная	<i>Ambrosia trifida</i> (L.)	1,3
Канатник Теофраста	<i>Abutilon theophrasti</i> (Medik.)	3,9
Малолетние, яровые поздние		
Просо куриное	<i>Panicum capullare</i> (L.)	7,2
Паслен черный	<i>Solanum nigrum</i> (L.)	1,3
Щирица запрокинутая	<i>Amaránthus retrofléxus</i> (L.)	3,0
Просо волосовидное	<i>Panicum vulgare</i> (L.)	1,0
Малолетние, зимующие		
Василек синий	<i>Centaurea cyanus</i> (L.)	1,5
Куколь обыкновенный	<i>Agrostemma gitago</i> (L.)	0,9
Мак самосейка	<i>Papaver rhoeas</i> (L.)	4,6
Мелколепестник канадский	<i>Erigeron canadensis</i> (L.)	6,3
Пастушья сумка	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.)	2,9
Ярутка полевая	<i>Thiaspi arvense</i> (L.)	2,6
Многолетние, корнеотпрысковые		
Вьюнок полевой	<i>Convolvulus arvensis</i> (L.)	9,4
Бодяк полевой	<i>Girsium arvensis</i> (L.)	4,6
Многолетние, стержнекорневые		
Дрема белая	<i>Melandrium album</i> (L.)	8,2
Щавель конский	<i>Rumex confertus</i> (Wild.)	1,6
Многолетние, корневищные		
Топинамбур	<i>Helianthus tuberosus</i> (L.)	2,3
Гумай	<i>Sorghum halepense</i> (L.)	6,5
Звездчатка средняя	<i>Stellaria media</i> (L.)	4,1
ПРОЧИЕ		3,9

Канатник Теофраста. Семядоли округлой или яйцевидной формы, расположены на опушенных черешках. Первые листья округло-яйцевидной формы, покрыты волосками, длиной до 30 мм, а шириной 28–32 мм. Гипокотиль зеленоватого цвета, слегка волосистый. Эпикотиль бархатистый и немного опушенный. Стебель прямостоячий, с мягкими волосками, в высоту достигает 40–250 см. Листья широкояйцевидные, зубчатые, у основания сердцевидной формы. Листья расположены на длинных черешках, которые покрыты волосками. Цветки расположены в пазухах листьев или собраны в соцветия. Плод представляет собой сложную листовку. Семена бывают двух форм – овалносердцевидные или поч-

ковидные, они имеют сероватый или коричневый цвет. Длина и ширина семян около 2,8–3,3 мм.

Оптимальная температура для прорастания семян +4°C. Цветение начинается с середины лета и продолжается до сентября. Всходы бывают в середине весны. Плодоносит с середины лета до поздней осени. Встречается в садах, на обочинах дорог, на полях, в огородах.

Свиной пальчатый. Многолетнее травянистое растение семейства злаковых с длинным ползучим корневищем и стелющимися наземными побегами. Стебли 10–50 см высоты, восходящие, разветвленные. Листья у свинороя плоские или слегка свернутые, 1–4 мм ширины, большей частью



Соотношение сорных растений в посевах кукурузы

волосистые, голубовато-зеленые. Соцветия в виде пучка из 3–8 колосовидных веточек 2–8 см длины, собранных пальчато на верхушках стеблей. Колоски мелкие, одноцветковые, сидят двумя рядами на одной стороне колосовидных веточек. Цветет свиной пальчатый в июне – августе.

Встречается свиной пальчатый на юге Европейской России, на Кавказе, редко на юго-западе Алтая. Растет на каменистых, мелкоземистых склонах, осыпях, приречных песках, галечниках, влажных солонцеватых лугах, у дорог, на полянах, выгонах, в виноградниках [2].

Ваточник сирийский. Ваточник сирийский представляет мощное многолетнее растение, имеющее 1,5–2 м в высоту. У прямого округлого или четырехгранного стебля супротивные яйцевидно-ланцетные листья 3–12 см шириной и 7–25 см длиной. Собранные сверху зонтичные соцветия образованы мелкими лилово-красноватыми или серовато-розовыми мелкими цветочками.

Цветение ваточника, а значит и медосбор, начинается в июле месяце и продолжается полтора месяца. На одном стебле можно найти от двух до восьми больших продолговатых стручков, внутри которых имеются центральные стержни, а вокруг плотно упакованные чубчики, пушистые

и белые с прикрепленными сплюснутыми семенами коричневого цвета.

В конце срока созревания стручок потрескается, а семена уносятся ветром на дальние расстояния, точь-в-точь как у одуванчиков. На глубине 5–15 см параллельно поверхности почвы от стержневого корня выходят в разные стороны корневища с побегами [1, 4].

Корни имеют неприятный запах, но на вкус сладковатые. При незначительном повреждении листьев, корней и стеблей ватника начинает выделяться млечный сок. Растение приживается к любой почве: как на сильнощелочной, так и сильнокислой земле.

Амброзия трехраздельная. Однолетнее травянистое растение, относится к ранним яровым сорнякам. Стебель прямой, бороздчатый, ветвистый, покрытый короткими и жесткими волосками. Высота стебля и размеры надземных органов сильно варьируют и составляют в высоту от 3 до 3,5 м, толщина стебля от 1 до 3,75 см. Корень мочковатый, листья супротивные, черешковые; трехраздельные.

Однодомное растение с мужскими и женскими цветками. Желтые мужские цветки в корзинку, собранных в кисти на верхушках растений (длина их – до 20 см), женские цветки в яйцевидной, сплюсненной у основания обертке, располагаются

в пазухах листьев или у основания соцветий по 2–3 вместе. Плод – обратно-яйцевидная ребристая семянка в обертке с ясно выраженным шипиком на верхушке и с 4–8 менее развитыми шипиками по краям. От боковых шипиков вниз к основанию идут выпуклые ребра. Цвет обертки от бледно-желтого до коричневого и бурого, иногда они пятнистые, на верхушке редкочешуевидные. Поверхность грубобороздчатая, ямчатая. Плоды-семянки плотно срастаются с оберткой и трудно от нее отделяются, поэтому в урожае встречаются только плоды в обертке. Последние значительно крупнее, чем у амброзии полыннолистной: длина от 8 до 13 мм, ширина от 3,5 до 6 мм, толщина от 2 до 4,5 мм. Размножается только семенами.

Распространяется с дождевыми и талыми водами, ветром, птицами, с колесами транспортных средств и др. В новые регионы семена заносятся с импортным семенным и продовольственным материалом, шротами, комбикормами, с сеном, соломой, в т.ч. с подстилкой в грузовых автомобилях, с рассадой и другой подкарантинной продукцией.

Марь белая. Листья, как правило, имеют ромбовидную форму, а по краям их украшают неострые зубчики. Название марь белая растение получило из-за своеобразного белого налета на листьях с обеих сторон. Цветет лебеда с конца июля по сентябрь. Соцветия ее метельчатые, их длина может составлять от 10 до 45 см. Одно растение способно дать за сезон около 100 тысяч

чрезвычайно живучих семян. Они сохраняют свою всхожесть после прохода через пищевод животных и птиц. Не теряют своих свойств и после долгого нахождения в почве в ожидании лучших условий для роста.

Марь белая – сорняк, требующий постоянного уничтожения в огородах и на сельскохозяйственных полях. Ведь скорость размножения у лебеды очень большая. При несвоевременно принятых мерах культурные посевы погибают. В высоту растение может достигать около метра, что создает затенение на огородных участках.

Таким образом, можно сделать вывод: в посевах кукурузы 59,4% малолетних сорняков и 36,7% многолетних.

Список литературы

1. Лунева Н.Н., Мыслик Е.Н. Эколого-географический подход в прогнозировании видового состава сорных растений // Защита и карантин растений. – 2014. – № 8. – С. 20–23.
2. Мыслик Е.Н. Анализ видового состава сорных растений Ленинградской области // Вестник защиты растений. – 2012. – № 4. – С. 68–70.
3. Оказова З.П. Вредность сорных растений посевов озимой пшеницы в лесостепной зоне Северного Кавказа // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4. – С. 70–73.
4. Оказова З.П. Потенциальный запас семян сорного компонента в зависимости от засоренности полевых культур степной зоны Северного Кавказа // Вестник АПК Ставрополя. – 2015. – № 4. – С. 242–244.
5. Палкина Т.А. Видовой состав сорных растений агроценозов картофеля при разных формах землепользования // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2011. – № 3. – С. 13–17.
6. Соколова Г.Ф., Соколова А.С. Видовой состав, питательная ценность сорных растений на залежных землях дельты Волги // Аграрный вестник Урала. – 2013. – № 4. – С. 66.

УДК 630*524.31

ОБЪЕМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ ЧЕРЕМУХИ МААКА

Полещук А.В., Гриднев А.Н.

ФГБУН «Горнотаежная станция им. В.Л. Комарова» ДВО РАН, Уссурийск, e-mail: gtsuss@mail.ru

В настоящее время в литературных источниках нет сведений об объемных характеристиках стволовой древесины черемухи Маака. Отсутствие нормативно-справочных материалов вносит определенные трудности при расчете запаса на единицу площади, особенно в лесопарковых зонах городов и поселков, где разрешена вырубка только сухостойных деревьев. Решение данного вопроса является актуальным особенно при организации рационального природопользования, воспроизводства и сохранения биоразнообразия в естественных и искусственных фитоценозах. Основной целью работы было составление нормативно-справочных материалов для ресурсной оценки запасов стволовой древесины черемухи Маака. Основное внимание в процессе исследований уделяли вопросам лесоводственного и лесотаксационного характера. При этом применяли методы маршрутных обследований с закладкой пробных площадей, на которых выполняли весь комплекс лесоводственных и таксационных работ. Экспериментальный материал представлен в количестве 65 учетных деревьев. В основу расчета шкалы разрядов высот положена обобщающая кривая связи высот и диаметров стволов всей совокупности обмеренных деревьев. Данная кривая рассчитывалась как среднеарифметическая замеров высот по всем ступеням толщины. В результате обработки модельных деревьев разработана шкала для определения разрядов высот древостоев. Определена доля коры в процентном выражении. Выявлено, что существенной разницы по выходу коры между разрядами высот нет, и они относятся к одной генеральной совокупности. Составлены объемные таблицы для стволов черемухи Маака. Установлено, что точность определения запаса находится в допустимых пределах $\pm 13\%$. Использование регрессионных уравнений позволяет значительно повысить производительность расчетных работ. Таблицы объемов для трёх разрядов высот могут использоваться в лесоустроительных работах и быть рекомендованы для применения научным сотрудникам и работникам лесного хозяйства при определении ресурсного потенциала и объемных характеристик деревьев черемухи Маака в естественных и культурных фитоценозах.

Ключевые слова: черемуха Маака, разряды высот, объемные таблицы

BY VOLUME DESCRIPTIONS OF BARREL WOOD PADUS MAACKII (RUPR.) KOM

Poleschuk A.V., Gridnev A.N.

Mountain-taiga station named after V.L. Komarov Far Eastern Branch of the Russian Academy of Science, Mountain-taiga station, Ussuriysk, e-mail: gtsuss@mail.ru

At the present time in the literature there is no information about the volumetric characteristics of stem wood of *Padus maackii*. The absence of legal reference materials makes certain difficulties in calculation of reserves per unit area, especially in the green areas of cities and towns, where felling is allowed only dead trees. The solution to this problem is relevant especially in the sustainable management, reproduction and conservation of biodiversity in natural and artificial phytocenoses. The main aim of this work was the development of the normative-reference materials for the resource reserves evaluation of the stem wood of *Padus maackii*. The focus of the research was given to forestry forest mensuration and nature. Used methods of route surveys in laying plots, which deliver the full range of silvicultural and forest inventory works. The experimental material presented in the amount of 65 account of the trees. The basis for the calculation of the scale of heights laid discharges the generalized curve when the heights and diameters of the trunks of the totality of the measured trees. This curve was calculated as the arithmetic mean of the measurements of the heights of all the steps of the thickness. The processing of model trees scale to determine the level heights of the forest. Determined the share of bark in percent. It is revealed that a significant difference in the yield of bark between the level heights, and they belong to the same population. Composed of three-dimensional tables to trunks of *Padus maackii*. It is established that the accuracy of determining the stock is within acceptable limits of $\pm 13\%$. The use of regression equations allows to significantly improve the performance of calculation works. Volume table for the three level heights can be used in forest inventory applications to be recommended for the use of researchers and foresters in determining the resource potential and volumetric characteristics of the trees *Padus maackii* in natural and cultural phytocenoses.

Keywords: bird cherry tree of Maaka, digits of heights, by volume tables

Черемуха Маака (*Padus maackii* (Rupr.) Kom.) распространена в Приморском и Хабаровском краях, в юго-восточных районах Амурской области. Вниз по Амуру доходит до Мариинска (Булавы), а на запад – до Буреинских гор. Растет одиночно и группами в долинах лесных горных рек и ручьев, преимущественно в их среднем и верхнем течении, часто у каменистых россыпей и скал. В горы поднимается до 800 м над ур. м. [10].

Черемуха Маака привлекает внимание лесоводов как вид, обладающий очень красивой древесиной розовато-коричневого цвета, мягкой, очень легкой, пригодной для производства фанеры и различных поделок. Древесина черемухи с ядром и заболонью состоит из сосудов, волокнистых трахеид, тяжелой и лучевой паренхимы. Ядро красновато-бурое или темно-красное, равномерно окрашенное или в полосах и пятнах

более светлых или темных оттенков. Годичные кольца и лучи заметные, просветы сосудов плохо различимы. Граница годичного кольца выражена отчетливо в виде полоски сплюснутых элементов (волокнистых трахеид, паренхимы и сосудов) в 1–3 слоя. Древесина рассеяннососудистая, с некоторой тенденцией к кольцесосудистости [7].

Данный вид широко используется в озеленении не только в ареале естественного произрастания, но и далеко за его пределами. Черемуха зимостойкая, светолюбивая, быстрорастущая, почти не повреждается насекомыми. Декоративна, особенно в аллейных посадках из-за хорошей очищаемости от сучьев, ровных прямых стволов с коричнево-красноватой или золотисто-бурой, блестящей корой. Ветви коричневые, молодые побеги опушенные. Дерево изящно выглядит круглый год, особенно весной во время цветения и осенью – при созревании плодов. Цветки белые, собранные в кисти длиной около 5 см, плоды – черные костянки. В лесу деревья черемухи, как правило, небольших размеров едва достигают 15–17 м высоты при диаметре на высоте груди 28–32 см, на открытых пространствах диаметр существенно возрастает, до 40–45 см.

В литературных источниках имеется достаточно сведений о дальневосточных видах рода *Padus* Mill. Тем не менее до настоящего времени нет данных, касающихся объемных характеристик стволовой древесины черемухи Маака. Отсутствие нормативно-справочных материалов вносит определенные трудности при расчете запаса на единицу площади, особенно в лесопарковых зонах городов и поселков, где разрешена вырубка только сухостойных деревьев. На наш взгляд, решение данного вопроса является своевременным и актуальным при организации рационального природопользования, воспроизводства и сохранения биоразнообразия в естественных и искусственных биогеоценозах Дальнего Востока.

Таким образом, при подготовке данного сообщения основной целью, которую ставили перед собой, было составление нормативно-справочных материалов для ресурсной оценки запасов стволовой древесины черемухи Маака.

Материалы и методы исследования

Полевые работы проводили в Хасанском, Уссурийском, Амурском и Чугуевском районах Приморского края. В работе были использованы литературные данные и полевые исследования, проведенные нами в 2010–2016 гг. Основное внимание в процессе исследований уделяли вопросам лесоводственного

и лесотаксационного характера. При этом применяли методы маршрутных обследований с закладкой пробных площадей (ПП), на которых выполняли весь комплекс лесоводственных и таксационных работ.

В качестве методической основы для построения объемных таблиц нами использовано руководство П.В. Горского [2] с дополнениями и изменениями, вытекающими из особенностей исследуемых древостоев [4, 5, 8]. Экспериментальный материал представлен в количестве 65 шт. учетных деревьев, из них 10 деревьев были срублены на анализ хода роста, 30 растущих деревьев были обмерены с помощью дендрометра «Такс-1» [1, 3], у остальных измеряли диаметр на высоте груди ($D_{гр}$) и высота дерева (H).

Опытные данные группированы по 2-сантиметровым ступеням толщины с учетом степени варьирования формы древесных стволов. Спиленные модельные деревья были раскряжеваны на одно или двухметровые отрубки в зависимости от длины ствола. На каждом отрубке обмерены диаметры в поперечном сечении в коре и без нее с точностью до 0,1 см. Общая длина ствола определена с точностью до 0,1 м. При обмере учетных деревьев дендрометром «Такс-1» длина секции произвольная, количество замеров (от 6 до 12) зависело от степени сбежистости ствола и его высоты.

Объем ствола дерева зависит от размеров (высоты и диаметра) и от формы ствола. На форму ствола дерева в лесу оказывают влияние многочисленные факторы как внутренней, так и внешней среды, учесть которые в полной мере – задача довольно трудная, а порой и невозможная. Основным показателем, характеризующим форму ствола, является сбеж, тесно связанный с полндревесностью. Для характеристики полндревесности стволов применены старые видовые числа, которые представляют собой отношение объема ствола к объему цилиндра, построенного по диаметру на высоте груди и имеющего со стволом общую высоту.

Результаты исследования и их обсуждение

В лесах Приморского края черемуха Маака отмечена нами в кленово-лещинных кедровниках с липой и дубом (К-VI), кленово-лещинно-грабовых кедровниках с липой и пихтой цельнолистной (К-VI гр), разнокустарниковых кедровниках с желтой берёзой (К-IV), кустарниково-разнотравных кедровниках с ильмом и ясенем (К-VII), в чернопихтарнике кленово-кедровом (Ч-V), в желтоберезовых смешанных лесах (БЖ-VI), Отдельные молодые экземпляры черемухи Маака встречаются в различных типах дубовых лесов. Таксационная характеристика некоторых типов леса приведена в табл. 1.

Камеральная обработка исходного материала начиналась с установления разрядов высот по соотношению диаметров на высоте груди с высотой стволов. В основу расчета шкалы разрядов высот положена обобщающая кривая связи высот и диаметров стволов всей совокупности обмеренных деревьев. Данная кривая рассчитывалась, как

среднеарифметическая замеров высот по всем ступеням толщины. Далее эти данные подверглись регрессионному анализу. По нашим данным, обобщающая кривая высот для стволов черемухи Маака выражается логарифмическим уравнением вида

$$y = a + b \lg x + c \lg^2 x, \quad (1)$$

где y – обобщающая высота ($H_{об}$), м; a , b , c – постоянные члены уравнения; $\lg$ – десятичный логарифм; x – аргумент уравнения, диаметр деревьев на высоте груди ($D_{вг}$), см.

В транскрипции для математической информатики уравнение обобщающей кривой для черемухи Маака имеет следующие параметры:

$$H_{об} = -14,681 + 29,79331 \cdot \log_{10}(D_{вг}) - 6,03537 \cdot (\log_{10}(D_{вг}))^2, \quad (2)$$

где $H_{об}$ – высота, м; $D_{вг}$ – диаметр на высоте груди (ступени толщины), см.

Уравнение рассчитано в интервале диаметров 6–36 см. Мера связи характеризуется корреляционным отношением $h = 0,563 \pm 0,19$, при этом стандартная ошибка уравнения составила $\pm 3,8$ м. Исходя из пределов высот, охватив всю зону рассеивания, была установлена шкала высот, включающая 3 разряда (табл. 2). Интервалы между смежными разрядами высот по модулю колебались от 0,9 м для низших ступеней толщины и до 1,6 м – для высших.

Пределы высот (H_{max} и H_{min}) по разрядам были выравнены аналитически, в результате регрессионного анализа получены уравнения показательного-степенной функции с экспонентой следующего вида:

$$y = ae^{bx} + c, \quad (3)$$

где y – пределы высот (H_{max} и H_{min}), м; a , b , c – постоянные члены уравнения; e – натуральное число; x – аргумент уравнения, диаметр деревьев на высоте груди ($D_{вг}$), см.

Таблица 1

Участие черемухи Маака в различных типах леса

Номер пробной площади	Географическое положение	Ярус	Состав древостоя	Возраст, лет	Число стволов	Полнота	Сумма площадей сечения, м ²	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Бонитет	Запас, м ³ /га
Акатниково-сиреневый ясеневник											
1	Средняя часть поймы р. Ивнячка, положение ровное, 120 м над ур. моря	1	6ЯЗБм1Ма + Лп,И, Бх, ед.Чм	50	354	0,6	15,96	24,0	15,0	II	118
Кустарниково-разнотравный кедровник с ильмом и ясенем (К-VII)											
2	Предпойменная терраса средней части бассейна р. Неженки	1	3КЗПц2И1Я1Лп + Ор,Бх	160–200	120	0,5	13,9	36,0	22,0	III	137,5
		2	4Кл2Кмн2П1Ма,ед Чм	80–100	340	0,3	15,3	24,0	17,0		125,8
			Итого:	460	0,8	29,1				263,3	
Кленово-лещинно-грабовый кедровник с липой и пихтой цельнолистной (К-VI гр)											
3	Верхняя часть ключа Артиллерийского, северо-восточный склон 1–2°, 178 м над ур. м. N – 43° 12' N – 131° 20'	1	3К2Пц2Лп1Д1Бм 1Чм ед.Я	100–130	163	0,3	9,47	32	20	III	138
		2	3Г2К2Пц2Лп1Км + Ч,ед.Я	70	72	0,2	3,72	12	10		17,5
			Итого:	235	0,5	13,2				155,5	

Примечание. Бх – бархат амурский (*Phelodendron amurense* Rupr.); Бм – береза маньчжурская (*Betula manshurica* Regel); Г – граб сердцелистный (*Carpinus cordata* Blume L); Д – дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.); Ид – ильм долинный (*Ulmus japonica* Rehd. Sarg.); К – кедр корейский (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc); Км – клен мелколистный (*Acer, mono* Maxim) Лп – липа амурская (*Tilia amurensis* Rupr.); Ма – маакия амурская (*Maackia amurensis* Rupr. et Maxim.); Пц – пихта цельнолистная (*A. holophylla* (Troutv) Maxim.); Чм – черемуха Маака (*P. maackii* Rupr. Kom.); Ч – черемуха Максимовича (*P. maximowiczii* (Rupr.) Sokolov); Я – ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.).

Таблица 2

Шкала для определения разрядов высот древостоев черемухи Маака

Ступени толщины, см	Разряды высот					
	I		II		III	
	$H_{\max}$, м	$H_{\min}$, м	$H_{\max}$, м	$H_{\min}$, м	$H_{\max}$, м	$H_{\min}$, м
6	6,5	5,5	5,4	4,5	4,4	3,5
8	9,0	7,8	7,7	6,6	6,5	5,4
10	10,9	9,6	9,5	8,3	8,2	7,0
12	12,4	11,1	11,0	9,7	9,6	8,3
14	13,6	12,2	12,1	10,8	10,7	9,4
16	14,6	13,2	13,1	11,8	11,7	10,4
18	15,4	14,0	13,9	12,6	12,5	11,2
20	16,1	14,7	14,6	13,2	13,1	11,8
22	16,7	15,2	15,1	13,8	13,7	12,4
24	17,2	15,7	15,6	14,3	14,2	12,9
26	17,6	16,2	16,1	14,7	14,6	13,4
28	18,0	16,5	16,4	15,1	15,0	13,7
30	18,3	16,9	16,8	15,5	15,4	14,1
32	18,6	17,2	17,1	15,8	15,7	14,4
34	18,9	17,4	17,3	16,0	15,9	14,7
36	19,1	17,7	17,6	16,3	16,2	14,9

Таблица 3

Параметры уравнения (3) для предельных значений шкалы разрядов высот по черемухе Маака

Разряды высот	Пределы толщины, см	Показатели высот	Ошибка уравнения	Константы уравнения	
				a	b
I	6–36	$H_{\max}^*$	$\pm 0,14$	23,75184	-7,80163
		$H_{\min}^*$	$\pm 0,14$	22,35651	-8,44521
II	6–36	$H_{\max}^{**}$	$\pm 0,14$	22,35651	-8,44521
		$H_{\min}^{**}$	$\pm 0,21$	21,07831	-9,30356
III	6–36	$H_{\max}^{**}$	$\pm 0,21$	21,07831	-9,30356
		$H_{\min}^*$	$\pm 0,35$	20,01535	-10,5183

Примечание: $H_{\max}$ – верхний предел высоты в разряде, м;

$H_{\min}$ – нижний предел высоты в разряде, м;

* – в уравнение (3) свободный член $c = 0$; ** – в уравнение (3) свободный член $c = -0,1$.

Параметры уравнений для разрядов высот, характеризующие пределы высот $H_{\max}$ и $H_{\min}$, приведены в табл. 3.

Наши исследования показали, что индексы корреляции по С.Н. Свалову [8] для уравнений, приведенных в табл. 2, отличаются незначительно (от 0,995 до 0,997), что говорит о сравнительно высокой степени близости эмпирических данных к аналитическим.

Вторым этапом камеральных работ являлось определение объемных характеристик учетных деревьев. Объем учетных деревьев определялся в коре у сваленных стволов по сложной формуле Губера, а у об-

меренных с помощью дендрометра – по сложной формуле средних сечений.

Полученные в результате расчетов объемы стволов по ступеням толщины были выравнены аналитически для каждого разряда высот. Регрессионный анализ показал, что лучшие параметры сглаживания имела показательно-степенная функция с экспонентой:

$$y = x^{be^{cx}}, \quad (4)$$

где y – объемы стволов (V), m^3 ; a , b , c – постоянные члены уравнения; e – натуральное число; x – аргумент уравнения, диаметр деревьев на высоте груди ($D_{гр}$), см.

Таблица 4

Параметры уравнения (4) зависимости объема стволов черемухи Маака от диаметра по разрядам высот

Разряды высот	Пределы толщины	Константы уравнения		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
I	6–36	0,000136	2,589833	–0,01586
II	6–36	0,0000734	2,849241	–0,03056
III	6–36	0,0000422	3,044232	–0,04019

Параметры уравнений, характеризующие объемы стволов по ступеням толщины в пределах разрядов высот, приведены в табл. 4.

Индексы корреляции для уравнений, приведенных в табл. 2, отличаются незначительно (от 0,995 до 0,998), что говорит о сравнительно высокой степени близости эмпирических данных к аналитическим.

Кроме объема стволов черемухи Маака нами была определена доля коры в процентном выражении. Процент коры, полученный как разность объемов в коре и без коры, отнесенная к объему ствола в коре. В результате дисперсионного анализа установлено, что существенной разницы по выходу коры между разрядами высот нет и они относятся к одной генеральной совокупности. Данный вывод с вероятностью 0,95 базируется на фактических показателях критерия Стьюдента (t_{ϕ}), которые для большинства ступеней толщины оказались меньше их стандартного значения (t_{st}).

В результате регрессионного анализа для характеристики доли коры была подо-

брана гиперболическая функция, имеющая следующий вид:

$$y = a + b/x, \quad (5)$$

где y – доля коры от объема ствола в коре (V), %; a , b – постоянные члены уравнения; x – аргумент уравнения, ступени толщины ($D_{\text{вт}}$), см.

В интерпретации математической информатики данное уравнение (5) для черемухи Маака имеет следующие параметры:

$$P_{\kappa} = 4,713458 + 159,2251/D_{\text{вт}}, \quad (6)$$

где P_{κ} – процент коры, %; $D_{\text{вт}}$ – ступени толщины, см.

Сходность вычисленных по уравнениям величин процентного содержания коры с экспериментальными значениями оказалась достаточно близкой к единице (индекс корреляции равен 0,988).

Аппроксимированные данные объемов стволов по уравнениям (табл. 4) и данные по доле коры, рассчитанные по формулам (4)–(6), сведены в табл. 5.

Таблица 5

Объемы стволов черемухи Маака по разрядам высот

Ступени толщины, см	Разряды высот			Доля коры, %
	I	II	III	
	объемы стволов, м³			
6	0,0128	0,0101	0,0077	31
8	0,0261	0,0215	0,0172	25
10	0,0451	0,0382	0,0312	21
12	0,0701	0,0604	0,0502	18
14	0,1012	0,0882	0,0741	16
16	0,1385	0,1214	0,1026	15
18	0,1821	0,1597	0,1355	14
20	0,2317	0,2028	0,1724	13
22	0,2873	0,2504	0,2126	12
24	0,3487	0,3018	0,2557	11
26	0,4156	0,3566	0,3010	11
28	0,4879	0,4143	0,3481	10
30	0,5651	0,4744	0,3963	10
32	0,6471	0,5364	0,4450	10
34	0,7334	0,5997	0,4939	9
36	0,8239	0,6640	0,5424	9

Заключение

Составленные объемные таблицы для стволов черемухи Маака подверглись проверке, которая показала, что точность определения запаса находится в допустимых пределах. Так, ошибка в определении запаса составила $\pm 13\%$; при проверке за эталон брался запас, определенный по модельным деревьям. Использование регрессионных уравнений позволит значительно повысить производительность расчетных работ при оценке древесных ресурсов насаждений с участием черемухи Маака. Таблицы объемов для трёх разрядов высот могут использоваться в лесоустроительных работах и быть рекомендованы для применения научным сотрудникам и работникам лесного хозяйства при определении ресурсного потенциала и объемных характеристик деревьев черемухи Маака в естественных и культурных фитоценозах.

Список литературы

1. А.с. 1698635 (СССР). Дендрометр / А.Н. Гриднев. – Оpubл. в Б.И., 1991, № 46. – 4 с.
2. Горский П.В. Руководство для составления таблиц / П.В. Горский. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 95 с.
3. Гриднев А.Н. О совершенствовании измерительной техники в лесоводственно-таксационных исследованиях // Перспективы и методы повышения эффективности многоцелевого лесопользования на Дальнем Востоке: материалы регион. конф., Хабаровск, февраль 2004 г. – Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2004. – С. 84–87.
4. Гриднев А.Н. Объемные таблицы для линейных насаждений ильма приземистого // Биологические исследования на Горнотазежной станции: сборник научных трудов. – Владивосток: ГТС ДВО РАН, 2008. – Вып. 11. – С. 117–127.
5. Гриднев А.Н. Объемные таблицы пихты цельнолистной в Приморском крае // Лесное хозяйство. – 2010. – № 4. – С. 41–42.
6. Гусев И.И. Методика построения шкалы разрядов высот // Лесной журнал. – 1971. – № 6. – С. 137–138 (Известия высших учебных заведений).
7. Деревья и кустарники СССР. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. – Т. 3. – С. 758–774.
8. Полещук В.А. Объемные таблицы мааки амурской в Приморском крае / В.А. Полещук, А.Н. Гриднев // Лесное хозяйство. – 2011. – № 2. – С. 42–43.
9. Свалов С.Н. Применение статистических методов в лесоводстве // Итоги науки и техники (Серия Лесоведение и лесоводство). – М.: ВИНТИ, 1985. – Т.4. – 164 с.
10. Усенко Н.В. Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока: справочная книга; под. общ. редакц. С.Д. Шлотгауэр. – 3-е изд. перер. и доп. – Хабаровск: Изд. дом «Приамурские ведомости», 2010. – С. 133–134.

УДК 631.445.4:631.432.3(470.61)

УСТАНОВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ОБЛЕСЁННОСТИ ПАШНИ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ

Полужтков Е.В., Таран Ю.А., Ерёменко А.В.

*Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова,
ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», Новочеркасск, e-mail: star-good@yandex.ru*

Интенсивность развития эрозии на склоновых землях Юга европейской территории России во многом определяется системой лесных полос, расстояние между которыми является одной из основных системообразующих связей, определяющей такие показатели, как защищённость территории лесными насаждениями, и общую облесённость пашни. Обычно расстояние между лесными полосами на склонах рассчитывается исходя из его крутизны, стока талых и дождевых вод, определённой обеспеченности, противоэрозионной устойчивости почвы и других показателей. Исследования, проведённые на чернозёмах обыкновенных ложбинно-балочном типе агроландшафта, на поле с системой лесных полос (облесённость пашни 7,8%) и контрольном участке (без лесных насаждений), показали, что смыв почвы на зяби во время стока талых вод (2014 г.) в первом случае составил 2,6–3,4 т/га, а на контрольном участке – 18,7–21,3 т/га. В период выпадения ливневых дождей (2013–2014 гг.) смыв почвы на посевах подсолнечника на склоне 3,5–4,00 с системой лесных полос чуть превысил 3 т/га, а на поле без лесных полос смыв составил 13,2 т/га. Ещё более значительный смыв почвы имел место на чистом пару (контрольный участок – 35,8 т/га, экспериментальный – в 6,9 раза меньше). Расчёт научно обоснованной облесённости пашни к уже существующей схеме заложенных лесных полос по рекомендациям ВНИАЛМИ и специалистов агролесомелиораторов осуществлялся по методике ВНИИЗиЗПЭ. Он показал, что расчётное и реальное значения показателей близки между собой и равны соответственно 8,3 и 7,8%. Именно такой показатель облесённости пашни на ложбинно-балочном типе агроландшафта обеспечивает высокий почвозащитный эффект.

Ключевые слова: эрозия, Юг европейской территории России, лесные полосы, пашня

ESTABLISHMENT OF OPTIMAL AFFORESTATION FOR A PLOUGHED FIELD ON SLOPE LANDS OF THE STEPPE ZONE

Poluektov E.V., Taran Yu.A., Eryomenko A.V.

*Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute, Don State Agrarian University,
Novocherkassk, e-mail: star-good@yandex.ru*

Intensity of development of an erosion on slope lands of the South of the European territory of Russia in many respects is defined by system of forest strips, between which distance is one of the main backbone communications determining such indicators as security of the territory by forest plantings and forestation of a ploughed field. Usually, the distance between forest strips on slopes pays off proceeding from his steepness, a drain of thawed and rain snow, a certain security, antierosion stability of the soil and other indicators. Studies carried out on common chernozems for the hollow and gully type of agrolandscape in the field with the system of forest strips (ploughed field afforestation is 7,8%) as well as in the control field (with no forest strips) showed that the soil washout on the fall-plowed land during meltwater runoff (2014) was 2,6 and 3,4 t/ha – for the first case while for the control field it was 18,7–21,3 t/ha. During the period of storm rains (2013–2014) the soil washout for sunflower crops on 3,5–4,00 slopes with the system of forest strips hardly exceeded 3 t/ha while on the field without forest strips it was 13,2 t/ha. Even more considerable soil washout took place on the bare fallow (the control plot is 35,8 t/ha, the experimental one is as less as – 6,9 times). Computation of science-based afforestation of a ploughed field to already existing scheme of forest strips laid by recommendations of both VNIALMI and specialists agroforesters was realized according to VNIIZ and ZPE methodology. It showed that computed and real values of indices were similar – 8,3 and 7,8%, correspondingly. It is such index of a ploughed field afforestation on hollow and gully type of agrolandscape that secures high soil-protective effect.

Keywords: erosion, South of the European territory of Russia, forest strips, field

Одной из основных системообразующих связей между лесными полосами является расстояние друг от друга. От этого зависят такие важные показатели, как защищённость территории лесными насаждениями, облесённость пашни и в целом сельскохозяйственных угодий, которые в конечном итоге определяют интенсивность развития эрозионных процессов. Обычно расстояние между лесными полосами на склонах рассчитывается исходя из его крутизны, стока талых и дождевых вод, определённой

обеспеченности, противоэрозионной устойчивости почвы и других показателей [1, 5, 6].

Исходя из этого, определённый интерес представляет сопоставление расчёта облесённости пашни при закладке лесных полос по вышеуказанным методикам с методикой ВНИИЗиЗПЭ по оптимальному соотношению сельскохозяйственных угодий [4]. С этой целью на чернозёмах обыкновенных Ростовской области в зоне умеренной, местами сильной эрозии и дефляции были

подобраны опытные участки на склоновых землях (ложбинно-балочный тип агроландшафта). Лесные полосы на одном из участков были заложены в 1990 г. сеянцами робинии ложноакациевой. Согласно расчётам по методике ВНИИАЛМИ и В.М. Иволина расстояние между ними на склонах 1,5–1,8° составило 320 м, на склонах крутизной 3,5–4,0° – 240 м.

Исследования на опытных участках проводились в период с 2012 по 2015 г., когда защищённость пашни на поле с лесными полосами составила 100%. Схема опыта включала три фактора: фактор *a* – наличие или отсутствие системы лесных насаждений, фактор *b* – степень эродированности почвы (слабо- и среднеэродированные); фактор *c* – различные способы основной обработки почвы (отвальная и безотвальная).

Схема опыта представлена в табл. 1.

В период с 2012 по 2015 г. на исследуемых участках, согласно схеме севооборота, чередовались следующие сельскохозяйственные культуры и агрофоны: яровой ячмень – подсолнечник – чистый (черный) пар – озимая пшеница. Основная обработка почвы под яровой ячмень на участке с лесными полосами осуществлялась чизелем на глубину 20–22 см и плугом ПН-4-35 на такую же глубину согласно схеме опыта; под подсолнечник соответственно чизелем и плугом на глубину 23–25 см и под черный пар чизелем на глубину 27–29 см и плугом на такую же глубину. Все остальные технологические операции проводились согласно рекомендациям, изложенным в Зональных системах земледелия Ростовской области 2007 г., 2013 г.

На 1.09.2012 г. структура сельскохозяйственных угодий на опытных участках вы-

глядела следующим образом: на поле без лесных полос на долю пашни приходилось 97,2%, на лесную полосу в самой верхней точке участка 1,9% и под дорогами занято 0,9% от общей площади. На поле с системой лесных полос под пашней занято 91,1% общей площади, лесными полосами и дорогами 7,8 и 1,1% соответственно.

Согласно представленным данным, и в том и в другом случае оценка состояния агроландшафта по количеству пашни с формальной точки зрения характеризуется как сильноразрушающая [2]. Вместе с тем, как показали наши исследования, данная оценка может быть справедливой только лишь к участку без лесных полос. Наличие одной-единственной ветроломной лесной полосы, заложенной в начале 1980-х гг., не оказывает практически никакого влияния на прилегающую территорию. Наблюдения с 2012 по 2015 годы за процессами эрозии показали, что сток талых вод имел место в 2014 году, а ливневых вод в летний период 2013 и 2014 года.

Глубина промерзания почвы на участке без лесных полос в 2013–2014 гг. составила 43–45 см, что связано с частыми оттепелями во время зимы, прерываемыми резким понижением температуры. На 5–6 см меньше была глубина промерзания почвы на участке с системой лесных полос, что связано с равномерным перераспределением и задержанием части переносимого ветром снега. Здесь его мощность была на 8–9 см больше.

Поверхностный сток слабой интенсивности, после целого месяца морозной погоды, сформировался в конце февраля после продолжительной оттепели и выпадения жидких осадков. Запасы влаги в снеге на

Таблица 1

Схема многофакторного опыта по изучению комплекса лесных насаждений в сочетании с почвозащитными агротехнологиями

Фактор <i>a</i>	Фактор <i>b</i>	Фактор <i>c</i>
1. Участок без лесных полос	1.1. Слабоэродированные почвы	1.1.1. Отвальная система обработки почвы
		1.1.2. Безотвальная (чизельная) система обработки почвы
	1.2. Среднеэродированные почвы	1.2.1. Отвальная система обработки почвы
		1.2.2. Безотвальная (чизельная) система обработки почвы
2. Участок с системой лесных полос	2.1. Слабоэродированные почвы	2.1.1. Отвальная система обработки почвы
		2.1.2. Безотвальная (чизельная) система обработки почвы
	2.2. Среднеэродированные почвы	2.2.1. Отвальная система обработки почвы
		2.2.2. Безотвальная (чизельная) система обработки почвы

этот период составляли на поле без системы почвозащитных мероприятий 39–43 мм, на поле с лесными полосами 64–65 мм и в самой лесной полосе свыше 85 мм.

Особенности снегоотложения на поле с лесными полосами предопределили специфику таяния снега. Сначала снег интенсивно таял в центре межполосного пространства, значительно позже – в шлейфовой зоне лесных полос. Это определило условия прохождения стока талых вод и проявление процесса смыва – аккумуляции почв в разных зонах межполосного пространства. Так, на склоне крутизной до 2° в поглощении поверхностного стока активно участвовали лесные полосы. Если и возникали незначительные струи поверхностного стока, то они гасились и поглощались стерневым фоном безотвальной обработки, где величина водопроницаемости была в 1,7–1,9 раза выше, чем по фону отвальной вспашки.

Незначительный сток талых и дождевых вод наблюдался в нижней части склона (3,5–4,0°). Вероятно, это было связано с тем, что интенсивное снеготаяние в сочетании с большими запасами воды в снеге усилили водоотдачу из снега, это превысило величину водопроницаемости почвы на зяби – 0,28 мм/мин. Смыв почвы по вспашке составил 2,5 т/га, а по фону чизельной обработки на 0,8 т меньше. Вся смытая почва аккумулировалась в снежном шлейфе прибалочной лесной полосы.

Очередная волна холода погасила развитие эрозионных процессов, а постепенное нарастание температур в дальнейшем обеспечило равномерный сход снега с полей.

Несколько иная картина наблюдалась на опытном участке по отвальной вспашке. Здесь, несмотря на меньшие запасы воды в снеге (на 21–25 мм) интенсивность эрозионных процессов нарастала от верхней части склона к его подножию. Если на склонах 1,5–1,8° имел место плоскостной смыв слабой интенсивности (4,3 т/га), то в нижней части склона он переходил в струйчатый размыв – больше 21 т/га. На варианте чизельной обработки смыв на слабоэродированной почве составил 3,6 т/га, а на среднеэродированной – 18,2 т/га. В последующие годы наблюдений стока талых вод и смыва почвы в период снеготаяния не наблюдалось.

Несколько в ином плане проявлялись эрозионные процессы при выпадении ливневых дождей. В наибольшей степени процессам эрозии при выпадении ливневых дождей подвержены почвы под чистым паром, пропашными культурами, т.е. там, где растительность либо отсутствует, либо находится в недостаточном количестве.

За время проведения исследований ливни, вызвавшие смыв почвы, выпадали в июне 2013 года суммой 29,5 мм и интенсивностью 1,45 мм/мин, когда на участках возделывался подсолнечник, и в июле 2014 г. (сумма осадков 26 мм, интенсивность дождя 1,35 мм/мин), когда поле находилось под чистым паром. В 2013 г. на обоих участках возделывался подсолнечник. И в том и в другом случае стерни и растительных остатков по варианту чизельной обработки было мало – до 10–25% от исходного количества. Их роль в предотвращении смыва была минимальная.

Таблица 2

Смыв почвы талыми водам на зяби по вариантам опыта (2014 г.)

Фактор <i>a</i>	Фактор <i>b</i>	Фактор <i>c</i>	Смыв почвы, т/га
Участок без лесных полос	Слабоэродированные почвы	Отвальная обработка	4,3
		Чизельная обработка	3,6
	Среднеэродированные почвы	Отвальная обработка	21,3
		Чизельная обработка	18,7
Участок с лесными полосами	Слабоэродированные почвы	Отвальная обработка	не было
		Чизельная обработка	не было
	Среднеэродированные почвы	Отвальная обработка	3,4
		Чизельная обработка	2,6

Таблица 3

Смыв почвы ливневыми водами по вариантам опыта (2014 г.)

Фактор <i>a</i>	Фактор <i>b</i>	Фактор <i>c</i>	Смыв почвы, т/га
Подсолнечник (2013 г.)			
Участок без лесных полос	Слабоэродированные почвы	Отвальная обработка	3,4
		Чизельная обработка	3,2
	Среднеэродированные почвы	Отвальная обработка	13,2
		Чизельная обработка	12,8
Участок с лесными полосами	Слабоэродированные почвы	Отвальная обработка	не было
		Чизельная обработка	не было
	Среднеэродированные почвы	Отвальная обработка	3,1
		Чизельная обработка	2,4
Чистый пар (2014 г.)			
Участок без лесных полос	Слабоэродированные почвы	Отвальная обработка	6,5
		Чизельная обработка	6,3
	Среднеэродированные почвы	Отвальная обработка	36,2
		Чизельная обработка	35,8
Участок с лесными полосами	Слабоэродированные почвы	Отвальная обработка	1,9
		Чизельная обработка	1,7
	Среднеэродированные почвы	Отвальная обработка	5,2
		Чизельная обработка	4,9

Растения находились в фазе двух листьев, величина проективного покрытия поверхности почвы растениями на поле сплошного размещения составила 10–12%, а на поле с лесными полосами 15–16%. Данное обстоятельство сыграло положительную роль в предотвращении величины смыва почвы. На поле без лесных полос интенсивность смыва нарастала по мере увеличения крутизны склона от 3,4 т/га на склоне 1,5–1,8° до 12,8–14,6 т/га на склоне 3,5–4,0°, или на каждые полградуса падения склона величина смыва увеличивалась в среднем на 2 т/га. На поле с системой лесных полос при крутизне склона 1,5–1,8° смыва практически не наблюдалось. И только лишь в нижней части склона (3,5–4,0°) смыв почвы составил 2,4 т/га.

Отсутствие каких-либо почвозащитных мероприятий при сплошном размещении чистого пара привело к потере более 6 тонн почвы с гектара на склонах 1,5–1,8° и 36 тонн на склонах в 3,5–4,0°. Вся эта почва транзитом по овражно-балочной сети оседала в пруду, расположенном ниже поля в балке.

Совсем другая картина наблюдалась на экспериментальном участке. К этому периоду высота деревьев в лесных полосах достигла 9–10 м. Все межполосное пространство находилось в зоне мелиоративного влияния лесных полос, что в определённой степени усилило противозрозионную устойчивость почвы. Стокорегулирующие

лесные полосы служили барьером на пути образовавшихся потоков, деконцентрируя их и резко снижая скорость воды. Сформировавшийся сток ливневых вод поглощался лесной полосой. В силу указанных причин величина смыва почвы в верхней части поля при крутизне склона 1,5–1,8° составила 1,1 т/га, а в нижней части поля при крутизне 3,5–4° – 5,2 т/га. При этом следует оговориться, что вся смываемая ливнем почва оседала в прибалочной лесной полосе.

Таким образом, даже 90% распаханности поля не является тем основным критерием, который будет оценивать агроландшафт как разрушающий. В данном случае не количество пашни в агроландшафте определяет её устойчивость к деградационным процессам, а насыщенность мелиоративными (почвозащитными) технологиями, приёмами, мероприятиями.

С целью научно обоснованного определения облесённости пашни в агроландшафте было решено воспользоваться «Методикой определения оптимального соотношения на биоэнергетической основе» (2005 г.), разработанной ВНИИЗиЗПЭ (г. Курск). Для чего на участках с лесными полосами и без них проводились исследования по учёту содержания запасов энергии в различных типах растительности, данных по запасу и приросту (урожайности) фитомассы (надземной и подземной), содержанию и запасам гумуса в почве. После проведения необходимых расчётов были

сопоставлены данные сельскохозяйственных угодий (в нашем случае пашня и лесные полосы), полученные расчётным путём с реальным положением дел. Они оказались достаточно близки по значениям (табл. 4).

Таблица 4
Характеристика участка с системой почвозащитных мероприятий

Доля пашни, %		Доля лесных насаждений, %	
Расчётное	Реальное	Расчётное	Реальное
91,7	91,1	8,3	7,8

Доля пашни (расчётное и реальное значения) различаются десятыми долями процентов. Близки также значения по облесённости пашни. Это указывает на то, что размещение лесных полос, которое основывалось на расчёте межполосного расстояния по методике В.М. Ивонина (1983) и др., и расчёты по оптимальной облесённости по методике ВНИИЗиЗПЭ очень близки между собой. На основании полученных результатов можно с уверенностью утверждать, что методические указания по определению оптимальности сельскохозяйственных угодий могут быть базовой основой для расчёта облесённости пашни для конкретных типов агроландшафтов.

Касаясь конкретного участка с системой лесных полос, можно отметить, что разделение эрозионно опасной территории лесными насаждениями позволило выделить однородные по плодородию и микроклиматическим показателям рабочие участки площадью 19,5–29,9 га, которые можно использовать как единое поле (в нашем случае), так и для возделывания разных культур. В целях повышения плодородия нижней

части склона, представленного средне-эродированной разновидностью чернозёма обыкновенного, лучше было бы временно отвести его под посев многолетних трав. Это позволило практически свести до минимума эрозионные процессы и восстановить плодородие почвы.

Что касается поля без лесных полос, то его дальнейшее использование в прежнем режиме через 20–30 лет, с учётом интенсивности развития эрозионных процессов, приведёт к увеличению доли средне- и сильно-эродированных почв до 60–70% от общей площади. В этой связи неизбежно падение продуктивности сельскохозяйственных культур на 20–40%, т.е., чтобы поднять урожайность до уровня поля с системой почвозащитных мероприятий, основанной на оптимальности соотношения средостабилизирующих и средоразрушающих угодий, необходимо вкладывать средства в 2–4 раза больше, чем на поле с системой почвозащитных мероприятий.

Список литературы

1. Зональные системы земледелия Ростовской области на 2013–2018 гг. – Ростов н/Д, 2013. – 323 с.
2. Ивонин В.М. Агроресомелиорация разрушенных оврагами склонов. – М.: Колос, 1983. – 174 с.
3. Лопырев М.И. Экологизация земледелия на ландшафтной основе. – Воронеж: Полиарт, 2014. – 128 с.
4. Методика определения оптимального соотношения земельных угодий для агроландшафтов лесостепи ЦЧЗ на биоэнергетической основе / ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии РАСХН; сост.: Р.Ф. Еремина, Н.П. Матусенко; сост. справ. материалов: Н.А. Чуян, С.С. Машенко. – Курск, 2005. – 39 с.
5. Павловский Е.С. Зоны влияния лесных полос и земледелие / Е.С. Павловский, М.М. Лазарев // Научные труды ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1988. – Вып. 2 (94). – С. 5–14.
6. Проектирование и создание противоэрозионных и водоохранных мероприятий на водосбросах: рекомендации / Н.П. Калинин, А.П. Никитин, И.Г. Зыков, Н.Н. Приходько. – М.: Агропромиздат, 1990. – 32 с.

УДК 631.86 (476)

**ВЛИЯНИЕ ВЕРМИКОМПОСТА НА УРОЖАЙНОСТЬ ОГУРЦА
В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ****¹Степанова Д.И., ²Абрамов А.Ф., ¹Григорьев М.Ф.**¹ФГБОУ ВО «Якутская государственная сельскохозяйственная академия»,

Якутск, e-mail: prof@sakha.ru;

²ФГБНУ «Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

Якутск, e-mail: yniicx@mail.ru

В статье представлены результаты исследования различных биоудобрений (вермикомпостов), в условиях защищенного грунта в Центральной Якутии. Работа была выполнена на базе учебного хозяйства Карапатцы Октемского филиала ФГБОУ ВПО «Якутская государственная сельскохозяйственная академия», анализы почвы и плодов были исследованы в лаборатории массового анализа в ФГБНУ «Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства». Для проведения опытов по эффективности местных биоудобрений при выращивании огурцов был подобран районированный сорт «Апрельский». Нами доказана эффективность внесения малых доз вермикомпостов на разных субстратах. В качестве вариантов биоудобрений использованы: вермикомпост на основе навоза крупного рогатого скота в дозах 50, 100, 150, 200 г в лунку; вермикопост на основе птичьего помета в дозах 100 и 200 г, в лунку; а также биопрепарат «Байкал» и вариант данного препарата с навозом крупного рогатого скота; жидкий вермичай. В результате исследований выявлена оптимальная норма варианта биоудобрения, это вермикомпост на основе навоза крупного рогатого скота в дозе 150 г в лунку, обеспечивающий повышение продуктивности огурца на 63 % по сравнению с контролем. При этом средний вес одного огурца составил 300 г. Также установлено, что увеличение нормы внесения вермикомпостов не приводит к существенному увеличению урожайности огурца. Полученные данные подтверждают необходимость применения биогумуса в качестве почвоулучшателя и повышения почвенного плодородия. Данные исследования положительно характеризуют вермикомпосты местного производства и обеспечивают устойчивый урожай.

Ключевые слова: вермикомпост, птичий помет, навоз, удобрения**EFFECT OF VERMICOMPOST ON THE PRODUCTIVITY OF CUCUMBER
IN THE CONDITIONS THE PROTECTED GROUND OF CENTRAL YAKUTIA****¹Stepanova D.I., ²Abramov A.F., ¹Grigorev M.F.**¹Yakutsk State Agricultural Academy, Yakutsk, e-mail: prof@sakha.ru;²Yakutsk Research Institute of Agriculture, Yakutsk, e-mail: yniicx@mail.ru

The article presents the results of a study of different bio-fertilizers (vermicomposts), under the conditions protected ground in Central Yakutia. The work was done on the basis of farm Karapattsy Oktemskogo branch VPO «Yakut State Agricultural Academy», analyzes of the soil and fruits of have been studied in the laboratory of mass analysis FGBNU «Yakut Research Institute of Agriculture». For carrying out experiments on the effectiveness of local bio-fertilizer at cultivation cucumbers was picked recognized varieties of «April». We have proved the effectiveness of introducing small doses vermicomposts on different substrates. As an biofertilizers used variants: vermicompost based on cattle manure in doses of 50, 100, 150, 200 grams per hole; vermicopost based on poultry manure in doses of 100 and 200 grams in the hole; as well as biological preparation «Baikal» and a version of the drug with the manure of cattle; vermichay liquid. A result of investigations showed optimum norm of biofertilizer variant, it was based on vermicompost cattle manure in a dose of 150 grams per hole, cucumber providing increased productivity by 63 % compared with the control. Wherein the mean weight of a single cucumber was to 300 grams. Also found to that increasing the application rates vermicomposts does not significantly increase productivity of cucumber. The data obtained confirm the need for the use of vermicompost as a soil improver and increasing soil fertility. The research show a positive local production of vermicompost and provide a stable yield.

Keywords: vermicompost, bird droppings, manure, fertilizer

В условиях защищенного грунта необходимо ежегодное внесение органического вещества для восстановления тепличной почвосмеси [10]. Плодородие почв, тесно связанное с количеством гумуса, создается огромными материальными и экономическими затратами [9, 10]. Технология выращивания овощных культур требует регулярного обновления тепличной почвосмеси внесением перегноя, навоза, опада, и т.п. [7, 10]. Следует отметить, что природноклиматические условия Центральной Якутии

не позволяют в полной мере воспользоваться внесенными удобрениями в неотапливаемых теплицах [2].

В неотапливаемых теплицах Центральной Якутии обычно недостаточно тепла для активации микробиоты почв, поэтому необходимо вносить уже готовый состав микроорганизмов, связующий все вещества в составе почвогрунта. Характерной особенностью влияния вермикомпостов на качество товарной продукции тепличных овощей является повышение содержания

сухого вещества, витамина С и снижение нитратов. Наилучшие показатели качества плодов отмечены в варианте с дозой 100 г вермикомпоста. В них содержалось сухого вещества – 3,8 %, витамина С – 19,3 мг %, нитратов – 106 мг/кг, т.е. полученная продукция соответствовала гигиеническим нормативам. Относясь к экологически безопасным удобрениям, вермикомпосты в то же время являются хорошим профилактическим средством, позволяющим существенно снизить заболеваемость растений. Учет поражения огурца грибными болезнями в период массового плодоношения показал, что применение возрастающих доз вермикомпоста снижало средний балл поражения растений корневыми гнилями с 0,15 на контроле до 0,06 по дозе 100 г, аскохитозом – с 0,35 до 0,18, плодов огурца оливковой пятнистостью – с 0,52 до 0,2. Положительное влияние вермикомпоста на снижение заболеваемости

растений проявлялось в течение всего периода вегетации. В вермикомпостах по сравнению с исходным сырьем возрастает минеральная часть при снижении общего количества органической составляющей (табл. 1) [12].

Вермикомпост при этом содержал $42,0 \cdot 10^6$ КОЕ/г [12]. Микробиологические исследования приведены в табл. 2.

В контрольном варианте без удобрения преобладали грибы на среде Чапека – 1,64 млн. При внесении вермикомпоста на основе навоза КРС количество микроорганизмов доходило до $1,6 \cdot 10^6$ КОЕ/г (76,2%). При внесении в тепличную почвосмесь вермикомпоста из птичьего помета грибное сообщество насчитывало 3,2 млн КОЕ/г, что составляет 59,3% от общего количества микроорганизмов. Внесение биопрепарата «Байкал ЭМ-1» повысило число микроорганизмов на среде МПА – $2,5 \cdot 10^6$ КОЕ/г (55,5%), в среде Чапека – $2 \cdot 10^6$ КОЕ/г (44,5%) [12].

Таблица 1

Химический состав органических удобрений

Показатели	Навоз крупного рогатого скота	Вермикомпост на основе навоза КРС
Влажность	67–82	54
рН	6,9	7,0
Содержание в сухом веществе:		
Азот общий, %	1,5	2,0
Азот аммонийный, %	–	0,6–1,3
Азот нитратный, %	–	0,1–1,0
Фосфор общий (P_2O_5), %	0,5–1,1	0,6–1,5
Калий общий (K_2O), %	0,5–2,9	0,6–1,3
Органическое вещество, %	48	34
Отношение C:N	16	9
Cu, мг/кг	4	3
Cd, мг/кг	0,8	0,3
Pb, мг/кг	2,6	1,5
Ni, мг/кг	14	
Zn, мг/кг	126	32

Таблица 2

Влияние вермикомпостов на микробиологическую активность ТПС

Варианты опыта	Количество микроорганизмов, КОЕ/г		Общее количество микроорганизмов, КОЕ/г	
	МПА	Чапека	в опытах	при полной репродукции, КОЕ/г
Контроль	0,65	0,45	2,1	$44,1 \cdot 10^6$
ТПС + ВК из навоза КРС 100 г/раст.	1,60	1,64	2,3	$48,3 \cdot 10^6$
ТПС + ВК из помета 100 г/раст.	2,2	3,2	5,4	$113,4 \cdot 10^6$
Биопрепарат	2,5	2,0	4,5	$94,5 \cdot 10^6$

Свежий навоз нельзя вносить в почву без подготовки, поэтому органические удобрения необходимо компостировать [7, 9]. Навоз животных и бытовые отходы перерабатывают с помощью дождевых червей и получают органическое удобрение – биогумус, состоящий из живых организмов – более 2000 видов бактерий, грибов и т.п. микроорганизмов [5, 6]. Витамины, антибиотики и ферменты, входящие в состав биогумуса стимулируют рост и развитие растений. Установлено, что гуминовые кислоты в 10^{-6} и 10^{-82} мл раствора активизируют развитие корневой системы, стимулируют корневое питание [4].

В условиях Якутии в начале вегетации (июнь) в неотапливаемых теплицах питательные вещества недоступны растению, что приводит к недополучению урожая [12]. Чтобы ускорить процесс плодообразования, необходимо обработать растения и почвосмесь готовыми микроорганизмами, в виде биопрепарата «Байкал ЭМ» или жидким «Вермичаем» и т.п. [1, 3]. В условиях холодных почв Якутии внесенный биогумус активизирует микробиологический процесс и приводит к получению стабильного урожая.

Целью нашего исследования является определение оптимальной нормы внесения биоудобрений при выращивании огурца в условиях защищенного грунта в Центральной Якутии.

При этом решались следующие задачи:

- определение эффективности применения вермикомпоста из навоза КРС;
- жидкого вермикомпоста из навоза КРС («Вермичая»);
- удобрения из птичьего помета;

- применения биопрепарата «Байкал ЭМ 1»;
- биопрепарата «Байкал ЭМ 1» + свежего навоза КРС.

Материалы и методы исследований

Исследования были проведены на базе учхоза Карапатцы Окемского филиала ФГБОУ ВО «Якутская ГСХА», анализы почвы и плодов были исследованы в лаборатории массового анализа в ФГБНУ «Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства». Для опытов применения эффективности местных удобрений при выращивании огурцов использован районированный сорт «Апрельский». Посев рассады огурцов был проведен 5–6 мая, первые всходы появились 7 мая, первый настоящий лист 13 мая. При подготовке рассадной почвосмеси норма вермикомпоста составлена из расчета 50 г/кг грунта. Посадка на постоянное место в теплице проведена 17 июня, плодоношение наступило 5 июля, через 56 суток после посадки. Результаты опыта представлены в табл. 3.

Результаты исследований и их обсуждение

По анализу тепличного почвогрунта показатели органического вещества высокие, что свидетельствует о достаточном плодородии изучаемых почв.

Максимальное количество органического вещества образовалось при применении жидких вермикомпостов (подкормки «Вермичаем») – 5,6% органического вещества в тепличной почвосмеси (ТПС) и соответственно способствующей получению высокого урожая. При внесении биогумуса в рассадном периоде показатель ОВ составляет 5,3%. Минимальное количество органического вещества отмечено при внесении вермикомпоста на основе птичьего помета 200 г/лунку – 4,9%.

Таблица 3

Влияние вермикомпоста на минеральный состав тепличной почвосмеси

№ п/п	Удобрения	ОВ, %	Общий азот, %	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
1.	Контроль без ВК	5,1	0,37	689,8	524,3
2.	50 г/лунку ВК КРС	5,3	0,41	651,6	495,4
3.	100 г/лунку	5,0	0,41	589,5	453,3
4.	150 г/лунку	5,2	0,41	599,1	453,5
5.	200 г/лунку	5,1	0,4	547,9	439,2
6.	100 г/лунку ВК птичьего помета	5,2	0,41	577,8	466,7
7.	200 г/лунку ВК птичьего помета	4,9	0,43	591,2	458,3
8.	100 мл Байкал + навоз КРС	5,2	0,42	603,3	461,5
9.	100 мл Байкал	5,0	0,39	641,7	488,0
10.	Вермичай	5,6	0,38	566,1	446,6

Примечание. ВК КРС – Вермикомст на основе навоза крупного рогатого скота.

Таблица 4

Влияние вермикомпостов на урожайность огурца сорта «Апрельский»
в условиях неотапливаемой теплицы Центральной Якутии, кг/м²

№ п/п	Удобрения	Вес одного огурца, г	Урожайность, кг/м ²
1.	Контроль без ВК	210	4,6
2.	50 г/лунку ВК КРС	250	6,0
3.	100 г/лунку	262	6,4
4.	150 г/лунку	300	7,5
5.	200 г/лунку	271	5,7
6.	100 г/лунку ВК птичьего помета	255	6,8
7.	200 г/лунку	263	6,4
8.	100 мл Байкал + навоз КРС	275	6,6
9.	100 мл Байкал	256	6,9
10.	Вермичай	260	7,2

Примечание: $H_{cp_{5\%}} = 0,72$.

Содержание азота при внесении биогумуса увеличилось по сравнению с контролем, но при всех нормах внесения фактически находится на одном уровне – 0,41%. Увеличение нормы внесения вермикомпоста снижает уровень фосфора и калия; это доказывает успешное усвоение растениями. Низкая урожайность соответствует при самых высоких показателях НРК (в контроле), так как питательные вещества в начале вегетации не доступны растению. Внесение биогумуса активизирует микробиологическую активность почвогрунтов, и питательные вещества становятся более доступными растениям.

Результаты исследований влияния вермикомпостов на урожайность огурца сорта «Апрельский» в условиях неотапливаемой

теплицы Центральной Якутии показали, что максимальный урожай обеспечивает внесение вермикомпоста на основе навоза крупного рогатого скота 150 г/лунку – 7,5 кг/м², что превышало контроль на 4,6 кг/м² или 63% (табл. 4). При этом вес одного огурца составил 300 г (рис. 1).

В период интенсивного плодообразования в июле – августе растениям необходимо большее количество питательных веществ, поэтому необходимы подкормки вермикомпостом в течение всей вегетации растения. Следует отметить, что увеличение нормы внесения вермикомпоста не приводит к увеличению урожайности огурцов. Поэтому производству рекомендуется норма внесения вермикомпоста в 100–200 г/лунку при любом субстрате.



Рис. 1. Огурцы сорта «Апрельский»



Рис. 2. Плодоношение огурца в июле

Во время плодообразования необходимо несколько раз мульчировать почву дополнительным количеством вермикомпоста (подкормка в июле – августе) или поливать жидким «Вермичаем». В течение вегетационного периода огурцы необходимо подкармливать мульчированием вермикомпостом дробно до 500–700 г/растение за весь вегетационный период или поливать в жидком виде «Вермичаем» по рецепту Н.Ф. Ганжара – 300 г вермикомпоста настоять на ведре воды сутки и поливать по 1 л на растение [3]. Биопрепарат «Байкал ЭМ-1» нужно вносить в хорошо унавоженную землю. Рекомендуемая норма внесения вермикомпоста на основе птичьего помета – 100 г/растение. Увеличение нормы внесения вермикомпоста приводит к снижению урожайности огурца (рис. 2).

Заключение

В результате применения вермикомпостов при выращивании огурцов в условиях неотапливаемой теплицы Центральной Якутии, лучший результат показывает норма внесения 150 г/лунку ВК КРС, что повышает урожайность огурцов на 63 % по сравнению с контролем. Для активации микробиологических процессов тепличной почвосмеси необходимы подкормки жидким вермиудобрением.

Полученные данные исследований подтверждают эффективность применения вермикомпостов в неотапливаемых теплицах Якутии и обеспечивают получение урожая огурцов до 7,5 кг/м².

Список литературы

1. Алтаев А.А. Влияние вермикомпостов и ЭМ-препарата на агроэкологические свойства каштановых почв Бурятии: автореф. дис. ... канд. биол. наук; Бурят. гос. с.-х. акад. им. В.Р. Филиппова. – Улан-Удэ, 2002. – 134 с.
2. Гаврилова М.К. Климат центральной Якутии. – Якутск: Якутское книжное издательство, 1973. – 53 с.
3. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А. Тепличные почвогрунты: методическое пособие. – М., 2000.
4. Городний Н.М., Мельник И.А., Похван М.Ф. Био-конверсия органических отходов в биодинамическом хозяйстве. – Киев: Урожай, 1990. – 170 с.
5. Дмитриева В.И. Агроэкологические аспекты использования органических отходов в качестве удобрений в условиях Центральной Якутии: автореф. канд. сельскохозяйственных наук. – М., 2000. – 54 с.
6. Дмитриева В.И. Вермикультивирование: теория, опыт, практика / В.И. Дмитриева, А.И. Степанов, Г.Е. Мерзлая, С.С. Садовникова. – Якутск: Сахаполиграфиздат, 2000. – 119 с.
7. Игонин А.М. Переработка навоза и другой органики с помощью дождевых червей // Земледелие. – 1989. – № 12. – С. 52–54.
8. Коротыч А.С. Влияние вермикомпоста на плодородие тепличного почвогрунта и продуктивность огурца в условиях Оренбургской области: диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. – Оренбург, 1999. – 148 с.
9. Мерзлая Г.Е., Зябкина Г.А., Нестерович И.А., Фомина Т.П., Марфенина О.Е., Лысак Л.В. Агроэкологическая эффективность вермикомпостирования // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 1996. – № 3. – С. 61–64.
10. Перлов И.А., Перлова Т.А., Павлов Н.П., Гревцева В.Д. Справочник овощеводства Якутии. – Якутск, 1984. – 127 с.
11. Филиппова А.В. Агроэкологические аспекты вермикомпостирования и применения ввермикомпоста в условиях закрытого грунта. – Оренбург, 1998. – 89 с.
12. Степанова Д.И. Агроэкологическая эффективность применения вермикомпостов при выращивании томата в условиях защищенного грунта в центральной Якутии: дис. ... канд. сельскохозяйственных наук. – М., 2008. – 124 с.
13. Степанова Д.И., Григорьев М.Ф., Мерзлая Г.Е. Применение вермиудобрений в условиях защищенного грунта Центральной Якутии // Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста в агротехнологиях сельскохозяйственных культур: материалы докладов 9-й научно-практической конференции. 19–23 сентября 2016 года. – М.: Анапа, 2016.

УДК 630: 614.841.42

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ВОЗГОРАНИЙ

Шегельман И.Р., Галактионов О.Н., Когочев А.Ю., Попов А.С.

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»,

Петрозаводск, e-mail: ong66@mail.ru

Статья посвящена обнаружению очагов лесных пожаров, в частности анализу методов их обнаружения. Разработан метод анализа способов обнаружения лесных пожаров. Метод заключается в определении информационной насыщенности признаков лесного пожара. Информационная насыщенность признака представляет собой точность оценки характеристик лесного пожара – дальности, скорости распространения, интенсивности. На этой основе построена оценка физических методов обнаружения лесных пожаров. Для разработки методики анализа проведен обзор применяемых и перспективных методов обнаружения лесного пожара. В базе методов приведены распространенные методы и единично упоминаемые в исследованиях. Учтены органолептические и инструментальные методы обнаружения лесного пожара. Создание шкалы измерений позволило оценить ряд методов обнаружения лесных пожаров. Для этого выявлены физические методы, используемые в приборе или установке, и оценена их информационная насыщенность. Аналогичные оценки проведены для перспективных методов обнаружения пожаров. Установлены наиболее информационно нагруженные признаки лесного пожара. Для информационно нагруженных признаков выполнен аналитический обзор современных методов определения пожара. Наибольшую информационную насыщенность имеет анализ открытого пламени. Вторым по информационной насыщенности является инфразвук, возникающий при взаимодействии воздушных потоков разной температуры. Для оценки характеристик лесного пожара и принятия оперативных решений непосредственно в очагах, следует использовать указанные два признака. В условиях космического мониторинга для оценки состояния лесных пожаров следует использовать более широкий набор физических методов, например анализ состояния атмосферы. Таким образом, для увеличения запаса времени при принятии решений пожарными бригадами целесообразно использовать анализ пламени и инфразвука. Предлагаемая методика оценки пожаров позволяет формировать систему датчиков соответствующих условиям работы пожарных бригад и эксплуатации защищаемого оборудования.

Ключевые слова: лесные пожары, возгорания, признаки пожара, ущерб, методы обнаружения пожара

REVIEW AND ASSESSMENT OF ADVANCED PHYSICAL METHODS OF FIRE DETECTION

Shegel'man I.R., Galaktionov O.N., Kogochev A.Yu., Popov A.S.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: Ong66@mail.ru

The article is devoted to the detection of forest fires, in particular, the analysis methods for their detection. Developed methods of analysis techniques for the detection of forest fires. The method consists in determining the saturation of information signs of a forest fire. Information saturation characteristic is the accuracy evaluation of forest fire characteristics – range, a rate of spread, intensity. On this basis, a physical evaluation of methods to detect forest fires. To develop the methods of analysis used and reviewed the promising methods of forest fire detection. The database methods list common methods and sporadically mentioned in the studies. Taken into account sensory and instrumental methods for the detection of forest fires. Creating a measurement scale allowed us to estimate the number of methods to detect forest fires. To this end, revealed the physical methods used in the device, or install, and evaluated their information saturation. Similar estimates were made for the promising methods of fire detection. Installed more information loaded with signs of the forest fire. For the information of loaded features made an analytical review of modern methods for determining fire. The highest information richness is an open flame test. The second is information saturation infrasound produced by the interaction of air streams of different temperatures. To evaluate the characteristics of a forest fire and operational decision-making directly in the focus should use these two features. In the context of satellite monitoring to assess the status of forest fires should be used over a wide range of physical methods, such as analysis of the state of the atmosphere. Thus, to increase the time available for decision-making should be used by fire brigades and fire analysis of infrasound. The proposed assessment methodology fires allow forming the sensor systems corresponding to the conditions of work of fire brigades and operation of protected equipment.

Keywords: forest fires, fire, signs of fire, damage, fire detection methods

Своевременное обнаружение и предотвращение лесных пожаров входит в число наиболее серьезных и все еще нерешенных вызовов, стоящих перед жителями не только регионов России, но и целых стран. Качественный мониторинг, обеспечивающий своевременное обнаружение лесных пожаров, может позволить предотвратить развитие чрезвычайных ситуаций федерального, регионального и муниципального масшта-

ба, а также снизить глобальные последствия выбросов углекислого газа, золы и сажи.

Ежегодно в Российской Федерации регистрируется от 10 до 35 тысяч лесных пожаров, которые охватывают площади от 0,5 до 2,5 млн га [7].

Потери древесины на корню после лесного пожара оцениваются в среднем в 27 млн м³ [7]. С учетом рыночной стоимости круглой древесины экономический

ущерб от лесных пожаров можно оценить минимум в 1,35 млрд руб.

Ущерб от лесного пожара не исчерпывается видимыми последствиями в виде гарей. Последствия включают: урон лесной фауне, упущенную прибыль от непродушенной товарной продукции, ущерб объектам промышленности и населенным пунктам, а также затраты непосредственно на тушение пожаров. В 2009 году на борьбу с лесными пожарами в России регионам было выделено 3 млрд руб. [7]. При этом ущерб от лесных пожаров в том же году составил 18 млрд руб. Ущерб от лесных пожаров в 2016 году составил почти 22 млрд руб. Из освоенных 21,8 млрд руб. непосредственно на тушение пожаров было потрачено 19,3 млрд руб.

Ущерб от пожара растет пропорционально квадрату времени его существования [5], следовательно, быстрое его обнаружение приведет к эффективной локализации и тушению. Учитывая это, очевидно, что очень важно обнаружить лесной пожар на началь-

ной стадии, определить его точное местоположение за более короткие сроки.

Цель исследования – разработать методику и выполнить анализ современных методов обнаружения возгораний, а также оценить их перспективность для разработки систем защиты и предупреждения личного состава противопожарных подразделений о критическом состоянии окружающей среды.

Основные задачи исследования: выявить современные физические методы обнаружения лесных пожаров, оценить перспективность выявленных методов по критериям энергопотребления и информативности.

Выделим следующие группы методов выявления возгораний: органолептические и инструментальные. На основе анализа широкого спектра научно-технической и патентной информации, а также паспортных данных приборов в табл. 1 обобщены современные методы определения признаков возгораний и приведены данные по чувствительности приборов, используемых для реализации этих методов.

Таблица 1

Методы определения возгораний

Признаки возгорания								
Определяемые органолептически				Определяемые инструментально				
Видимые	Обоняемые (запах)	Осязаемые	Слышимые	Химические			Физические	
Огонь (6–8 км)	Древесина (≈ 150 км)	Ощущение тепла (1 км)	Треск горящего дерева (0,8–1 км)	Специфические вещества (0,027%)	Изменение состава	Температура (низовой пожар 200–300°C, верховой 900–1200°C)	Состав	Излучение (15–40 кВт/м²)
Дым (1–14 км)	Торф (≈ 150 км)	Ощущение потока воздуха (1–2 км)	Ревущий звук (3–5 км)	Углекислый газ (160–200 мг/м³)	Уровень CO ₂ в атмосфере (160–200 мг/м³)	Контактная (определяется температурой разрушения датчика)	Сажа	Пламя
Конвекционные колонки (1 км)	Смола (≈ 150 км)	Резь в глазах	Треск камней	Угарный газ (25–30 мг/л)		Бесконтактная (до 2500°C)	Зола (0,5–2%)	Конвекционный поток
				Метан (4,55 г/кг)			Спектральный анализ удаленной атмосферы	Отраженный
				Продукты пиролиза древесины			Спектральный анализ местной атмосферы	

Классификация специфических признаков пожаров позволяет охарактеризовать их по ряду параметров: расстояние, направление, интенсивность, скорость движения. Рассмотрим потенциал признаков пожара по возможности оценки названных параметров – информативность. Для оценки пара-

метров используем следующие обозначения информативности: если можно указать величину параметра, то информативность 1, если нельзя указать величину параметра, то информативность –1, если параметр можно определить при выполнении дополнительных условий, то информативность 0.

Таблица 2

Информационная нагруженность признаков пожара

Способ определения	Признак	Параметры пожара					Частота анализа параметров	Сумма по признакам с учетом информационной насыщенности
		Расстояние	Направление	Интенсивность	Скорость движения фронта	Фаза пожара		
Органолептически	Огонь	1	1	1	0,5	1	1	1,96
Органолептически	Треск горящего дерева	1	1	1	0	1	1	1,91
Органолептически	Ревущий звук	1	1	1	0	1	1	1,91
Органолептически	Искры	1	0,5	1	0,5	1	1	1,87
Органолептически	Ощущение тепла	1	1	0,5	0	1	1	1,79
Органолептически	Запах горящей кроны	1	0	1	0	1	1	1,75
Органолептически	Ощущение потока воздуха	1	1	0	0	1	1	1,67
Инструментально	Воздействие на солнечный свет	1	0,5	0	0	1	1	1,59
Органолептически	Дым	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1	1,58
Инструментально	Излучение от пламени	1	1	1	1	1	0,5	1,50
Инструментально	Излучение от конвекционного потока	1	1	1	1	1	0,5	1,50
Органолептически	Треск камней	1	0	1	0	0	1	1,50
Инструментально	Контактная температура	1	1	1	0,5	1	0,5	1,46
Инструментально	Бесконтактная температура	1	0,5	1	1	1	0,5	1,42
Инструментально	Продукты пиролиза древесины	0,5	0	1	0,5	0	1	1,41
Органолептически	Запах горящей древесины	1	0	0	0	0,5	1	1,38
Органолептически	Конвекционные потоки	0	0	1	0,5	0	1	1,28
Органолептически	Запах горящего торфа	1	0	0	0	0	1	1,26
Органолептически	Резь в глазах	1	0	0	0	0	1	1,26
Инструментально	Угарный газ	0,5	0	0	0	0,5	1	1,25
Инструментально	Углекислый газ	0	0	0,5	0	0,5	1	1,24
Инструментально	Метан	0	0	0,5	0	0,5	1	1,24
Инструментально	Изменение уровня CO ₂ в атмосфере	0,5	0,5	1	0,5	1	0,5	1,24
Инструментально	Изменение уровня O ₂ в атмосфере	0,5	0,5	1	0,5	1	0,5	1,24
Инструментально	Сажа	1	0,5	1	0	0,5	0,5	1,20
Инструментально	Зола	1	0,5	1	0	0,5	0,5	1,20
Инструментально	Воздействие на магнитное поле	0,5	0,5	0,5	0	1	0,5	1,08
Инструментально	Анализ местной атмосферы	1	1	1	1	1	0	1,00
Инструментально	Излучение отраженное	0,5	0	0,5	0	1	0,5	1,00
Инструментально	Анализ удаленной атмосферы	1	0,5	1	0,5	1	0	0,87
Инструментально	Воздействие на воздушные потоки	0,5	0,5	1	0	1	0	0,70
Инструментально	Воздействие на атмосферные токи	0,5	0,5	0,5	0	1	0	0,58
Сумма по параметрам		245	155	22,5	8,5	23,5	23	43,85

Определим информационную насыщенность признаков следующим образом. В предположении использования всех признаков для всех параметров пожара просуммируем установленные теоретические уровни информативности признаков для определения параметров лесного пожара – суммирование по строкам табл. 2.

В результате получим возможность оценки того или иного параметра пожара. Как видно из анализа, лучше всего при этом оценивается расстояние до пожара, хуже всего – скорость движения пожара.

Рассчитаем коэффициент учитывающий силу оценки отдельного параметра пожара, в предположении использования всех перечисленных признаков, т.е. разделим накопленные суммы информативности по параметрам пожара (суммирование по столбцам табл. 2) на сумму общей информативности (сумма в последней строке табл. 2). Используем полученные коэффициенты для коррекции информативности признаков.

Информативность признака позволяет делать выводы о его ценности для анализа пожара и выбора физических принципов для разработки технических решений. На основании проведенных расчетов видно, что наиболее нагруженные признаки пожара – это огонь, треск горящего дерева, ревущий звук, искры, ощущение тепла. Кроме того, она позволяет оценить и, следовательно, классифицировать приборы и методы измерения параметров пожара относительно друг друга.

Наличие этих признаков говорит о большой вероятности возникновения и наличия лесного пожара на местности. Наиболее информативный и точный признак пожара – это видимый огонь. Наличие огня позволяет безошибочно определить наличие пожара, направление на него, интенсивность и направление движения.

По нашему мнению, в условиях мониторинга, предотвращения и тушения лесного пожара дополнительно нагружать органы чувств человека, а особенно членов бригады пожарных, для определения потенциальной опасности нецелесообразно. Поэтому конечный обзор проведен только для инструментальных способов контроля угроз.

Рассмотрим наиболее перспективные решения в области обнаружения лесных пожаров по выявленным и отобранным нами признакам.

Оценим методы обнаружения лесных пожаров по видимому пламени.

Метод выявления лесных пожаров по аэрокосмическим снимкам приведен в [4],

обнаружение лесного пожара происходит путем анализа яркости в спектральных каналах. Основой метода является последовательное контрастирование, сегментация, определение характеристик текстуры, привязка координат очагов, соответственно метод требует существенных вычислительных мощностей и гарантированного канала связи.

В работе [2] предлагается выявлять возгорания лесных площадей при помощи космического мониторинга. Для выявления возгораний используют снимки, полученные спектрометрами MODIS и LANDSAT, в видимом и инфракрасном диапазонах. Производится анализ яркости растительности в инфракрасной зоне, и по ее изменению определяются очаги. Возможности использования в реальной обстановке аналогичны предыдущему случаю.

Оценим методы обнаружения лесных пожаров по температуре, определяемой бесконтактным способом.

В работе [3] предлагают использовать снимки, получаемые спутниками TERRA и AQUA (спектрометр MODIS), спутником NOAA (спектрометр AVHRR), для выявления лесных пожаров. Обнаружение возгораний происходит по достижению критической температуры: если температура в точке достигла 360 К, то она классифицируется как очаг.

В работе [1] авторы для выявления лесного пожара используют данные дистанционного зондирования. Метод заключается в использовании данных низкого разрешения (Spot-Vegetation). Для мониторинга используют ближнюю инфракрасную и красную области спектра. На основе анализа рассчитывают индекс NDVI (нормализованный вегетационный индекс), который позволяет выявлять лесные пожары.

В настоящее время выпускается большое разнообразие приборов – инфракрасных пирометров. Например, инфракрасный пирометр ADA TemPro 550 A00223, обеспечивает бесконтактное измерение температуры с точностью до $\pm 1,5^\circ$ на расстояниях до 500 м. Устройства этого типа компактны, позволяют проводить быстрые замеры, неэнергоёмки.

В патенте RU 2549507 («Сигнализатор возгорания») описано изобретение, относящееся к устройствам пожарной сигнализации и используемое в системах распределенного контроля протяженных пожароопасных объектов. При расчете по предложенной методике информативность данных составит 1,91.

В источнике [6] описываются датчики, определяющие пульсации ИК-излучения пламени. Данный датчик обеспечит информативность 1,50.

В патенте RU 2537804 («Способ раннего обнаружения пожара и устройство для его реализации») описывается способ и устройство, для обнаружения тления и возгорания горючих материалов на ранней стадии путем анализа газового состава атмосферы. Устройство формирует данные с коэффициентом информативности 1,46.

В патенте RU 114547 описывается извещатель пламени, который фиксирует инфракрасное и ультрафиолетовое излучение. Извещатель имеет информативность 1,50.

В патенте RU 2443023 («Инфракрасный трехспектральный извещатель пламени») предлагается прибор, предназначенный для обнаружения очагов детекцией электромагнитного излучения пламени. Информативность данного прибора составит 1,42.

Анализ показал, что перспективным методом для разработки перспективных устройств для обнаружения возгораний в лесных массивах является анализ видимого и инфракрасного спектров пожароопасных областей. Анализ газового состава актуален для закрытых помещений.

Проведенный анализ показал, что для оценки состояния лесной среды и принятия решений по действиям пожарной бригады целесообразно использовать датчики следующих типов: радиометрические пирометры, анализаторы звука.

Разработана методика анализа параметров лесного пожара и применена для оценки информативности приборов применяемых для слежения за лесными пожарами.

Наиболее перспективным методом анализа оперативной обстановки является поиск и анализ открытого пламени, которое производит широкий спектр излучения и, следовательно, доступно для обнаружения различными средствами.

В комплексе с анализом открытого пламени может использоваться анализ специфических для пожаров звуковых сигналов. В этом случае анализ звука обеспечивает дальное действие системы, а пламени высокую эффективность анализа параметров пожара.

Разработанная методика оценки параметров пожара по его признакам позволяет разрабатывать системы датчиков в соответствии с условиями работы пожарных расчетов и эксплуатации защищаемого оборудования.

Список литературы

1. Елсаков В.В. Использование данных дистанционного зондирования низкого разрешения в оценке временных изменений растительного покрова / В.В. Елсаков, В.М. Шанов, К.Щупов // Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – 2005. – № 6(92). – С. 2–6.
2. Ерискина Т.О. Разработка методов применения спутниковой информации в мониторинге территорий, подверженных лесным пожарам // Устойчивое развитие регионов в бассейнах великих рек. Приоритеты в условиях глобальных изменений: материалы конгресса, в рамках 17-го международного научно-промышленного форума «Великие реки-2015». – 2015. – С. 471–472.
3. Карпов А.А. Технологии определения природных пожаров с использованием данных спутниковой съемки / А.А. Карпов, Р.А. Алешко, К.В. Шошина // Молодой ученый. – 2015. – № 13.1. – С. 17–19.
4. Колесенков А.Н. Методика интеллектуального обнаружения, моделирования и сопровождения пожаров / А.Н. Колесенков, Б.В. Костров, В.Н. Ручкин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – № 5–2. – С. 266–274.
5. Кудрявцев М.Ю. Управление рисками лесных пожаров на территории Российской Федерации / М.Ю. Кудрявцев, В.В. Лукин, Г.Г. Малинецкий, Н.А. Митин, С.А. Науменко, А.В. Подлазов, А.А. Румянцев, С.А. Торопыгина. – URL: http://www.keldysh.ru/papers/2008/prep35/prep2008_35.html (дата обращения: 12.10.2016).
6. Пожарный извещатель пламени [Электронный ресурс]. – Электрон. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Пожарный_извещатель_пламени – свободный. – Яз.рус. – (Дата обращения: 8.09.2016).
7. Шегельман И.Р. К постановке задачи создания интеллектуальной системы управления процессами тушения лесных пожаров / И.Р. Шегельман, Л.В. Щеголева // ИВД. – 2015. – № 1–2. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/k-postanovke-zadachi-sozdaniya-intellektualnoy-sistemy-upravleniya-protsessami-tusheniya-lesnyh-pozharov> (дата обращения: 12.10.2016).

УДК 624.01

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И МНОГОСТВОЛЬНЫХ СКВАЖИН В ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРАХ

¹Апасов Т.К., ¹Апасов Г.Т., ²Мухаметшин В.Г., ²Новоселов М.М.

¹ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,
Тюмень, e-mail: apasov-timur@mail.ru, apasov_gaydar@inbox.ru;

²ОАО «НижневартовскНИПИнефть», Нижневартовск,
e-mail: MuhametshinVG@nvnipi.ru, NovoselovMM@nvnipi.ru

В настоящее время большинство месторождений Западной Сибири вступили в завершающую стадию разработки, повсеместно наблюдается снижение продуктивности и рост обводненности продукции добывающих скважин, требуется поиск и применение различных технологий интенсификации добычи, включая бурение и эксплуатацию горизонтальных и многоствольных скважин МГС. Одним из таких месторождений является Мыхпайское, разработка которого начата в 1973 году. Результаты анализа показывают, эффективность эксплуатации многоствольных скважин, относительно наклонно-направленных, очевидна и бесспорна. Главное преимущество многоствольных горизонтальных скважин (МГС) состоит в создании максимальной площади контакта с продуктивным пластом, приводящего к увеличению площади дренирования скважины и снижению депрессии в пласте. Но рекомендуется окончательное решение о выборе траектории многоствольных скважин принимать после гидродинамического моделирования и экономического обоснования.

Ключевые слова: горизонтальные многоствольные скважины, бурение, интенсификация, нефтеотдача, обводненность, исследование скважины

EVALUATION OF OPERATION HORIZONTAL AND MULTILATERAL WELLS IN HARD-TERRIGENEOUS RESERVOIRS

¹Apasov T.K., ¹Apasov G.T., ²Mukhametshin V.G., ²Novoselov M.M.

¹Federal Budget Educational Institution of Higher Education «Tyumen Industrial University»,
Tyumen, e-mail: apasov-timur@mail.ru, apasov_gaydar@inbox.ru;

³Nizhnevartovsk NIPIneft, Nizhnevartovsk, e-mail: MuhametshinVG@nvnipi.ru, NovoselovMM@nvnipi.ru

Currently, the majority of fields in Western Siberia entered the final stages of development, there is a persistent decrease in productivity and increase in water production wells, require search and application of various stimulation techniques, including drilling and operation of horizontal and multilateral wells. One of these fields is Myhpayskoe, the development of which started in 1973. The analysis results show the efficiency of operation of multilateral wells is relatively directional, clear and indisputable. The main advantage of multilateral horizontal wells to provide a maximum contact area with the producing formation, leading to an increase in the drainage area of the well and reduce depression in the reservoir. But we recommend a final decision on the choice of the trajectory of multilateral wells taken after hydrodynamic modeling and feasibility study.

Keywords: horizontal wells, drilling, intensification, oil recovery, water cut, research of well

В настоящее время Мыхпайское месторождение вступило в завершающую стадию разработки, по скважинам наблюдается снижение продуктивности и рост обводненности продукции, что, в свою очередь, требует поиска и применения различных технологий интенсификации добычи и повышения нефтеотдачи пластов, включая бурение и эксплуатацию горизонтальных и многоствольных скважин (МГС). Согласно проекту разрабатываются четыре объекта АВ₁₋₂¹⁻², АВ₁₋₂ (пласты АВ₁³ + АВ₂¹), БВ₈ и ЮВ₁, основным, определяющим добычу нефти, является объект АВ₁₋₂¹⁻², содержащий 52 % извлекаемых запасов нефти месторождения. Все коллекторы объектов относятся к терригенному типу и включают следующие литологические разности – песчаники и алевролиты, глинистые и слабоглинистые,

с переслаиванием прослоев коллекторов, не коллекторов, аргиллиты и глины, представленные песчаниками с содержанием карбонатного вещества. С начала разработки на месторождении пробурено 107 скважин, из них 56 скважин находится в работающем добывающем фонде, 25 – в нагнетательном.

На месторождении отобрано 62 % извлекаемых запасов. Скважины эксплуатируются механизированным способом, нефть характеризуется легкой, маловязкой, парафинистой, давление насыщения изменяется в диапазоне 8–10 МПа. Газосодержание в пластовых условиях 57–104 м³/т, в стандартных – 40–94 м³/т. По состоянию на 01.01.2015 г. средний дебит нефти по месторождению составляет 13,4 т/сут, дебит жидкости – 176,5 т/сут, обводненность продукции достигла 92,4 %. Месторождение

находится в фазе снижения добычи нефти, низких темпов отбора и прогрессирующим обводнением продукции, в этих условиях активно применяются геолого-технические мероприятия (ГТМ). Всего за историю разработки проведено 262 скважино-операции со средней успешностью 76%. Охват фонда скважин мероприятиями составил 92%. За счет проведения ГТМ дополнительно добыто 1097,4 тыс. т нефти, что составляет 11,4% от общей накопленной добычи на месторождении, на рис. 1.

изменения K_p от 19,5 до 26,9%, диапазон изменения коэффициента проницаемости $K_{пр}$ от 0,53 до $1864,0 \cdot 10^{-3}$ мкм², среднее значение $386,9 \cdot 10^{-3}$ мкм².

За период разработки на месторождении пробурено 16 ГС, из них 12 ГС на объект АВ₁₋₂, три – на ЮВ₁ и одна на БВ₈. Накопленная добыча нефти из горизонтальных скважин составила 675,1 тыс. т. Средняя достигнутая технологическая эффективность бурения горизонтальных скважин на момент анализа составила 51931 т добытой нефти на 1 скважину.

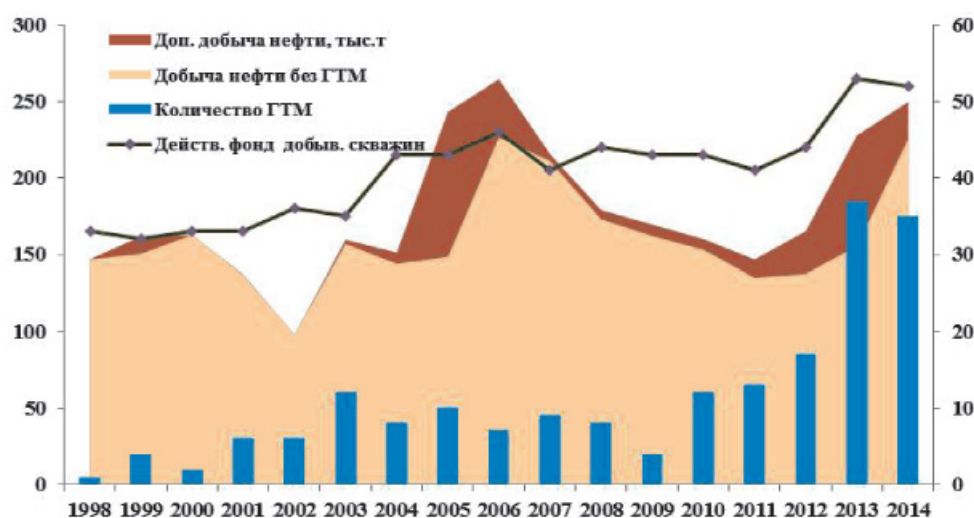


Рис. 1. Динамика проведения ГТМ и дополнительной добычи нефти

Программа ГТМ, реализованная в ходе разработки месторождения, включает мероприятия нескольких видов, но основная дополнительная добыча получена за счет ввода горизонтальных скважин (65,8%), перфорационных работ (17,0%) и ГРП (9,2%). По объекту АВ₁₋₂, залежь АВ₁ имеет небольшую мощность (около 3 м), коллекторами являются мелкозернистые песчаники и алевролиты, коэффициент открытой пористости K_p изменяется от 19,5 до 28,2%, среднее значение составило 23,8%, коэффициент проницаемости $K_{пр}$ изменяется от 0,55 до $789,0 \cdot 10^{-3}$ мкм², среднее значение составило $217,9 \cdot 10^{-3}$ мкм². Пласт интенсивно разрабатывается, причем большинство скважин, в том числе и горизонтальные (ГС), многоствольные (МГС), работают совместно с пластом АВ₁.

Пласт АВ₂ сложен песчаниками с прослоями алевролитов и глин, коллекторами являются средне-мелкозернистые песчаники и крупнозернистые алевролиты. Среднее значение открытой пористости коллекторов составляет 23,8%, диапазон

Начальные дебиты нефти горизонтальных скважин составляли от 27 до 237 т/сут, в среднем 87,7 т/сут при начальной обводненности продукции от 9,6 до 62%, показаны в таблице.

На объекте АВ₁₋₂ с 2003 по 2013 годы пробурены 12 горизонтальных скважин, из них четыре двухствольных и одна трехствольная. Ввод горизонтальных скважин можно разделить на два периода: 2002–2006 гг. и 2012–2013 гг., их показатели привязывалась к первому месяцу работы ГС после ввода в эксплуатацию. Динамика дебитов нефти, продукции горизонтальных скважин, введенных в 2002–2006 гг., на рис. 2.

В период с 2003 по 2006 годы ГС вводились в центральной части залежи пластов, АВ₁₋₂ (скважины № 449, 450, 451, 497) со средним дебитом нефти 137 т/сут (от 35,4 т/сут в скважине № 497 до 237 т/сут в скважине № 451) и обводненностью 34% (от 13,9% в скважине № 451 до 62% в скважине № 497). Длины горизонтальных стволов составляют от 150 до 300 м. Работа скважин характеризуется

быстрым темпом обводнения, к концу первого года уровень обводненности достигал 90–97 %. Это объясняется близостью подошвенной воды и благодаря активным отборам нефти быстрым подтягиванием конуса воды. Средний накопленный отбор нефти ГС, введенных в 2003–2006 гг., составляет 76,8 тыс. т на скважину. В целом

скважины работают в оптимальном режиме с забойными давлениями в диапазоне 5,3–9,7 МПа.

Следующее бурение ГС на объекте было в 2013 году. В эксплуатацию введены шесть скважин, из них четыре двуствольные (№ 1144, 1146, 1147, 3007) и одна трехствольная скважина № 3046, на рис. 3.

Параметры работы горизонтальных скважин месторождения

Но- мер скв.	Дата бурения	Начальные по- казатели			Текущие показате- ли на 01.01.2015			Средние показатели			Добыча нефти на- копл., т	Примеча- ние
		дебит нефти, т/сут	дебит жид- кости, м³/сут	обводнен- ность, %	дебит нефти, т/сут	дебит жид- кости, м³/сут	обводнен- ность, %	дебит нефти, т/сут	дебит жид- кости, м³/сут	обводнен- ность, %		
Объект ЮВ ₁												
332	01.09.2002	27,0	40,0	22,9	6,6	53,1	87,5	8,4	17,0	34,9	31226	ГРП
5001	24.05.2012	60,4	79,1	9,6	17,2	36,6	48,6	22,5	35,6	28,9	21717	
5003	07.08.2012	65,9	90,0	14,3	24	55,1	52,8	34,7	55,8	28,4	29757	
Объект БВ ₈												
158	01.08.2006	172,4	250,0	21,9	23,5	1189,4	98,0	48,1	889,4	92,3	146432	
Объект АВ ₁₋₂												
449	01.03.2003	177,3	303,1	35,7	17,9	904	98	37,2	876,5	94,7	159814	
450	01.02.2003	98,8	168,9	35,8	4,3	14,7	70	10,1	172,8	69,6	42011	Зарезка второго ГС
451	01.04.2003	237,0	313,3	13,9	8,9	677,2	98,7	16	642,9	96,9	61734	
497	01.11.2006	35,4	98,0	62,0	8,1	69,5	88,3	14,6	64,5	76	43738	
1136	15.06.2013	45,2	103,0	53,2	30,5	59	44,1	35,2	63,9	39	21986	МГРП (4 этапа)
1142	07.04.2013	10,0	15,0	23,1	3,9	10,3	59,5	8,9	18,0	43,8	4712	
1144	30.06.2013	73,7	119	31,5	44,2	132,3	65,1	50,3	126	57,1	30972	Два ствола
1146	18.05.2013	54	93,3	36,5	35,4	76,5	50,4	41,1	77,2	39,3	27303	Два ствола
1147	17.08.2013	41	70	35,7	20,5	37,8	41,1	30,9	45,4	24,2	17857	Два ствола
3011	20.05.2013	55	35,8	94	46,6	68,6	154	62,1	49,3	133,9	41761	
3046	22.05.2013	52,1	82,5	30	54,5	85,4	29,2	62,1	91,2	23,8	40560	Три ствола

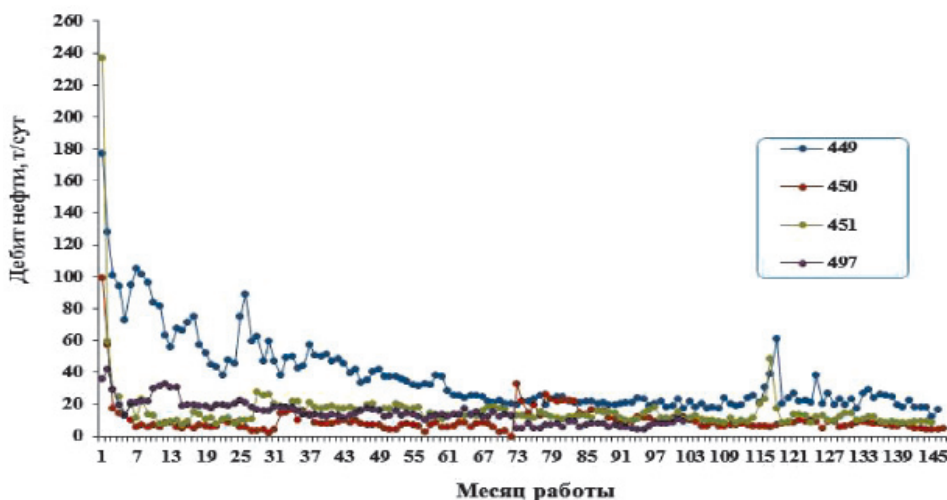


Рис. 2. Динамика дебитов нефти ГС, введенных в 2002–2006 гг.

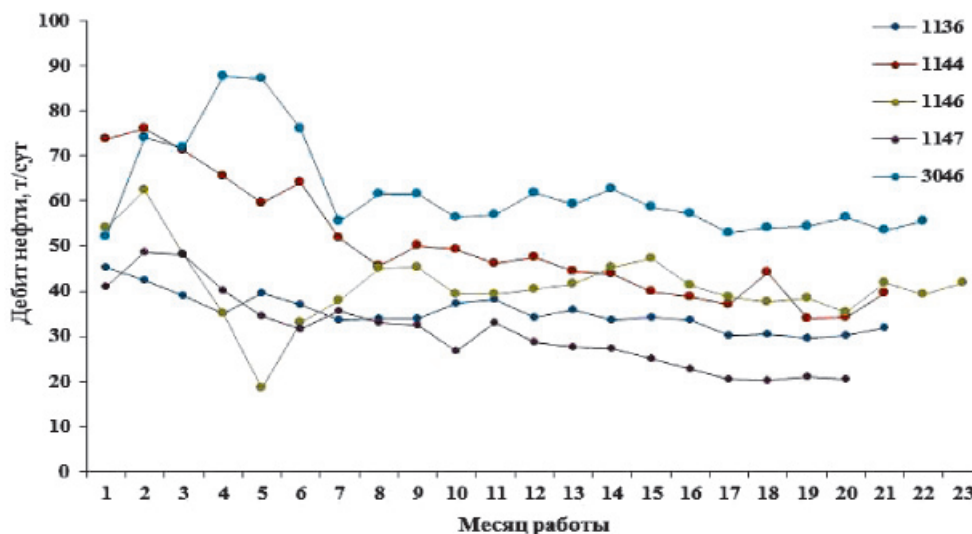


Рис. 3. Динамика дебитов нефти ГС, введенных в 2012–2013 гг.

При вводе скважины № 1136 был произведен многостадийный гидроразрыв пласта (закачено в четыре порта 70 т пропанта, длина горизонтального участка ствола 860 м). При запуске скважины получен дебит нефти 45,2 т/сут, дебит жидкости 103 т/сут при обводненности 53 %. Дебит жидкости за полтора года снизился практически в два раза и на текущий момент составил 54 т/сут при 35 % обводненности. Снижение дебита жидкости происходит в основном по причине снижения пластового давления в этом районе, что свидетельствует о недостаточном объеме нагнетания воды. Вторая вероятная причина — это загрязнение прискважинной зоны по горизонтальному стволу [1].

Необходимо особо выделить технологию добычи нефти многоствольными скважинами, внедренную в северной части залежи пласта АВ₁³. По данным геологического моделирования, в северной части залежи нефти пласта АВ₁³, вовлеченной в разработку в 2013 году, сосредоточены значительные извлекаемые запасы нефти (1117 тыс. т). Учитывая нынешние экономические условия, разбуривание залежи маломощного пласта АВ₁³ наклонно-направленными скважинами, средняя нефтенасыщенная толщина которого составляет 3,3 м, является нерентабельным. Средний дебит наклонно-направленных скважин южной части залежи, эксплуатирующих пласты АВ₁³ и АВ₂³ (суммарная средняя нефтенасыщенная толщина около 10 м), составляет 5,8 т/сут. Поэтому внедрение технологии многозабойного бурения стало оправданной альтернативой

вовлечению запасов в разработку сеткой наклонно-направленных скважин. В 2013 году были введены на АВ₁³ четыре двуствольные (№ 1144, 1146, 1147, 3007) и одна трехствольная скважина № 3046 (рис. 4). Начальный средний дебит нефти многоствольных скважин составил 55,2 т/сут, начальная обводненность — 33 %. Длина боковых ответвлений варьируется в диапазоне от 333 до 860 м. В двуствольных скважинах № 1144, 1146, 1147 полученные начальные дебиты нефти варьируются в диапазоне 41,0–73,7 т/сут, уровень обводненности — 31,5–53,2 %. Скважины № 1144, 1147 работают в оптимальном режиме, о чем свидетельствует забойное давление на уровне 5,5–5,7 МПа.

Скважина № 3007 проектировалась как одноствольная и бурилась в краевой части залежи с большими геологическими рисками. В процессе бурения из-за технологических и геологических причин возникла необходимость произвести срезку на второй ствол. Результаты интерпретации данных ГИС, зарегистрированных в двух стволах горизонтальной скважины № 3007, показывают, что скважина пробурена в переходной зоне коллектора со средней проницаемостью $8,5 \cdot 10^{-3}$ мкм². Было принято решение перевести скважину № 3007 в ППД без отработки на нефть.

Начальный дебит нефти в трехствольной скважине № 3046 составил 52,1 т/сут, дебит жидкости — 83 т/сут при обводненности 30 %. Текущие показатели работы скважины незначительно выше начальных: дебит нефти 54,5 т/сут, дебит жидкости

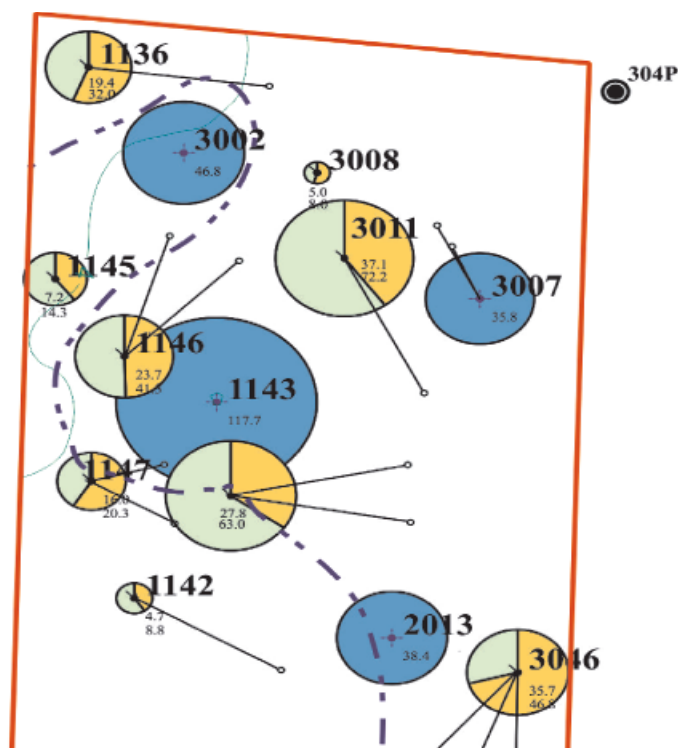


Рис. 4. Карты накопленных отборов северной части пласта AB_1^3

85 т/сут при обводненности 29%. За полтора года эксплуатации скважиной отобрано 40,6 тыс. т нефти. Длины горизонтальных участков с глубины 2150 м составили: по первому стволу 820 м с эффективной длиной – 730 м (или 89% общей длины), по второму стволу 795 м с эффективной длиной – 480 м (или 60% общей длины), по третьему стволу 830 м с эффективной длиной – 250 м (или 30% общей длины). Профиль скважи-

ны с горизонтальными окончаниями представлен на рис. 5.

Эффективность эксплуатации многоствольных скважин, относительно наклонно-направленных, очевидна и бесспорна. Однако режим работы некоторых одноствольных горизонтальных скважин лучше двухствольных, эксплуатирующихся в непосредственной близости друг от друга и введенных в один период. Сравнение скважин

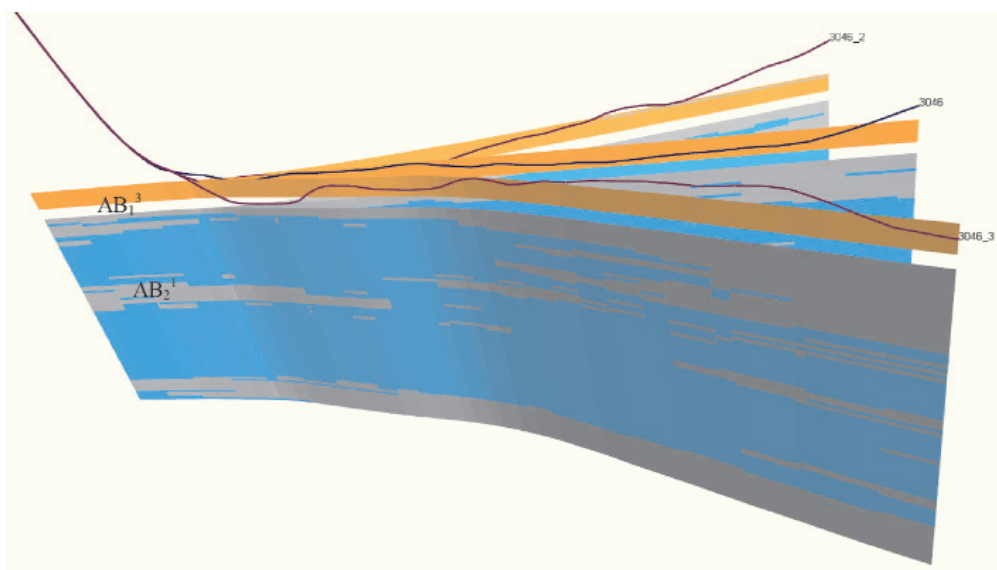


Рис. 5. Профиль скважины № 3046 с горизонтальными ответвлениями

№ 3011 (одноствольная ГС) и № 1146 (двуствольная ГС), введенных в эксплуатацию в один период, показывает, что накопленная добыча нефти скважины № 3011 с одним стволом на треть выше отбора двуствольной скважины № 1146. Показатели двуствольной скважины № 1144 также несколько ниже одноствольной № 3011. В данном случае опрометчиво делать однозначные выводы, так как трудно оценить работу каждого ствола в многоствольных скважинах. Для более эффективной эксплуатации многоствольных скважин необходимо проводить комплексные геофизические и гидродинамические исследования по определению работы каждого ствола при разных депрессиях на пласт [1, 2, 4].

Анализ результатов эксплуатации многоствольных и горизонтальных скважин в 2013–2014 гг. показывает, что начальные дебиты этих скважин ниже дебитов горизонтальных скважин (ГС), введенных на объект в 2002–2006 гг. Рост числа стволов не является показателем повышения продуктивности, близкое расположение стволов друг к другу по однородному пласту не исключает интерференции между ними. К примеру, горизонтальная скважина № 3011 имеет показатели выше, чем двуствольные и трехствольные скважины.

Бурение и работа с горизонтальными скважинами в продуктивном пласте в несколько раз увеличивает дебит скважины и повышает коэффициент нефтеотдачи пласта. При проектировании оптимальной технологии вскрытия продуктивного пласта отдельно стоит вопрос обоснования длины ствола скважины. До последнего времени считалось, что чем длиннее ствол, тем больше дебит. Однако результаты исследования ГС не всегда это подтверждают, чаще показателем служит увеличение длины горизонтального ствола до определенного предела, что должно обосновываться гидродинамическим моделированием и экономическими расчетами. Причинами снижения продуктивности скважин является снижение пластового давления и засорение прискважинной зоны горизонтального участка.

На Мыхпайском месторождении боковые стволы, горизонтальные и многоствольные скважины, как правило, имеют большие углы наклона и малые диаметры (102 или 114 мм). По результатам работ

и обоснованию расположения ГС был сформирован подход к проектированию горизонтальных скважин. Основной особенностью является детальное обоснование бурения МГС на стадии проектирования разработки сложнопостроенных залежей, и проектирование других МГС согласно подходу, разработанному с учетом геологических особенностей объекта. На стадии изучения геолого-физического строения, определение направления региональных напряжений горных пород, которые необходимо учитывать при проектировании сетки горизонтальных скважин, планировании ГТМ. Проектирование строительства боковых горизонтальных стволов осуществляется с привлечением максимально возможных способов изучения геологических особенностей строения проектируемого участка [3, 5].

Главное преимущество многоствольных горизонтальных скважин (МСГС) состоит в создании максимальной площади контакта с продуктивным пластом, приводящего к увеличению площади дренирования скважины и снижению депрессии в пласте [4, 5]. Но, как и любая другая новая технология, бурение МСГС связано с риском и техническими сложностями, обуславливающими ее недостатки. Анализ положительных и отрицательных сторон технологии бурения МСГС сделали очевидными несколько вариантов ее применения на практике. Отсюда следует важный вывод – бурение дополнительных стволов малой длины не приводит к росту продуктивных характеристик скважины. Это вызвано существующей технологией бурения и приводит к большему взаимовлиянию стволов. По анализу отмечается, что увеличение числа горизонтальных стволов может не привести к заметному приросту дебита в связи с возрастающей интерференцией между близко расположенными стволами.

Наиболее эффективными являются скважины с малым числом стволов, с наибольшей длиной и большей разводкой стволов друг от друга. Другими условиями применения многоствольных скважин могут быть: значительное удорожание строительства горизонтальной скважины большой длины, а также потребность в достижении высокой продуктивности скважины при разработке низкопроницаемых коллекторов.

Поэтому рекомендуется окончательное решение о выборе траектории многоствольных скважин принимать после гидродинамического моделирования и экономического обоснования, учитывая, что рост числа стволов, их близость друг к другу, малые длины стволов, наличие плавных разводов стволов друг от друга снижают продуктивные характеристики на единицу длины ствола.

Выводы

1. Для более эффективной эксплуатации многоствольных скважин необходимо проводить комплексные геофизические и гидродинамические исследования по определению работы каждого ствола при разных депрессиях на пласт.

2. Бурение и эксплуатация горизонтальными скважинами в продуктивном пласте в несколько раз увеличивает дебит скважины и повышает коэффициент нефтеотдачи пласта. Причинами снижения продуктивности скважин является снижение пластового давления и засорение прискважинной зоны горизонтального участка.

3. Проектирование строительства боковых горизонтальных стволов осу-

ществляется с привлечением максимально возможных способов изучения геологических особенностей строения проектируемого участка разработки, гидродинамического моделирования и экономического обоснования.

4. Результаты применения ГТМ по месторождению являются хорошим примером для других месторождений региона.

Список литературы

1. Левкович С.В. Анализ эффективности строительства первых боковых стволов с горизонтальными ответвлениями на месторождениях ОАО «Сургутнефтегаз» / А.С. Ушаков, С.В. Левкович, А.С. Самойлов // Территория нефтегаз. – 2009. – № 12. – С. 58–61.
2. Макаренко П.П., Булатов А.И., Будников В.Ф., Басарыгин Ю.М. Теория и практика заканчивания скважин (в 5 томах). – М.: Изд-во «Недра», 2005.
3. Никитин Б.А., Григулецкий В.Г. Перспективы и проблемы строительства наклонно направленных и горизонтальных скважин // Нефтяное хозяйство. – 1992. – № 7. – С. 6–8.
4. Сургучев М.Л., Табаков В.П., Киверенко В.М. Перспективы применения горизонтальных и многозабойных скважин для разработки нефтяных месторождений // Нефтяное хозяйство. – 1991. – № 9. – С. 37–39.
5. Черевко М.А., Янин А.Н., Янин К.Е. Разработка нефтяных месторождений Западной Сибири горизонтальными скважинами с многостадийными гидроразрывами пласта. – Тюмень-Курган: Изд-во «Зауралье», 2015. – 268 с.

УДК 911.2

АНАЛИЗ ПИРОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕОСИСТЕМЫ ПРИОЛЬХОНЬЯ ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ**Бибеева А.Ю.***ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН, Иркутск, e-mail: pav_a86@mail.ru*

В работе рассматривается изменение состояния геосистем Приольхонья под действием пирогенного фактора в 2013–2015 гг. Исследование площадей, пройденных огнем, проводилось методом обучаемой классификации в среде ГИС с использованием космоснимков Landsat 8. Выявлено увеличение площадей гарей: в 2015 г. зафиксирована наибольшая площадь, пройденная пожарами, за последние 13 лет, начиная с 2003 г. В породной структуре площади погибших насаждений доминируют кедровники – 36%, в меньшей степени затронуты огнем лиственничные – 17% и сосновые – 12% леса. На фоне трансформирующих факторов среды (потепление климата, снижение уровня воды оз. Байкал и др.) и антропогенного влияния (рекреационная нагрузка, выпас скота) пирогенное воздействие на геосистемы Приольхонья значительно усиливается, что приводит к резкому изменению структуры и скорости протекающих в них физико-географических процессов. В условиях изменчивой среды геодинамически активной зоны это воздействие на геосистемы Приольхонья может оказаться катастрофическим и привести к их необратимой трансформации.

Ключевые слова: пирогенный фактор, динамика геосистем, трансформация, физико-географические процессы**ANALYSIS OF FIRE-INDUCED INFLUENCE ON THE PRIOLKHONYE GEOSYSTEMS BY USING MATERIALS OF REMOTE SENSING OF THE EARTH****Bibeeva A.Yu.***V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: pav_a86@mail.ru*

The paper deals with the change of Priolkhonye geosystem state under the action of the pyrogenic factor in the period 2013–2015 g. The study area covered by the fire, was carried out by supervised classification in GIS using satellite image Landsat 8. Increase of the burned areas is revealed: the largest area affected by fires in the last 13 years, since 2003 is detected in 2015. Among the tree species destroyed by fire cedar forests – 36% are dominate, larch forest – 17% and pine forest – 12% are destroyed by fire to a lesser extent. Pyrogene impact on Priolkhonye geosystems considerably amplifies amidst transforming environmental factors (climate warming, decrease in water level of the Lake Baikal and all that) and anthropogenic impacts (recreational load, grazing), that is lead to change in the structure and rate of physiographic processes. In the conditions of the changing environment of geodynamic active area this impact on Priolhonje geosystems can be disastrous and lead to their irreversible transformation.

Keywords: pyrogenic factor in the dynamics of geosystems, transformation, physiographic processes

Проблема сохранения уникальных геосистем и рационального природопользования на Байкальской природной территории (БПТ) остается актуальной и активно обсуждается в настоящее время. Благодаря климатическому фактору 2014 год для оз. Байкал оказался катастрофически маловодным, приток воды в озеро составил всего 67% от нормы, что способствовало снижению уровня воды в озере ниже минимально установленного отметки в 456 м [3]. Это повлекло за собой ряд негативных последствий, связанных со снижением уровня грунтовых вод в водосборном бассейне озера, сокращением площади водного зеркала, изменением микроклимата различных местоположений, снижением количества осадков, усилением его засушливости и пр.

Гидроклиматические исследования последних лет на БПТ [7] показали устойчивый рост годовых температур воздуха со скоростью 0,2–0,5°C/10 лет, что на порядок превышает аналогичные коэффициенты, рассчитанные в среднем для Северного по-

лушария; преобладает тенденция к снижению в изменении годовых величин сумм осадков. Вместе с тем на фоне потепления отмечается уменьшение континентальности климата за счет уменьшения годовых амплитуд температуры. Последний фактор усугубляет пирогенную обстановку в регионе: в 2014–2015 гг. регистрируются значительные площади, пройденные лесными и степными пожарами разной интенсивности. Особенно обширные площади гарей за указанный период сосредоточены в Ольхонском и Качугском административных районах Иркутской области. Наиболее тяжелые и значительные негативные последствия сказываются на уникальных геосистемах Ольхонского района, территориально полностью относящегося к водосборному бассейну оз. Байкал и его центральной экологической зоне. Все эти факторы в сочетании с резко континентальным климатом и специфическим мезоклиматом в условиях барьерной тени Приморского хребта Приольхонья ведут к нарушению устойчивости

геосистем уникального региона и могут способствовать их коренной трансформации.

В рамках предполетного этапа работ с целью инвентаризации данных о площадях, пройденных пожарами, и их локализации, выбора маршрута и точек комплексного физико-географического описания выполнялись дешифрирование и анализ данных дистанционного зондирования земли (ДДЗЗ).

Материалы и методы исследования

В качестве модельного участка выбрана территория Приольхонья, расположенная в средней части западного побережья оз. Байкал, непосредственно напротив о. Ольхон. Район включает территории технического участка № 2 (колхоз «20-го съезда КПСС») Бугульдейского участкового лесничества, Сарминской дачи Ольхонского участкового лесничества Ольхонского лесничества Иркутской области и Онгуренского лесничества Прибайкальского государственного природного национального парка.

Климатические условия формируются в значительной степени под влиянием местных физико-географических факторов, прежде всего орографии и водной массы озера [2], обеспечивающих проявление барьерно-теневого, аридно-котловинного и подгорного эффектов. Горный рельеф обеспечивает [4] однонаправленный характер протекающих здесь физико-географических процессов, неравномерность распределения и спорадичность проявления по территории. Все эти факторы позволяют существовать на ограниченной территории контрастным по природным условиям классам геомов [6]: гольцовым горно-тундровым и подгольцовым Байкало-Джугджурским, горнотаежным Байкало-Джугджурским (светлохвойным) и Южносибирским (темнохвойным), центральноазиатским степным даурского типа, подгорным лугово-болотным.

Для выявления территорий, подверженных пирогенному фактору, вычисления площадей гарей использовались разновременные данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) за период 2013–2015 гг. Источником информации о породном составе лесов, подверженных горению в указанный период, послужили лесотаксационные материалы М 1:25 000 Агентства лесного хозяйства Иркутской области (АЛХИО) и Прибайкальского государственного природного национального парка (ПНП). Дешифрирование ДДЗЗ выполнялось в рамках предполетного этапа работ по оценке ущерба и мониторингу восстановительных процессов растительности и состояний геосистем выбранной территории, целью которого является выявление механизмов самоорганизации геосистем.

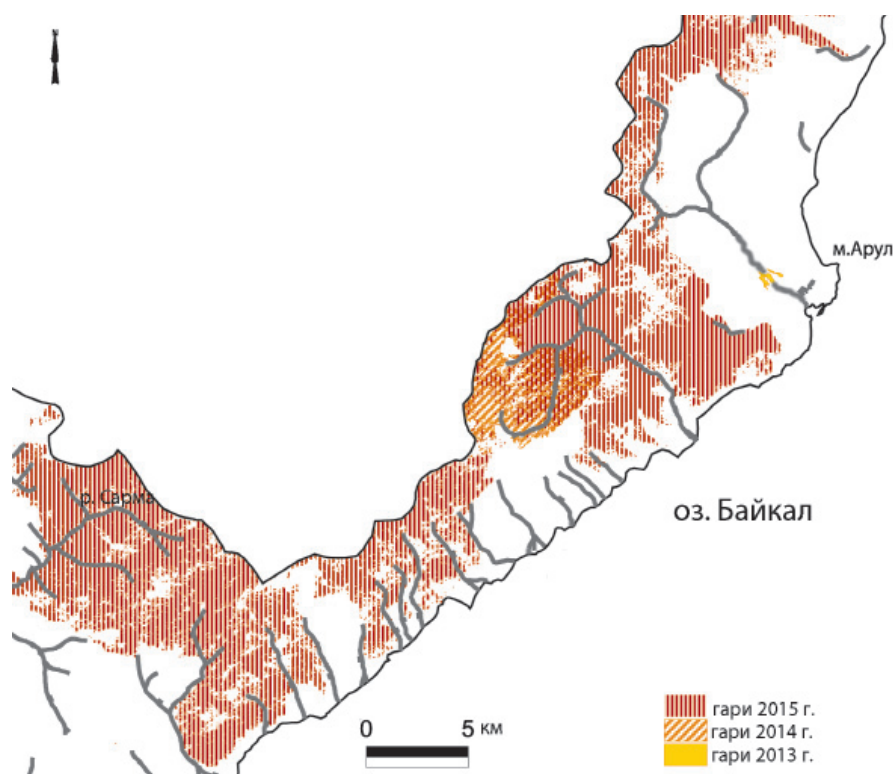
Результаты исследования и их обсуждение

Согласно полученным данным общая площадь территорий, подверженных горению, составила: в 2013 г. – 0,29 км², в 2014 г. – 24,7 км², в 2015 г. – более 178 км². Согласно карте «Мезоклиматы Приольхонья» [2] основная часть пожаров отмечена на территории с отсутствием или низким влиянием водной массы озера Байкал на мезоклимат геосистем. Обращает на себя

внимание тот факт, что очаги возгорания фиксируются на территории Качугского района, откуда огонь переходит и распространяется на территорию Ольхонского административного района.

В 2014 году в Приольхонье воздействию огня подверглись геосистемы в границах Онгуренского лесничества ПНП в пределах водосборного бассейна р. Зундук (верховья рек Правый и Левый Зундук) на высотах 1000–1550 м над у.м. Их микроклиматические особенности определяются положением за пределами зоны влияния водной массы оз. Байкал и характеризуются [2] сравнительно низкими температурами воздуха в летний период (продолжительность безморозного периода – 70–90 дней, сумма положительных температур выше 10°C – менее 800), повышенным количеством осадков (500–800 мм) и значительной повторяемостью сильных ветров (среднегодовая скорость ветра 3–4 м/с). Наиболее сильно пострадали геосистемы выровненных поверхностей редколесные из кедра (коренные) и склоновые кедровые с подлеском из кедрового стланика (мнимокоренные) на нижнепротерозойских породах иликтинской свиты (хлоритовых сланцах, филлитах, метаморфизированных полевошпатово-кварцевых песчаниках и гравелитах, порфиритах, доломитовых известняках). На их долю приходится более 71 % площади поражения огнем. Около 23 % площади горения приходится на геосистемы вершинных поверхностей и склонов подгольцовые кустарниковые с кедровым стлаником на нижнепротерозойских интрузиях (порфиридных, средне- и мелкозернистых аляскитоидных гранитах). Склоновые лиственничные травяно-кустарниковые и склоновые березовые травяно-кустарниковые леса восстановительной серии пострадали от пирогенного фактора в наименьшей степени – 4,5 % и 1,4 % соответственно. Долинные еловые перестойные, спелые и приспевающие леса на метаморфизированных песчаниках и гравелитах нижнего протерозоя практически не затронуты огнем – 0,03 % сгоревшей площади.

В 2015 г. в Приольхонье зафиксирована наибольшая площадь, пройденная пожарами за последние 13 лет, начиная с 2003 года, – 178,5 км². Пожары в лесном фонде на исследуемой территории отмечены в границах технического участка № 2 (колхоз «20-го съезда КПСС») Бугульдейского участкового лесничества, Сарминской дачи Ольхонского участкового лесничества



*Площади, пройденные огнем в Приольхонье в период 2013–2015 гг.
(по данным дешифрирования космоснимков Landsat 8)*

Ольхонского лесничества Иркутской области и Онгуренского лесничества ПНП. В ландшафтном отношении деструктивному влиянию огня в этот период были подвержены геосистемы северо-восточной части Приольхонья от правого берега р. Улан-Хан до местности Зама – центральноазиатские горностепные, горнотаежные сосновые, горнотаежные темнохвойные ограниченного развития, подгольцовые темнохвойно-редколесные геомы.

В границах Сарминской дачи Ольхонского участкового лесничества прохождение пожаров фиксируется на площади 91 км² в верховьях р. Сарма, р. Улан-Хан, в нижней части восточного макросклона Приморского хребта от правого берега р. Улан-Хан до юго-западной границы Онгуренского лесничества ПНП. На высотах 580–1300 м над у.м. горению подвержены геосистемы нижних частей склонов восточных экспозиций и подгорных равнин лиственнично-сосновые травяные остепненные на гнейсах, амфиболитах и мраморах архея, на нижнепротерозойских породах иликтинской свиты (хлоритовых сланцах, филлитах, метаморфизированных полевошпатово-кварцевых песчаниках и гравелитах, порфиритах, доломитовых известняках). Согласно В.В. Буфалу с соавторами [2] мезоклимат характеризу-

ется умеренным и слабым влиянием водной массы озера Байкал, большим количеством атмосферных осадков (250–400 мм в год) по сравнению с прибрежными территориями при той же теплообеспеченности.

В верхних частях склонов и водоразделах на высотах 1160–1600 м над у.м. воздействию огня были подвержены склоновые кедровые кустарниково-зеленомошные, подгольцовые редколесные из кедра, вершинных поверхностей и склонов с кедровым стлаником на нижнепротерозойских породах иликтинской свиты (хлоритовых сланцах, филлитах, метаморфизированных полевошпатово-кварцевых песчаниках и гравелитах, порфиритах, доломитовых известняках) и приморского комплекса (порфиридовидных, средне- и мелкозернистых аляскитоидных гранитов). Мезоклимат геосистем характеризуется сравнительно низкими температурами воздуха в летний период (ср. температура июля +12–14°C), повышенным количеством осадков (500–800 мм) и значительной повторяемостью сильных ветров [2].

По ложбинам и долинам в верховьях водосборного бассейна р. Сарма воздействию огня подверглись долинские сосново-лиственничные с елью смешаннокустарниковые травяно-зеленомошные леса на аллювии пойм и низких надпойменных террас.

Мезоклимат указанных таежных геосистем характеризуется как более теплый (средняя температура июля $+15-17^{\circ}\text{C}$) и влажный (годовая сумма осадков – 400–500 мм) по сравнению с предыдущим, ветры более слабые.

В пределах Бугульдейского участкового лесничества деструкции подвержены сосновые и лиственнично-сосновые с подлеском из рододендрона даурского травяные леса на биотитовых, биотитово-роговообманковых гнейсах, амфиболитах и кристаллических доломитах архея (мниококоренные) – 91,5% от площади горения, производные березовые травяно-кустарниковые леса восстановительной серии – около 3,5%, мезоклимат которых определяется [2] пониженной теплообеспеченностью (ср. температура июля $+12-14^{\circ}\text{C}$, продолжительность безморозного периода 100–105 дней) и повышенным атмосферным увлажнением (годовая сумма осадков 300–400 мм). Степными пожарами было охвачено 0,58 км² (58 га), что составляет около 5%.

В границах Онгуренского лесничества ПНП на территории Приольхонья воздействию пожара подвержено около 87 км² (8 665 га), что составляет более 42%. В наибольшей степени пострадали подгольцовые редколесные из кедра (22%), вершинных поверхностей и склонов с кедровым стлаником (32%) на нижнепротерозойских породах приморского комплекса (порфириовидных, средне- и мелкозернистых аляскитоидных гранитах) – 54% от общей площади гарей. Склоновые лиственнично-сосновые травяные степненные леса на нижнепротерозойских породах иликтинской свиты (хлоритовых сланцах, филлитах, метаморфизированных полевошпатово-кварцевых песчаниках и гравелитах, порфиритах, доломитовых известняках) – 38%, производные березовые и осиновые травяно-кустарниковые леса восстановительной серии – около 8%.

В контексте проводимого анализа следует отметить рост площадей, пройденных огнем, увеличение разрушительной силы лесных пожаров, причины которых могут лежать в изменении вещественно-энергетических потоков, ослаблении внутренних и внешних связей геосистем, вследствие ряда факторов – трендов глобального изменения климата, снижения уровня воды в оз. Байкал в период с 2014 по 2016 г. и связанных с ними изменений.

На фоне указанных трансформирующих факторов среды пирогенное воздействие на геосистемы значительно усиливается, что проявляется в ослабленности и, следовательно, повышенной горимости растительного компонента и приводит к резкому измене-

нию структуры и скорости протекающих в них физико-географических процессов.

Согласно натурным наблюдениям Б.П. Агафонова [1] в гольцовом и подгольцовом поясах Приольхонья уничтожение огнем растительности и, прежде всего, кедрового стланика способствует резкой активизации ряда физико-географических процессов – выноса мелкозема путем поверхностного и внутригрунтового стока, формированию курумов, учащению обрушения одиночных глыб, более интенсивному метелевому переносу снега и формированию снежных карнизов, а следовательно, формированию еще больших снежных лавин; на субгоризонтальных поверхностях вследствие усиления испарения при обдувании ветрами и непосредственном воздействии солнечных лучей следует ожидать затухания процессов солифлюкции и массового смещения грунтов.

В пределах лесного пояса в верхних частях склонов и на водоразделах в кедровых кустарниково-зеленомошных лесах пирогенный фактор способствует таянию мерзлоты [1] как непосредственно при его термическом воздействии, так и через увеличение приходной части солнечной радиации вследствие сведения (возгорания, ветровала и др.) леса.

При уничтожении сосновых и лиственнично-сосновых травяных степненных лесов огнем создаются условия для поверхностного сноса мелкозема и дефляции, на выпуклых и наветренных склонах уничтожаются рыхлые отложения вплоть до обнажения коренной породы. Вследствие засушливого климата в дальнейшем эти участки занимаются разреженной степной растительностью, при этом возобновление леса в течение длительного периода времени не наблюдается, что может свидетельствовать о трансформации геосистем, или развивается затяжная стадия, при которой восстановление проходит в несколько раз дольше [1].

Степень трансформационных изменений геосистем, скорость и полнота восстановления их исходного динамического состояния зависит также от типа пожара. При прохождении беглого низового пожара низкой интенсивности негативное влияние на геосистемы проявляется через эпизодическое изменение структуры фитоценозов, которая в дальнейшем восстанавливается до климаксового состояния. Это восстановление происходит быстрее в степных геосистемах, что связано с преобладанием здесь видов с органами вегетативного размножения, хорошо защищенными от действия огня (корневищные, луковичные, клубнекорневые).

Воздействие на геосистемы низовых устойчивых и беглых пожаров с высокой интенсивностью горения проявляется не только в структуре фитоценозов, но и в изменении качественного фракционного состава органических горизонтов почвы и их химических свойств [5]. Так, регулярные пожары в степях приводят к заметному уплотнению почвы, уменьшению ее водопроницаемости и воздухообмена, что способствует увеличению поверхностного стока [9] и развитию делювиального смыва и плоскостной эрозии.

Следует обратить внимание на интенсивность антропогенного воздействия в степях в связи с выпасом скота и рекреационной нагрузкой. Эти факторы крайне неблагоприятно сказываются на восстановлении внутренних и внешних связей геосистем и главным образом на восстановлении физических свойств поверхностного слоя почвы и надпочвенного покрова. По данным Т.А. Работнова [8], такое сочетание факторов может приводить к ухудшению физических свойств поверхностного слоя почвы и через 25 лет после прохождения пожара. Дальнейшее изменение климатических характеристик может привести к невозможности восстановления структуры геосистемы и ее трансформации при смене инварианта.

Верховые пожары в лесных геосистемах поражают древостой и способствуют образованию ветровала и бурелома, нарушают структуру комплекса физико-географических процессов.

Таким образом, современные и потенциальные физико-географические процессы в геосистемах Приольхонья после прохождения пожара разнообразны и зависимы от местных условий. Поскольку пожары, как правило, проходят в Приольхонье в летний и осенний период, когда содержание почвенной влаги минимально, то поражающее воздействие огня – как термическое, так и деструктивное – на структуру геосистем возрастает. Восстановление и трансформация геосистемной структуры территории после воздействия пирогенного фактора определяется также площадью, пройденной огнем. При этом степень потенциальной опасности невозможности восстановления лесной растительности повышается с приближением к гольцовому поясу и на крутых склонах южной экспозиции.

Заключение

Огонь является одним из факторов, способствующих резкому изменению динамического состояния геосистем. При этом происходит ослабление или разрушение существующих взаимосвязей как в биоценозе, так и между компонентами геосистем.

Установлено, что за период с 2013 по 2015 годы деструктивному влиянию подверглось более 200 км² территории Приольхонья. В породной структуре площади погибших насаждений доминируют кедровники – 36%, в меньшей степени затронуты огнем лиственные – 17%, сосновые – 12%, незначительно – березовые – 2% и еловые – 0,07% леса в силу их малого распространения.

Можно предположить, что резкий рост площадей, подверженных горению, в последние годы обусловлен комплексом факторов, включая увеличение засушливости климата Приольхонья в последние годы, рост популярности стихийного туризма в ранее мало доступные районы, слабую систему охраны лесов.

В условиях изменчивой среды геодинамически активной зоны и изменяющегося климата воздействие пирогенного фактора на уникальные геосистемы Приольхонья может оказаться катастрофическим и привести к их необратимой трансформации. Спрогнозировать смену состояний восстановительной динамики геосистем района исследований, согласованности процессов, способствующих изменению их самоорганизации – чрезвычайная сложная задача. Интерпретация данных, обеспечивающих всестороннюю характеристику современного состояния и возможных преобразований геосистем, представляет значительный интерес в понимании трансформации геосистем Прибайкалья в целом.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00902.

Список литературы

1. Агафонов Б.П. Распространение и прогноз физико-географических процессов в Байкальской впадине // Динамика Байкальской впадины. – Новосибирск: Наука, 1975. – С. 59–138.
2. Буфал В.В. Климат Приольхонья / В.В. Буфал, Н.Л. Линевиц, Л.Б. Башалханова // География и природные ресурсы. – 2005. – № 1. – С. 66–73.
3. Бычков И.В. Регулирование уровня озера Байкал: проблемы и возможные решения / И.В. Бычков, В.М. Никитин // География и природные ресурсы. – 2015. – № 3. – С. 5–15.
4. Григорьев А.А. Закономерности строения и развития географической среды. – М.: Мысль, 1966. – 382 с.
5. Краснощеков Ю.Н. Трансформация серогумусовых почв сосновых лесов под влиянием пожаров в юго-западном Прибайкалье // Лесоведение. – 2011. – № 2. – С. 3–12.
6. Ландшафты юга Восточной Сибири. Карта. – М 1:1 500 000 / В.С. Михеев, В.А. Ряшин / под общ. ред. В.Б. Сочавы. – М.: ГУГК, 1977.
7. Максимова Е.В. Тенденции гидроклиматических изменений на Байкальской природной территории / Е.В. Максимова, Н.В. Кичигина, Н.Н. Воробей, А.С. Балыбина, О.П. Осипова // География и природные ресурсы. – 2012. – № 4. – С. 72–80.
8. Работнов Т.А. Фитоценология. – М.: Наука Изд-во МГУ, 1983. – 383 с.
9. Роль пирогенного фактора в трансформации степных и лесных экосистем [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.rusnauka.com/28_NPM_2013/Ecologia/2_145568.doc.htm (дата обращения: 20.09.2016).

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВОВЛЕЧЕНИЯ В ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ОБОРОТ МАРГИНАЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ КАРЬЕРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

¹Бортникова Г.А., ²Луговской А.М., ¹Межова Л.А.

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет»,
Воронеж, e-mail: lla1986@yandex.ru, lidiya09@rambler.ru;

²Институт математики, информатики и естественных наук, ГБОУ ВПО «Московский городской педагогический университет»; Департамент экономической теории,
Финансовый университет, Москва, e-mail: alug1961@yandex.ru

В статье рассматриваются разнообразные подходы в санации маргинальных территорий и рекультивации карьеров различного типа. По мнению ряда ученых, карьеры и полигоны твёрдых бытовых отходов сопоставимы с понятием «экотон» и могут быть отнесены к маргинальным территориям и характеризуются специфическими условиями вследствие «краевого эффекта», проявляющимся в пограничных территориях между геосистемами и являющимся важным потенциальным ресурсом развития. На основе классификации в связи со спецификой карьеров рассмотрены основные направления их рекультивации: сельскохозяйственное, лесохозяйственное, строительное, водохозяйственное, рыбохозяйственное, рекреационное, санитарно-гигиеническое, которое предусматривает биологическую санацию и техническую консервацию нарушенных земель. Основным выводом является то, что любое узкоспециализированное направление рекультивации уступает комбинированной санации, ставящей не только утилитарные цели, но и решает полифункциональные задачи.

Ключевые слова: маргинальные территории, территориальное управление, рекультивация, мониторинг, санация

THE MAIN AREAS OF INVOLVEMENT IN ECONOMIC CIRCULATION OF MARGINAL AREAS OF OPEN PITS OF BUILDING MATERIALS

¹Bortnikova G.A., ²Lugovskoy A.M., ¹Mezhova L.A.

¹Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, e-mail: lla1986@yandex.ru, lidiya09@rambler.ru;

²Institute of Mathematics, Informatics and Natural Sciences, Moscow City Pedagogical University,
Department of Economic Theory Financial University, Moscow, e-mail: alug1961@yandex.ru

The article discusses various approaches in rehabilitation of marginal territories and recultivation of pits of various types. According to a number of scientists, quarries and landfills are comparable to the concept of «ecotone» and can be classified as marginal areas and are characterized by specific conditions due to «edge effect», which manifests itself in the border territories between geosystems and is an important potential resource for development. On the basis of the classification in connection with the specifics of the pits considers the basic directions of restoration: agricultural, forestry, construction, water management, fisheries, recreational, sanitary-hygienic, which provides for the reorganization of biological and technical conservation of disturbed lands. The main conclusion is that any niche the direction of reclamation is inferior to a combination of reorganization, which sets not only a utilitarian purpose, but also solves the functional problem.

Keywords: marginal territories, territorial management, reclamation, monitoring, sanace

Под маргинальными (от лат. *margo* – край, граница, или франц. *marginal* – побочный, второстепенный) принято понимать территории, занимающие внутреннее или периферийное положение в стране (регионе) [1]. Как правило, эти территории относительно изолированы от основных транспортных потоков, обеспечивающих внутрирегиональные и межрегиональные хозяйственные связи, и заметно отстают по уровню экономического и социального развития от центров сосредоточения населения и хозяйственной деятельности. Управление развитием маргинальных территорий, недостаточно вовлеченных по ряду причин в систему общественных и экономических отношений, в том числе связанных с рекреационной деятельностью, – актуальная комплексная задача [5, 6].

В основу классификации маргинальных территорий положены разнообразные принципы областей и регионов. Принцип периферийности широко используется для определения маргинальных территорий, причем как естественных формирований (область полупустыни и пустыни), так и периферийных окраинных в природопользовании территорий, требующих к себе бережного отношения. Исходя из принципа транспортной изолированности маргинальные территории, по мнению А.И. Зырянова [5, 6], можно разделить на территории расположенные на периферии региона или отдаленные от центра; слабо взаимодействующие друг с другом в связи с отсутствием транспортных коммуникаций; территории, находящиеся между транспортными артериями или

отдалённые от автодорог; регион, имеющий транспортную барьерную или тупиковую функцию, вследствие чего «изолированная» периферия преобразуется в маргинальную зону; транзитную периферию – дальнюю окраину региона, где возможности развития ослабевают из-за транспортного коридора. Классификация карьеров, являющихся объектами нашего исследования, привлекает пристальное внимание ученых и практиков в связи со спецификой направлений их рекультивации. Мелкие карьеры строительных материалов являются самым массовым объектом рекультивации. Разработаны различные классификации исходя из разных принципов:

- по величине занимаемой площади: до 0,5–2,0 га, 2–5 га, 5–10 и более 10 га;
- по составу горных пород: каменные, известняковые, песчаные, гравийные, глинистые, смешанные;
- по глубине залегания грунтовых вод: затопляемые, временно обводненные, сухие;
- по форме отработанной поверхности: карьеры с плоским дном, со ступенчатым дном, с отвалом на дне карьера, с внешними отвалами.

Нами рассматривается классификация с наличием или отсутствием в технологической схеме технического этапа рекультивации выполаживания склонов в процессе рекультивации.

В нормативных документах выделяют различные направления рекультивации по принципу целевого использования нарушенных земель [2, 3]:

- сельскохозяйственное – создание на нарушенных землях пашен, сенокосов, пастбищ и других сельскохозяйственных угодий;
- лесохозяйственное – создание лесных насаждений различного типа;
- рыбохозяйственное – создание в понижениях техногенного рельефа рыбоводческих водоемов;
- водохозяйственное – создание в понижениях техногенного рельефа водоемов различного назначения;
- рекреационное – создание на нарушенных землях объектов отдыха;
- санитарно-гигиеническое, которое предусматривает биологическую или техническую консервацию нарушенных земель, оказывающих отрицательное воздействие на окружающую среду, рекультивация которых для хозяйственного использования экономически неэффективна;
- строительное – приведение нарушенных земель в состояние, пригодное для промышленного и гражданского строительства.

Однако в ряде теоретических исследований эти направления дополняются, объединяются или конкретизируются исходя из технологических аспектов, целевых установок типа природопользования, применяемых технологий в процессе рекультивации.

Сельскохозяйственное направление рекультивации предусматривает создание на рекультивируемых площадях сельскохозяйственных кооперативов, дачных товариществ, пастбищ и участков для выпаса скота, создание пашни, лугов, садов. Предпосевная обработка подготовленных площадей проводится в зависимости от вида освоения и свойств субстрата.

Основное отличие **направления лесной рекультивации** от традиционного комплекса агролесомелиоративных и лесокультурных работ состоит в формировании нового типа лесной геосистемы, которая не может быть сведена к реконструкции растительного покрова. По мнению исследователей, она включает формирование отличного от зонального типа системы с новым формируемым рельефом и подстилающими породами, с новым гидрологическим режимом и, в соответствии с выбранным типом рекультивируемой территории, структурой почвенного покрова и составом растительного и животного мира на восстанавливаемой территории. Итогом является конструкция искусственной лесной геосистемы мелиоративного, ландшафтно-озеленительного, санитарно-гигиенического, защитного, противозерозионного, рекреационного и другого назначения.

Гидрологическое, водохозяйственное направление рекультивации узкоспециализировано на устройство водоёмов различного назначения. В затопляемых участках сухоройных карьеров рекомендуется создание противопожарных водоемов с озеленением берегов ивами.

С этим направлением тесно связано **рыбохозяйственное направление**, состоящее в создании в понижениях рельефа рыбоводческих прудов. Эта попытка утилизации создаваемых форм рельефа требует специфических мероприятий и сулит определенный экономический эффект, однако напрямую не рассматривает создание геосистемы нового типа.

Рекреационное направление по созданию зоны отдыха и прудов является попыткой уйти от первоначального типа природопользования для уменьшения затрат на рекультивацию, которое в определенных условиях может быть не только рентабельным,

но и экологически оправданным с точки зрения преобразования геосистемы. Создание мест отдыха состоит не столько в оборудовании пляжей, но требует времени на восстановление растительности и оформление пейзажности ландшафта [7, 8].

По сравнению с почвенной рекультивацией **гидролого-рекреационное направление** значительно экономически эффективней, так как не требует комплекса мер по оторфовыванию участка, известкованию кислых почв, внесению минеральных удобрений, приготовлению торфо-песчаного субстрата, предпосевной обработки субстрата, по посеву семян многолетних трав классическим способом или с использованием технологии гидропосева, ухода за посевами в виде подкормки минеральными удобрениями.

Уход от экономически безвозвратных затрат при рекультивации состоит в **строительном направлении**, когда эксплуатация карьерных площадей осуществляется за счет строительства объектов промышленного и гражданского назначения, гаражных кооперативов, тренировочных автомобильных полигонов. Однако это эксплуатационное направление возможно при условии расположения объекта в пределах транспортной доступности, внутри поселения.

Анализ мировой практики показал: кроме рассмотренных, существует целый ряд пострекультивационных направлений санации карьеров: горнотехническое, горно-технологическое, строительное, гидрологическое и комбинированное. Вместе с концептуальной технологической разработкой пострекультивационных направлений, как в нашей стране, так и за рубежом имеются только частные примеры использования карьеров несмотря на острую необходимость рекультивации сотен тысяч гектаров деградированных территорий.

Горнотехническое направление выражается в рекультивации земель и подразумевает комплекс мероприятий на формирование различных форм рельефа для последующего целевого использования в хозяйственных целях. В зависимости от назначения технический этап включает планировку (сплошную, грубую, чистовую планировку поверхности), формирование откосов методом выполаживания, создание рекультивационного слоя (снятие, транспортирование и нанесение почв и плодородных пород на рекультивируемые земли), при необходимости – коренная мелиорация, строительство дорог, специальных гидротехнических сооружений и др. [3, 9].

Горно-технологическое направление рекультивации отработанных карьеров состо-

ит в разработке методов депонирования в них коммунальных отходов и размещении нетоксичных промышленных отходов для минимизации негативного воздействия карьеров.

Совершенствование технологий захоронения твердых бытовых нетоксичных отходов при рекультивации карьеров по добыче песка и других строительных материалов подразумевает комплексный подход к рекультивации карьеров, предназначенных для использования их в качестве накопительных полигонов.

В результате целого ряда многочисленных исследований сформулированы основные принципы создания алгоритма составления проекта рекультивации, включающего геоэкологическое обследование карьера и близлежащей территории, технический этап реорганизации карьера, заполнение отходами, биологический этап рекультивации карьера и последующую охрану рекультивированных земель путем создания организационно-хозяйственной системы мероприятий почвозащитного и гидротехнического характера с агромелиорацией и биотехнологией. Заключительным этапом является геоэкологический мониторинг эффективности рекультивации земель в системе запланированного типа природопользования.

В связи с использованием песчаных карьеров в качестве накопительных полигонов для захоронения твердых бытовых отходов, ставшим традиционным направлением научных исследований, используются гигиенические требования по проектированию, эксплуатации и содержанию полигонов ТБО [4], включающие анализ использования фильтров по очистке и отведению вод, особенностям системы гидрологического режима и геохимических циклов.

В то же время технологическая рекультивация не решает геоэкологических проблем карьеров при завершении их эксплуатации. Восстанавливая внешние формы микрорельефа, внутренняя структура подстилающих горных пород резко отличается от окружающих геоморфологических структур, что приводит к изменению направленности миграции геохимических потоков, изменяется естественная схема гидрологического режима, активизируются суффозионные и карстовые процессы, процессы осадки техногенного массива в теле карьерного полигона, склоновые оползневые процессы, изменяется режим промерзания и оттаивания горных пород. Поэтому, по нашему убеждению, проблема научно-технического обеспечения создания полигонов депонирования промышленных и твердых бытовых отходов в отработанных карьерах,

с учетом системы дифференцирования карьера на структурные элементы и их использованием отходов является временным выходом из создавшегося положения и требует дальнейшей разработки [10, 11].

Решая одновременно две противоположные проблемы – санация маргинальных территорий и размещение отходов, потенциально возможным ресурсом для заполнения объема выработок являются коммунальные и промышленные отходы, объем которых по величине сопоставим. Положительным моментом является заполнение выбранных объемов, однако пути складирования и частичной утилизации отходов, имеют лишь косвенное отношение к проблеме восстановления первоначальной геоморфологической структуры геосистемы. Являясь функциональной потребностью производственной сферы и жилищно-коммунального хозяйства, размещение не утилизируемых отходов в выработанном объеме карьеров выступает как альтернативное направление рекультивации выработанных карьеров, сохраняя при этом ненарушенные территории от строительства полигонов по захоронению отходов. Учитывая необходимость создания специализированных высокотехнологичных предприятий по переработке бытовых и промышленных отходов, этот довод остается лишь утешительным, оттягивая решение проблемы на неопределенный срок. Однако, учитывая потенциальную угрозу для экологических систем токсичных бытовых отходов разных классов опасности, их использование в виде рекультивационных материалов предъявляет особые условия к их размещению: обеспечение инженерной защиты геологической среды от проникновения загрязнителей, корректировка схемы гидрологического режима, использование технологий превентивной подготовки отходов для складирования, их биологического и химического разложения.

При этом в центре внимания исследователей традиционно остаются вопросы технологического обеспечения и технические средства реализации мероприятий по реконструкции карьеров. Постоянно совершенствуются машины и комплексы для рекультивации нарушенных земель согласно рекомендации по снятию плодородного слоя почвы при производстве строительных и других работ и рекультивации земель.

Безусловно, любое узкоспециализированное направление рекультивации уступает комбинированной санации, ставящей не только утилитарные цели, но и решает полифункциональные задачи. Маргинальные территории этого типа в силу разнообразия

экологических условий характеризуются видовым разнообразием и интенсивными биологическими процессами. Задача их сбережения состоит в сохранении естественного разнообразия и потенциальных ресурсных возможностей. По мнению ряда ученых, карьеры и полигоны твердых бытовых отходов сопоставимы с понятием «экотон» и могут быть отнесены к маргинальным территориям и характеризуются специфическими условиями вследствие «краевого эффекта», проявляющимися в пограничных территориях между геосистемами и являющимися важным потенциальным ресурсом развития.

Исследования проведены при финансовой поддержке РГНФ 14-02-00472-а в рамках научно-исследовательского проекта «Экономическая оценка потенциала при формировании кластерно-логистической структуры туристско-рекреационной системы маргинальных территорий урбанизированных районов».

Список литературы

1. Гребенюк Г.Н., Чернявский Е.А., Луговской А.М. Геоэкологическая оценка модифицированных геосистем карьеров по добыче строительных материалов Западной Сибири // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11–3. – С. 538–541.
2. ГОСТ 17.4.2.02-83. Охрана природы. Земли. Номенклатура показателей пригодности нарушенного плодородного слоя почвы для землевания. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-17-4-2-02-83>.
3. ГОСТ 17.5.1.01-83. Охрана природы. Земли. Рекультивация земель. Термины и определения. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006606>.
4. Инструкция по проведению лесоустройства в лесном фонде России. – Ч. 1. – М., 1995. – 176 с.
5. Зырянов, А.И. Маргинальные территории // Географический вестник. – 2008. – № 2.
6. Зырянов А.И. Географическое поле туристского кластера // Географический вестник. – 2012. – № 1 (20). – С. 96–98.
7. Луговской А.М., Плисецкий Е.Л. Мониторинг состояния окружающей среды маргинальных территорий для оценки потенциала развития туристско-рекреационных систем // Экономика. Налоги. Право. – 2014. – № 6. – С. 61–64.
8. Луговской А.М., Гребенюк Г.Н., Чернявский Е.А. Дифференциальный подход к выбору методов рекультивации в условиях приполярных территорий // Экологическое равновесие: Антропогенные изменения географической оболочки Земли, охрана природы / под общ. ред. профессора В.Н. Скворцова. – 2013. – С. 106–109.
9. Руководство по составлению проекта рекультивации земель, занимаемых во временное пользование для строительства автомобильных дорог и дорожных сооружений. Утв. Минавтодором РСФСР от 05.06.1984 протокол № 39. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902074265>.
10. Чернявский Е.А., Луговской А.М., Гребенюк Г.Н. Особенности формирования природно-технических систем на территории карьеров по добыче песка в условиях таежной зоны Западной Сибири // Проблемы региональной экологии. – 2015. – № 2. – С. 38–41.
11. Chernyavskiy G.N., Lugovskoy E.A. Geoecological assessment of modified geosystems of building materials quarries in western siberia Grebenyuk // European Journal of Natural History. – 2012. – № 6. – С. 50–51.

УДК 551.521.2

**РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА РАДОНА В ВОЗДУХЕ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ
НЕКОТОРЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЮГА РОССИИ****Бураева Е.А., Попов Ю.В., Дергачева Е.В., Колесников И.А.,
Михайлова Т.А., Кубрина В.К., Проценко В.В.***Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону,
e-mail: burueva_elena@mail.ru, whitmouse92@yandex.ru, popov@sfedu.ru*

В работе представлены данные по содержанию радона в некоторых жилых зданиях на Юге России. Оценка объемной активности радона в жилых помещениях, расположенных в различных ландшафтных условиях Юга России и различающихся конструктивными особенностями, позволила выявить основные факторы, определяющие распределение этого газа. В многоэтажном здании (на территории г. Ростова-на-Дону) повышение концентрации радона (до 35–40 Бк/м³) связано с сезонным режимом проветривания. В малоэтажных домах индивидуальной застройки (где зафиксированы вариации ²²²Rn в помещениях одного здания в интервале ~30–140 Бк/м³) распределение концентраций определяется планировкой здания (включая вентиляционные коммуникации) и использованными строительными материалами. Годовые индивидуальные эффективные дозы облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения составляют 1,4–10,3 мЗв.

Ключевые слова: радон, распределение, объемная активность, тектоника, геологическое строение, строительные материалы

**THE RESULTS OF RADON MONITORING IN THE AIR OF RESIDENTIAL
BUILDINGS AT SOME AREAS OF SOUTH OF RUSSIA****Buraeva E.A., Popov Yu.V., Dergacheva E.V., Kolesnikov I.A.,
Mikhaylova T.A., Kubrina V.K., Protsenko V.V.***Southern Federal University, Rostov-on-Don,
e-mail: burueva_elena@mail.ru, whitmouse92@yandex.ru, popov@sfedu.ru*

The paper reports the data of the radon content among buildings of some regions in the South of Russia. The volume activity assessment of radon in residential accommodations has identified the primary factors that determine the distribution of the gas. All buildings are differed in construction characteristics and situated at various landscape conditions of the South of Russia. Due to the seasonal mode of ventilation the radon volume activity amounts to 35–40 Bq/m³ in the high-rise building in the Rostov-on-Don territory. The seasonal variations of radon content depend on weather conditions of the region and vent mode of the apartment building. In the low-rise houses of individual building (the radon volume activity varies in ~30–140 Bq/m³ in premises of a building) the distribution of radon content depends on house plan (including ventilation construction) and construction materials. At the expense of natural sources of ionizing rays, the annual effective dose limit on exposure of citizens amounts to 1,4–10,3 mZv.

Keywords: radon, distribution, volume activity, tectonics, geological structure, building materials

Одним из наиболее опасных источников ионизирующего излучения, практически постоянно воздействующих на здоровье человека, является благородный газ радон (²²²Rn) и продукты его распада [1–4, 7], способные накапливаться в зданиях. Распределение объемной активности радона ($A_{об}$) в помещениях определяется сложным сочетанием факторов, среди которых следует выделить геологическое строение территории, конструкцию здания и состав использованных для его возведения материалов, режим эксплуатации (включая характер и режимы вентилирования) [4].

Изучение содержания и накопления радона в жилых зданиях и оценка облучения населения за счет этого газа является достаточно сложной задачей, актуальной во всех регионах мира. Оценка радоноопасности территорий и зданий является важным

пунктом в радиационной безопасности человека, поэтому объемная активность радона ($A_{об}$) в жилых и служебных помещениях регламентирована Нормами радиационной безопасности НРБ-99/2009 [3]. Целью настоящего исследования является оценка содержания радиоактивного газа радона в разных типах жилых помещений регионов.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования настоящей работы являются некоторые жилые помещения регионов Юга России (г. Ростов-на-Дону, пос. Ковалевка Аксайского р-на Ростовской обл. и ст. Ивановская Красноармейского р-на Краснодарского края). Данные получены по результатам радиоэкологических экспедиций 2012–2015 годов.

Здание в г. Ростове-на-Дону построено в 2011 году имеет металлобетонный каркас, обложенный силикатным кирпичом. Внутри отделка стен и потолка штукатурная и гипсокартонная, пол застелен плиткой. Данное здание имеет подвальное помещение,

которое может служить экраном, препятствующим поступлению радона на первый этаж, и снабжено центральным отоплением, то есть внутри здания не сжигается ни уголь, ни газ, способствующие прямому поступлению радона в помещения.

Объектом исследования в поселке Ковалевка является частный дом, построенный также в 2011 году. Каркасно-щитовое здание, основным строительным материалом которого является дерево – потолок и стены деревянные, с утеплителем из каменной ваты, пол деревянный, снаружи виниловый сайдинг. Отопление от сетевого газа, внутри здания стоит газовый котел. При сгорании газа некоторое количество ^{222}Rn выходит по трубе в окружающую среду, а так как радон тяжелый газ, он оседает близ здания, соответственно часть продуктов сгорания будет накапливаться непосредственно в самом помещении.

Объектом исследования в ст. Ивановской стал частный одноэтажный дом 1970 года постройки, и с достроенными в 2011 году комнатами. Все здание построено из керамического кирпича снаружи и со шлакоблочными перегородками внутри, отделка штукатурная. В комнатах старой постройки пол деревянный, потолок мазанный (глина и солома). В новых комнатах пол залитый (бетонный), потолок гипсокартонный. Отопление от сетевого газа, внутри здания стоит газовый котел.

Объемную активность радона в воздухе помещений определяли с помощью радиометра радона РРА-01М-03, а также методом пассивной сорбции с использованием оборудования на основе активированного угля для комплексного мониторинга радона в производственных условиях, жилищах и окружающей среде и сцинтилляционным спектрометром «Прогресс-Гамма». Предварительно в исследуемых помещениях измеряли мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (гамма-фон) с использованием портативного дозиметра-радиометра СРП-88Н.

Метод измерения средней объемной активности радона в воздухе помещений с применением активированного угля основан на экспонировании в течение 1–6 суток открытых с одного конца сорбционных колонок СК-13, заполненных регенерированным активированным углем. В каждой комнате представляли по 35 сорбционных колонок СК-13 на период от 4 до 6 дней на высоте 1 метр от поверхности пола. По окончании экспонирования активированный уголь из

сорбционных колонок пересыпали в специальную счетную геометрию ИК-63.

Измерение гамма-спектра от дочерних продуктов распада радона ^{214}Pb и ^{214}Bi проводили на сцинтилляционном спектрометре «Прогресс-Гамма» в течение 3060 минут. Погрешность определения объемной активности радона в воздухе помещений не превышала 1015 %.

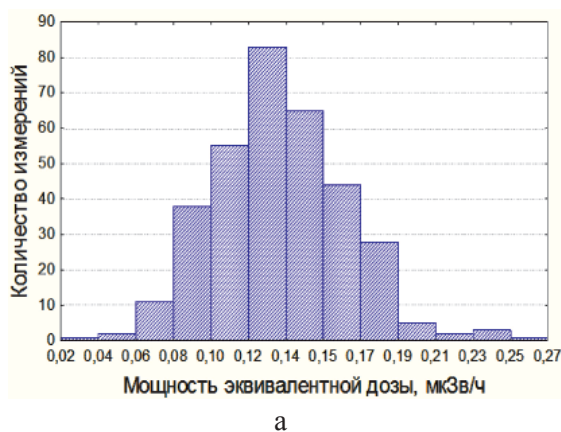
Результаты исследования и их обсуждение

В Российской Федерации в качестве основного критерия оценки радиоактивного загрязнения территории используется мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД, мкЗв/ч). Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (интенсивность облучения) – приращение эквивалентной дозы под воздействием гамма-излучения за единицу времени.

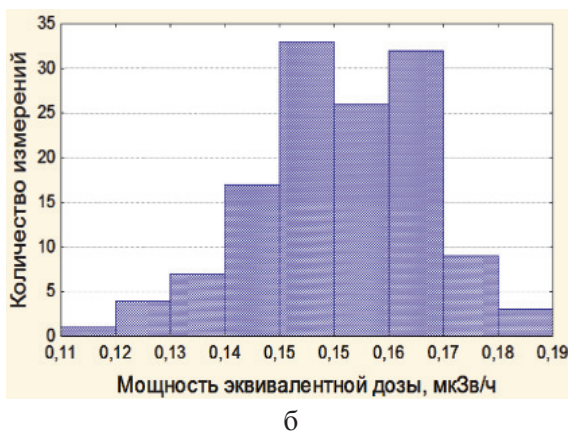
Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения («гамма-фон») природных территорий в основном обусловлена излучением от радионуклидов, содержащихся в почве (таких как естественные радионуклиды рядов ^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K , искусственный ^{137}Cs) плотностью потока радона с поверхности почвы и от космического излучения (в том числе и от солнечной радиации).

На рис. 1 представлены примеры распределения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в Ростовской области и Краснодарского края.

Мощность эквивалентной дозы (МЭД) гамма излучения на исследуемых территориях варьирует в очень широких пределах. На территориях Ростовской области и Краснодарского края МЭД гамма-излучения составляет 0,08–0,20 мкЗв/ч, при среднем значении 0,13 мкЗв/ч, и 0,14–0,17 мкЗв/ч, при среднем значении 0,15 мкЗв/ч соответственно.



а



б

Рис. 1. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в Ростовской области (а) и Краснодарском крае (б)

В целом же гамма-фон исследуемых территорий не превышает значения, установленного «Нормами радиационной безопасности» НРБ-99/2009 (0,30 $\mu\text{Зв/ч}$) и соответствует среднемировым значениям (в среднем 0,10 $\mu\text{Зв/ч}$).

Объемную активность радона в жилых зданиях на первых этажах измеряли в г. Ростов-на-Дону, п. Ковалевка (Ростовская область) и с. Ивановская (Краснодарский край). Полученные значения для $A_{\text{об}}$ радона для г. Ростова-на-Дону и поселка Ковалевка в среднем составляют 12–30 Бк/м³, для станицы Ивановской данные варьируют в пределах 42–140 Бк/м³. В табл. 1 представлены результаты оценки содержания радона на первых этажах рассматриваемых жилых объектов.

Для зданий в г. Ростове-на-Дону и п. Ковалевка средние содержания радона составляют на первом этаже 12–30 Бк/м³. Результаты проведенного мониторинга объемной активности ²²²Rn в 13-этажном здании (рис. 2) выявляют отсутствие снижения значений с этажностью, объясняемое эманацей радона из конструкционных материалов,

соизмеримой с поступлением с поверхности почвы (подстилаемой комплексом неоген-четвертичных осадочных пород). При этом примечательными являются сезонные вариации, проявляющие существенное накопление газа в осенний период, объясняемое режимом проветривания жилых комнат (наихудшим в период отсутствия отопления).

Для сравнения представлены данные, полученные в 5-этажном здании в Турции (рис. 3) [7]. Анализ этих данных позволяет выявить иную динамику – климатические особенности региона с более мягким климатом определяют ухудшение вентилирования в наиболее холодный сезон; поэтажное распределение объемной активности радона указывает, что основным источником служит эманация радона с поверхности почвы.

Относительно высокие значения содержания радона выявлены в здании в Ивановская (табл. 1), представляющем собой частный кирпично-шлакоблочный с деревянной кухней дом, схема которого с указанием МЭД и $A_{\text{об}}$ радона приведена на рис. 4.

Таблица 1

Среднее содержание ²²²Rn на первых этажах жилых зданий

Объект	Средняя $A_{\text{об}} \pm \text{Погр.}$, Бк/м ³	Примечания
г. Ростов-на-Дону	$12,2 \pm 1,3$	13-этажное каркасное металлобетонное здание
пос. Ковалевка Ростовской области	$29,9 \pm 3,1$	1-этажный частный дом, основной строительный материал – дерево
ст. Ивановская Краснодарского края	$79,7 \pm 8,5$	1-этажное кирпично-шлакоблочное здание с деревянной кухней и разным материалом полов

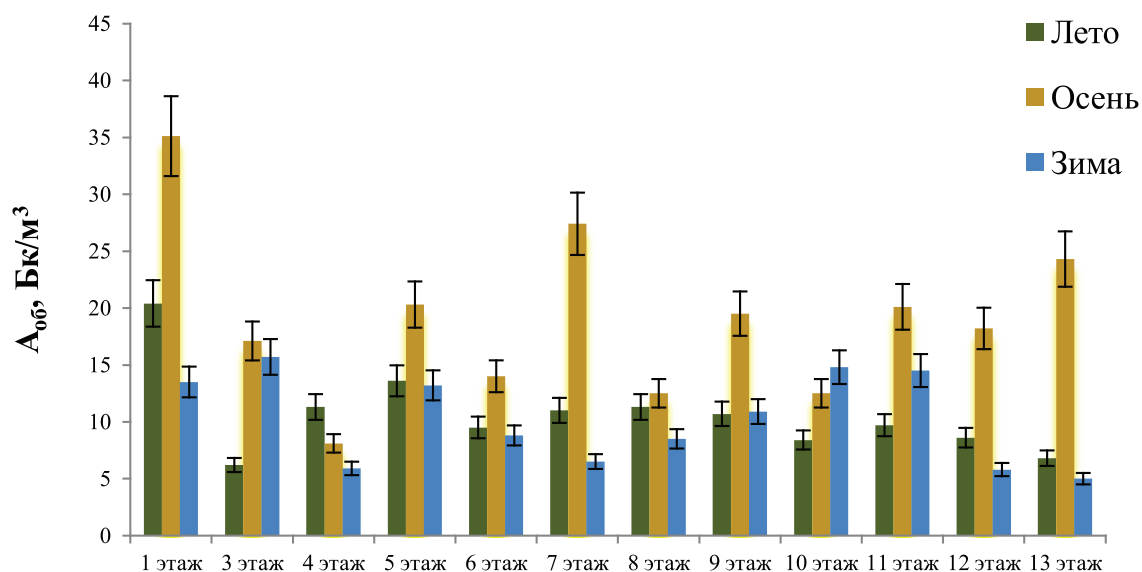


Рис. 2. Сезонное распределение радона по этажам

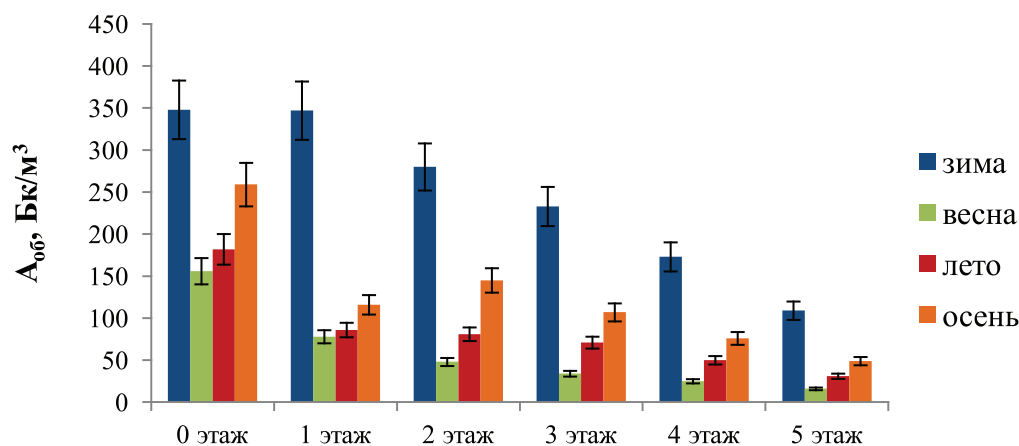


Рис. 3. Сезонное распределение радона по этажам в Турции [7]

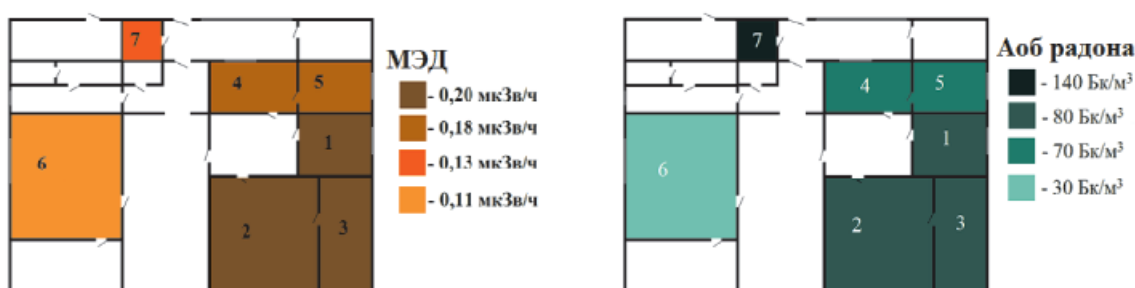


Рис. 4. Схема жилого дома:

1–3 – старые спальни (деревянный пол); 4–5 – новые спальни (бетонный пол + шлакоблочная перегородка стен); 6 – кухня (застеленный плиткой пол + деревянные стены); 7 – подсобное помещение (шлакоблочные стены)

Анализ данных отражает сложное сочетание влияния факторов, влияющих на распределение радона. Значения мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения в комнатах 1–3 (в среднем $\sim 0,20 \mu\text{Sv/h}$) и $A_{об}$ радона ($\sim$ до 140 Бк/м^3) обусловлены прямым поступлением радона из почвы через деревянные полы. Полы с бетонной стяжкой в помещениях 4 и 5 значительно снижают поступление радона из почв (рис. 4).

Наиболее высокие значения – в подсобном помещении 7, где МЭД гамма-излучения составляет в среднем $\sim 0,13 \mu\text{Sv/h}$, а $A_{об}$ радона достигает $140,3 \text{ Бк/м}^3$. Накоплению радона способствует как отсутствие постоянной вентиляции, так, вероятно, и наличие относительно повышенных содержаний радионуклидов в материале шлакоблоков, из которых возведены все стены помещения. Сочетание экранирующего естественные эманиции пола и отсутствия связанных со строительными конструкциями источников в помещении 6 определяет минимальные значения радиоактивности.

С учетом полученных данных проведены ориентировочные расчеты индивидуальной годовой эффективной дозы (ЭД) внутреннего облучения взрослых жителей населенного пункта за счет короткоживущих дочерних продуктов изотопов радона в воздухе. По данным ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений и атмосферном воздухе на территории населенного пункта такая доза рассчитывается по формуле

$$E_{вн, Rn} = 9,0 \cdot 10^{-6} \cdot 8800 \cdot (a \cdot A_{экр, ул} + b \cdot A_{экр, здан}) = 0,01584 \cdot (A_{экр, ул} + 4 \cdot A_{экр, здан}), \text{ мЗв [5]},$$

в которой приняты следующие обозначения: $9,0 \cdot 10^{-6}$ – дозовый коэффициент (в единицах $\text{мЗв}/(\text{ч} \cdot \text{Бк/м}^3)$), принимаемый в соответствии с докладом НК ДАР ООН за 2000 г. [5]; $A_{экр, i}$ – среднее значение ЭРОА изотопов радона в воздухе на открытой территории населенного пункта (индекс «ул.») и жилых зданиях («здан.») соответственно; 8800 – стандартное число часов в году; a , b – доля времени нахождения людей в помещениях и на улице соответственно; a – для городского региона 0,2; для сельского реги-

Таблица 2

Оценка индивидуальных эффективных доз (ЭД) облучения населения,
за счет природных источников ионизирующего излучения

Объект	ЭД, мЗв	²²² Rn		ЭД + ²²² Rn, мЗв	
		ср, мЗв	макс, мЗв	ср, мЗв	макс, мЗв
г. Ростов-на-Дону	0,5	0,9	2,3	1,4	2,9
пос. Ковалевка Ростовской области	0,5	1,4	4,0	2,0	4,7
ст. Ивановская Краснодарского края	0,8	5,2	9,0	6,3	10,3

она 0,4; *b* – для городского региона 0,8; для сельского 0,6.

Для изучаемых территорий была рассчитана доза облучения населения от гамма-фона и газа радона. При вычислении дозы облучения человека, время нахождения внутри помещения принято равным 13 часам. В табл. 2 показаны результаты оценки индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения в помещении.

Данные указывают, что все участки относятся к зонам радиационного контроля (полученные значения годовой ЭД превышают 1 мЗв). В таких зонах помимо мониторинга радиоактивности объектов окружающей среды, сельскохозяйственной продукции и доз внутреннего и внешнего облучения населения и критических групп осуществляются меры по снижению доз на основе принципа оптимизации и другие необходимые активные меры защиты населения [3]. В качестве меры защиты населения в поселках с частной малоэтажной застройкой, где значения $A_{об}$ радона в помещениях даже одного здания существенно варьируют из-за специфики планировки, отсутствия необходимых вентиляционных коммуникаций и различия строительных материалов, информирование о возможном влиянии ионизирующего излучения на здоровье и необходимых профилактических мерах должно являться первостепенной задачей.

Заключение

Приведенные данные о значениях и вариациях объемной активности радона в жилых зданиях отражают сложное сочетание

факторов, среди которых решающее значение в создании условий для повышения концентрации радона имеют сезонный режим вентилирования зданий, определяемый климатическими особенностями конкретного региона, и строительные решения, не учитывающие необходимость создания эффективной системы вентилирования (в заданиях индивидуальной малоэтажной застройки за счет этого достигаются содержания вплоть до могущих привести к ущербу для здоровья).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), грант 16-05-00930 А и в рамках проектной части внутреннего гранта Южного федерального университета (Тема № 213.01.-07.2014/13ПЧВГ).

Список литературы

1. Бекман И.Н. Радон: друг врач и помощник // МГУ. – 2000. – 205 с.
2. Васильев А.В. Радонная безопасность современных многоэтажных зданий: дис. ... канд. техн. наук. – Е.: 2014. – С. 14–15.
3. СанПин 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Утверждены и введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации Г.Г. Онищенко от 7 июля 2009 г. № 47 с 01 сентября 2009 г. – URL: <http://base.garant.ru/4188851>.
4. Сердюкова А.С. Изотопы радона и продукты их распада в природе / А.С. Сердюкова, Ю.Т. Капитанов. – М.: Атомиздат, 1975. С. 297.
5. Стамат И.П. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: методическое пособие / И.П. Стамат, А.М. Барковский. Э.М. Кристюк. – СПб., 2002. – С. 11–15.
6. Dubois G. An overview of radon surveys in Europe. Luxemburg, 2005.
7. Kurnaz A. Radon level and indoor gamma doses in dwellings of Trabzon, Turkey / A. Kurnaz, B. Kucukomeroglu, U. Cevikan, N. Celebi // Applied Radiation and Isotopes. – 2011. – № 69. – P. 15541559.

УДК 662.51: 556.3

ПРИМЕНЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ШАХТНЫХ ВОД

Гавришин А.И., Борисова В.Е., Торопова Е.С.

*Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова,
Новочеркасск, e-mail: agavrishin@rambler.ru*

Закономерности формирования и генезис химического состава шахтных вод Восточного Донбасса выявлены и описаны за период в сто лет. Четыре главных направления изменений состава шахтных вод определены с помощью корреляционно-регрессионного анализа и G-метода классификации многомерных наблюдений. Кислые сульфатные шахтные воды формируются по первому гидрогеохимическому направлению. Второе направление изменения состава шахтных вод приводит к формированию хлоридно-сульфатных шахтных вод. В третьем гидрогеохимическом направлении усиливается роль хлоридных ионов, воды становятся сульфатно-хлоридными за счет притока хлоридных подземных вод. По четвертому направлению формируются оригинальные содовые шахтные воды, происхождение которых связано с притоком в горные выработки подземных вод содового типа. Основные процессы, определяющие генезис химического состава вод, охарактеризованы для каждого периода: окисление сульфидов, растворение сульфатов, приток минерализованных хлоридных натриевых или содовых подземных вод. Всё это ведёт в дальнейшем к значительному увеличению минерализации, снижению pH шахтных вод и резкому росту загрязнения подземных и поверхностных вод, что требует планирования и реализации действенных реабилитационных мер.

Ключевые слова: Восточный Донбасс, химический состав, шахтные и грунтовые воды

APPLICATION OF CORRELATION ANALYSIS TO STUDY THE REGULARITIES OF FORMATION OF CHEMICAL COMPOSITION OF MINE WATER

Gavrishin A.I., Borisova V.E., Toropova E.S.

Platov South-Russian State Polytechnical University, Novocherkassk, e-mail: agavrishin@rambler.ru

Patterns of formation and genesis of the chemical composition of mine waters East of Donbass identified and documented over a period of a hundred years. Four main directions of changes in the composition of mine waters are defined by using correlation and regression analysis and G-classification methods of multivariate observations. Acidic sulphate mine waters are first hydrogeochemical direction. The second direction of changes in the composition of mine water leads to the formation of chloride-sulphate mine waters. In the third hydrogeochemical direction towards the role of chloride ions, water become sulphate-chloride due to the inflow of groundwater chloride. The fourth direction formed the original soda mine waters, whose origin is associated with the influx in mining underground water soda type. The key processes that determine the genesis of water chemistry are described for each period: oxidation of sulfides, dissolving sulfates, the influx of mineralized chloride sodium or sodium groundwater. All this leads to a significant increase in future mineralization, decreased pH mine water and a sharp increase in pollution of groundwater and surface water, which require effective planning and implementation of rehabilitation measures.

Keywords: Eastern Donbass, chemical composition, mine waters, groundwaters

Длительное функционирование в Восточном Донбассе угледобывающего и углеперерабатывающего комплексов привело к многочисленным негативным последствиям в состоянии окружающей среды. Произошло интенсивное загрязнение поверхностных вод и атмосферы, изменение режима и баланса подземных вод, трансформация химического состава природных вод с образованием минерализованных шахтных вод. Реструктуризация угольной промышленности и массовое закрытие угольных шахт в регионе еще более интенсифицировали многие негативные процессы: оседание земной поверхности и деформацию горных пород, подтопление территорий и породных отвалов, формирование аномальных по составу шахтных вод, загрязнение подземных и поверхностных, выделение «мертво-

го воздуха» и многие другие отрицательные явления. Все эти негативные факторы вызвали многочисленные деформации и разрушение сооружений, производственных и жилых зданий. Возникла необходимость выявления и описания закономерностей и генезиса формирования химического состава шахтных вод.

Материалы и методы исследований

Для изучения закономерностей изменения химического состава шахтных вод в данной работе привлечены стандартные статистические методы корреляционного и регрессионного анализов [1–3, 6]. Обобщение выполнено по результатам анализа состава шахтных вод за столетний период, с использованием ранее проведенных исследований [2–5]. Выделение основных направлений изменения состава вод произведено с помощью G-метода классификации многомерных наблюдений по программе AGAT-2 [1–5].

При анализе данных использованы названия типов по классификации О.А. Алекина. В название вод по химическому составу включаются компоненты с содержанием $\geq 25\%$ -моль, располагаются в порядке возрастания содержания.

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ закономерностей формирования химического состава шахтных вод Восточного Донбасса выполнен по результатам обобщения более 1500 анализов вод за столетний период (табл. 1). Изменение состава вод и минерализации (М) носит волнообразный характер, и образование этих изменений хорошо прослеживается по результатам анализа взаимосвязей между компонентами, что позволяет выявить генетические особенности формирования состава вод в различные периоды.

На первом этапе исследований с помощью G-метода многомерного классификационного моделирования выделено четыре главных направления изменения химиче-

ского состава шахтных вод [4], средний состав которых приведен в табл. 2.

Наиболее наглядно особенности выделенных гидрогеохимических направлений формирования состава шахтных вод видны по среднему составу, по коэффициентам корреляции и уравнениям регрессии по минерализации (табл. 3).

Обнаружены следующие закономерности в изменении силы связей содержаний компонентов с минерализацией (табл. 3): связь HCO_3 изменяется от первого направления к четвертому с отрицательной ($r = -0,71$) до положительной (0,62); связь SO_4 уменьшается от первого направления (0,94) к четвертому (0,32) и наклон линии регрессии соответственно снижается (угловой коэффициент от 0,8 до 0,2); связь Cl с минерализацией растет от первого (-0,2) направления к третьему (0,92) и соответственно увеличивается наклон линии регрессии (коэффициент от 0,0 до 0,34); для Ca отмечается слабая связь в первом

Таблица 1

Средний химический состав шахтных вод (мг/л и %-моли)

Период	pH	HCO_3	SO_4	Cl	Ca	Mg	Na	Fe	М
1920-е годы	6,9	199	1443	397	233	184	405	—	2860
		7	68	25	26	35	39		
1940-е годы	4,4	25	2590	257	304	219	642	—	4040
		1	88	11	25	30	45		
1950-е годы	5,2	221	2795	443	330	191	964	—	4947
		5	78	17	23	20	57		
1966 год	6,7	256	1741	448	98	217	710	1,1	3600
		8	68	24	10	35	55		
1992 год	7,5	580	1700	730	205	137	1035	3.6	4390
		15	54	31	15	17	68		
1999 год	7,6	676	1542	378	157	129	800	6.6	3546
		20	60	20	15	20	65		
2002 год	7,1	610	2372	445	223	250	886	47	4810
		16	63	21	17	26	57		
2010 год	7,2	581	2708	425	366	254	886	35	5275
		12	73	15	36	23	41		

Таблица 2

Средний состав шахтных вод по гидрогеохимическим направлениям (мг/л и %-моль)

Направления	pH	HCO_3	SO_4	CL	Ca	Mg	Na	М
1	4,5	65 2	2900 90	195 8	149 11	286 35	830 54	4390
2	7,8	353 10	1893 67	483 23	76 6	212 30	876 64	3940
3	6,9	299 6	1700 42	1543 52	125 8	284 28	1246 64	5240
4	7,7	545 20	856 39	626 41	39 4	84 15	832 81	2920

Таблица 3

Уравнения регрессии содержаний компонентов химического состава шахтных вод по минерализации

Компонент	Направление	<i>N</i>	<i>r</i>	Уравнение
HCO ₃	1	46	-0,71	486-0,094 М
	2	39	0,27	240 + 0,026 М
	3	45	0,47	169 + 0,04 М
	4	35	0,62	-125 + 0,193 М
SO ₄	1	46	0,97	-668 + 0,8 М
	2	39	0,94	-131 + 0,53 М
	3	45	0,85	550 + 0,23 М
	4	35	0,32	514 + 0,2 М
Cl	1	46	-0,20	235 + 0,0 М
	2	39	0,64	0,12 + 0,12 М
	3	45	0,92	-445 + 0,34 М
	4	35	0,54	-196 + 0,22 М
Ca	1	46	0,41	24 + 0,029 М
	2	39	-0,07	83-0,0 М
	3	45	0,19	104 + 0,0 М
	4	35	0,16	79 + 0,0 М
Mg	1	46	0,61	73 + 0,051 М
	2	39	0,45	108 + 0,031 М
	3	45	0,28	175 + 0,013 М
	4	35	-0,26	252-0,035 М
Na	1	46	0,94	123 + 0,11 М
	2	39	0,93	-297 + 0,29 М
	3	45	0,97	-398 + 0,32 М
	4	35	0,77	-467 + 0,38 М

Примечание. *N* – количество определений, *r* – коэффициент корреляции, *M* – минерализация.

направлении (0,41); для Mg – связи с минерализацией в первом (0,61) и втором (0,45) направлениях; для Na характерна сильная корреляционная связь с минерализацией по всем направлениям (табл. 3).

По первому гидрогеохимическому направлению формируются кислые сульфатные шахтные воды, значение pH опускается до 2,2, содержание SO₄ возрастает до 4,0–4,5, а минерализация – до 10–11 г/л; воды существенно обогащены Fe, Mn, Al, Cu и другими металлами. Происхождение данного направления связано с интенсивным развитием в горных выработках процессов окисления серы и сульфидов, заключенных в углях и вмещающих породах. Шахтные воды первого гидрогеохимического направления вносят наибольший вклад в загрязнение окружающей среды. Второе направление изменения состава шахтных вод приводит к формированию хлоридно-сульфатных шахтных вод, происхождение которых связано как с процессами окисления серы, так и с притоком хлоридных подземных вод при углублении горных выработок.

В третьем гидрогеохимическом направлении еще больше усиливается роль хлоридных ионов, воды становятся сульфатно-хлоридными за счет притока хлоридных подземных вод на глубоких горизонтах отработки угольных пластов, минерализация вод повышается, но процесс окисления серы отходит на второй план.

По четвертому направлению формируются оригинальные содовые (первый тип по О.А. Алекину) шахтные воды с повышенным содержанием иона HCO₃ и очень низкими – Ca и Mg. Происхождение этих вод связано с притоком в горные выработки подземных вод содового типа. Действительно, для Донецкого бассейна установлено два главных вида вертикальной гидрогеохимической зональности:

1) прямая гидрогеохимическая зональность характеризуется увеличением минерализации подземных вод с глубиной до 70–80 г/л и формированием хлоридных натриевых вод, которые сказываются на изменении химического состава шахтных вод по второму и третьему гидрогеохимическим направлениям;

2) обратная гидрогеохимическая зональность приводит к образованию на значительных глубинах маломинерализованных подземных вод содового состава, происхождение которых автор связывает с протеканием испарительно-конденсационных процессов и наличием нефте-газовых скоплений в Восточном Донбассе [6].

Эти содовые подземные воды, поступая в горные выработки, формируют четвертое гидрогеохимическое направление изменения состава шахтных вод.

На втором этапе исследований для изучения закономерностей формирования и генезиса химического состава шахтных вод в разные периоды опробования выполнен корреляционный анализ связей между компонентами состава этих вод.

В 1920-е годы шахтные воды имели в среднем состав хлоридно-сульфатный кальциево-магниевый-натриевый второго типа по О.А. Алекину (табл. 1). С минерализацией (2,9 г/л) наиболее сильные корреляционные связи проявляют сульфат-ион, магний, натрий и кальций (табл. 3). Следует отметить также высокие связи между следующими компонентами: HCO_3^- – pH ($r = 0,85$), SO_4^{2-} – Mg (0,79), Na – Cl (0,62), SO_4^{2-} – pH (–0,57). Отсутствует связь между SO_4^{2-} и Cl, что косвенно указывает на различные источники их происхождения в водах.

Таким образом, для данного периода генезис состава шахтных вод связан преимущественно с развитием процессов интенсивного окисления сульфидов и, частично, с притоком хлоридных подземных вод [3].

В 1940-е годы в период восстановления после затопления (во время оккупации территории) минерализация шахтных вод возросла в среднем почти в 1,5 раза (от 2,8 до 4), а сульфатов – в 1,9 (от 1,4 до 2,8 г/л), доля кислых вод увеличилась с 15 до 71 %.

шахтные воды имели сульфатный кальциево-магниевый-натриевый состав (табл. 1). Анализ корреляционных связей (табл. 5) показывает, что наиболее сильно с минерализацией связаны содержания SO_4^{2-} , Na, Mg, Ca (положительная зависимость), с HCO_3^- и pH (отрицательная), отсутствует значимая связь с Cl. Между отдельными компонентами наиболее высоки связи: HCO_3^- – pH ($r = 0,88$), SO_4^{2-} – pH (–0,84), SO_4^{2-} – Na (0,88), Ca – Mg (0,86).

Таким образом, анализ корреляционных связей между компонентами по результатам опробования шахтных вод Восточного Донбасса в 1940-е годы свидетельствует о том, что четко проявилось только первое направление изменения химического состава шахтных вод, второе, третье и четвертое направления практически отсутствуют. Следовательно, генезис состава вод связан со значительным усилением процессов окисления сульфидов и растворения сульфатов.

Характеристика шахтных вод в 1950-е годы проводится по выборке, в которой представлены преимущественно старые восстановленные шахты, на которых возникли проблемы формирования высокоминерализованных вод. В среднем по составу указанные воды являются сульфатными натриевыми, второго типа по О.А. Алекину, все имеют минерализацию более 2 г/л и 40 % – минерализацию более 5 г/л. По сравнению с данными 1920-х годов (табл. 1) в среднем увеличились приблизительно в два раза минерализация вод и содержание SO_4^{2-} и Na. Эта ситуация с шахтными водами угольных месторождений Донбасса (увеличение кислотности и сульфатности в послевоенные годы) стимулировала постановку исследований причин такого положения и поисков путей борьбы с кислыми водами.

Таблица 4

Значения парных коэффициентов корреляции между компонентами химического состава шахтных вод (1920-е годы)

Показатели	pH	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl	Ca	Mg	Na	M
pH	1,00	0,85	–0,57	0,28	–0,27	–0,35	–0,03	–0,26
HCO_3^-	0,85	1,00	–0,41	0,12	–0,15	–0,20	–0,10	–0,19
SO_4^{2-}	–0,57	–0,41	1,00	0,13	0,68	0,79	0,54	0,87
Cl	0,28	0,12	0,13	1,00	0,38	0,39	0,62	0,58
Ca	–0,27	–0,15	0,68	0,38	1,00	0,83	0,17	0,72
Mg	–0,35	–0,20	0,79	0,39	0,83	1,00	0,27	0,81
Na	–0,03	–0,10	0,54	0,62	0,17	0,27	1,00	0,76
M	–0,26	–0,19	0,87	0,58	0,72	0,81	0,76	1,00

Таблица 5

Значения парных коэффициентов корреляции
между компонентами химического состава шахтных вод (1940-е годы)

Показатели	pH	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na	M
pH	1,00	0,88	-0,84	0,27	-0,38	-0,56	-0,66	-0,71
HCO ₃	0,88	1,00	-0,79	0,07	-0,49	-0,55	-0,58	-0,68
SO ₄	-0,84	-0,79	1,00	0,15	0,63	0,78	0,88	0,97
Cl	0,27	0,07	0,15	1,00	0,66	0,56	0,7	0,37
Ca	-0,38	-0,49	0,63	0,66	1,00	0,86	0,30	0,72
Mg	-0,56	-0,55	0,78	0,56	0,86	1,00	0,48	0,84
Na	-0,66	-0,58	0,88	0,07	0,30	0,48	1,00	0,86
M	-0,71	-0,68	0,97	0,37	0,72	0,84	0,86	1,00

Таблица 6

Значения парных коэффициентов корреляции
между компонентами химического состава шахтных вод (1950-е годы)

Показатели	pH	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na	M
pH	1,00	0,82	-0,70	-0,07	0,20	0,09	-0,49	-0,49
HCO ₃	0,82	1,00	-0,48	0,24	0,18	-0,09	-0,09	-0,07
SO ₄	-0,70	-0,48	1,00	0,01	-0,10	0,02	0,66	0,78
Cl	-0,07	0,24	0,01	1,00	0,08	-0,31	0,62	0,60
Ca	0,20	0,18	-0,10	0,08	1,00	0,37	-0,36	-0,03
Mg	0,09	-0,09	0,02	-0,31	0,37	1,00	-0,51	-0,22
Na	-0,49	-0,09	0,66	0,62	-0,36	-0,51	1,00	0,92
M	-0,49	-0,07	0,78	0,60	-0,03	-0,22	0,92	1,00

Анализ корреляционных связей показывает (табл. 6), что с минерализацией тесно связаны только три компонента – Na, SO₄, Cl; практически не обнаруживают связи с минерализацией Ca и Mg. Сульфат-ион достаточно тесно коррелируется с M и Na, для хлор-иона характерна связь с Na и M, хотя между SO₄ и Cl связи по парному коэффициенту корреляции не обнаружено.

Обнаруженные корреляционные связи показали, что в формировании химического состава вод в Восточном Донбассе в 1950-е годы доминирует первое гидрогеохимическое направление (67%), ко второму направлению относятся 28% и к третьему – всего 4%. Все это свидетельствует о преобладании процессов окисления сульфидов и растворения сульфатов, при постепенном развитии процессов привноса Cl с дренируемыми подземными водами. Таким образом, резкое увеличение минерализации и содержаний SO₄ (при снижении pH), которое было спровоцировано затоплением шахт во время оккупации Донбасса, сохраняется на долгие годы.

В 1960-е годы зафиксирована высокая неоднородность содержаний основных компонентов, минерализации и pH вод. В среднем по составу это хлоридно-сульфатные магниевые-натриевые воды второго типа. По сравнению с предыдущим периодом 1950-х годов несколько снизились минерализация и концентрация SO₄ и повысилась pH (табл. 1). Концентрации большинства компонентов изменяются в 20–30 раз, для M и SO₄ – в 10–12 раз. Характеристика корреляционных связей приведена в табл. 7.

С минерализацией шахтных вод (3,6 г/л) наиболее сильные связи обнаружены для содержаний Na ($r = 0,91$), SO₄ (0,75) и Cl (0,55). Среди компонентов необходимо отметить следующие связи: pH – SO₄ ($r = -0,68$), pH – HCO₃ (0,66) и Na – Cl (0,63). Особую информацию о наличии четвертого направления несёт отрицательный коэффициент корреляции HCO₃ – Mg (-0,62). Таким образом, анализ корреляционных связей свидетельствует о том, что теперь в формировании химического состава вод участвуют все четыре направления изменения

их состава. Четвёртое направление, приводящее к образованию содовых по составу вод, особенно характерно для шахт Гуково-Зверевского угленосного района [4].

В 1994 году началась ликвидация угольных шахт в Восточном Донбассе путём полного затопления шахт, затопления с перетоком вод в соседние ликвидированные шахты, с поддержанием уровней вод на безопасной глубине, способом «сухой консервации». Ликвидация осуществлялась более чем на 30 шахтах. Поток вод был направлен из недр в отработанное пространство шахт и отобрать пробы вод не было возможности.

К 2010 году процесс ликвидации угольных шахт в Восточном Донбассе в основном был реализован. В среднем по составу шахтные воды были сульфатными кальциево-натриевыми второго типа. Характерно дальнейшее повышение минерализации вод, преимущественно за счет увеличения содержания SO_4 и Na. Воды имеют нейтральную реакцию среды. Характеристика

взаимосвязей между компонентами приведена в табл. 8.

С минерализацией наиболее сильные связи обнаружены для SO_4 , Mg, Na, Fe, следует отметить связь содержания SO_4 с Mg и Fe, а pH отрицательно связан с Fe и SO_4 . Все это убедительно свидетельствует, что после ликвидации угольных шахт в Восточном Донбассе генезис химического состава шахтных вод связан преимущественно с развитием процессов растворения сульфатов, однако начинают интенсифицироваться процессы окисления сульфидов, что может привести в дальнейшем к снижению pH вод.

Заключение

Таким образом, изучение корреляционных зависимостей между компонентами химического состава шахтных вод Восточного Донбасса позволило уверенно выделить основные направления изменения их состава. В 1920–1928 годах генезис состава шахтных вод связан преимущественно с развитием процессов интенсивного окисления

Таблица 7

Значения парных коэффициентов корреляции между компонентами химического состава шахтных вод (1960-е годы)

Показатели	pH	HCO_3	SO_4	Cl	Ca	Mg	Na	M
pH	1,00	0,66	–0,68	0,24	–0,18	–0,45	–0,15	–0,33
HCO_3	0,66	1,00	–0,48	0,31	–0,23	–0,62	0,24	–0,02
SO_4	–0,68	–0,48	1,00	–0,09	0,32	0,56	0,53	0,75
Cl	0,24	0,31	–0,09	1,00	–0,04	0,09	0,63	0,55
Ca	–0,18	–0,23	0,32	–0,04	1,00	0,24	–0,06	0,21
Mg	–0,45	–0,62	0,56	0,09	0,24	1,00	0,04	0,38
Na	–0,15	0,24	0,53	0,63	–0,06	0,04	1,00	0,91
M	–0,33	–0,02	0,75	0,55	0,21	0,38	0,91	1,00

Таблица 8

Значения парных коэффициентов корреляции между компонентами химического состава шахтных вод в 2010 году

Показатели	pH	HCO_3	SO_4	Cl	Ca	Mg	Na	Fe	M
pH	1,00	–0,03	–0,55	0,13	–0,35	–0,59	–0,12	–0,55	–0,46
HCO_3	–0,03	1,00	–0,16	0,09	–0,09	–0,14	0,19	–0,32	–0,05
SO_4	–0,55	–0,16	1,00	0,04	0,42	0,84	0,65	0,78	0,95
Cl	0,13	0,09	0,04	1,00	0,23	0,21	0,49	–0,01	0,34
Ca	–0,35	–0,09	0,42	0,23	1,00	0,45	0,08	0,16	0,44
Mg	–0,59	–0,14	0,84	0,21	0,45	1,00	0,38	0,78	0,84
Na	–0,12	0,19	0,65	0,49	0,08	0,38	1,00	0,34	0,79
Fe	–0,55	–0,32	0,78	–0,01	0,16	0,78	0,34	1,00	0,71
M	–0,46	–0,05	0,95	0,34	0,44	0,84	0,79	0,71	1,00

сульфидов и, частично, с притоком хлоридных подземных вод. В 1943–1945 годах четко проявилось только первое направление изменения химического состава шахтных вод, второе, третье и четвертое направления практически отсутствуют. Следовательно, генезис состава вод обусловлен значительным усилением процессов окисления сульфидов и растворения сульфатов.

В формировании химического состава вод в Восточном Донбассе в 1950-е годы преобладали процессы окисления сульфидов и растворения сульфатов, при постепенном развитии процессов привноса Cl с дренируемыми подземными водами. Анализ корреляционных связей свидетельствует о том, что в 1960-е годы в формировании химического состава вод участвуют все четыре направления изменения их состава. Четвертое направление, приводящее к образованию содовых по составу вод, особенно характерно для шахт Гуково-Зверевского угленосного района [4].

В 2010 году после ликвидации угольных шахт в Восточном Донбассе генезис химического состава шахтных вод обусловлен преимущественно развитием

процессов растворения сульфатов, однако начинают интенсифицироваться процессы окисления сульфидов. Всё это ведёт в дальнейшем к значительному увеличению минерализации, снижению pH шахтных вод и резкому росту загрязнения подземных и поверхностных вод, что требует планирования и реализации действенных реабилитационных мер.

Список литературы

1. Гавришин А.И. Гидрогеохимические исследования с применением математической статистики и ЭВМ. – М.: Недра, 1974. – 146 с.
2. Гавришин А.И., Корadini А. Многомерный классификационный метод и его применение при изучении природных объектов. – М.: Недра, 1994. – 92 с.
3. Гавришин А.И. Сборник задач по математической статистике для геологов. – Новочеркасск: изд. ЮРГТУ(НПИ), 2010. – 102 с.
4. Гавришин А.И. Закономерности формирования химического состава грунтовых вод каменноугольных отложений Восточного Донбасса // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 1. – С. 102–106.
5. Гавришин А.И., Борисова В.Е., Торопова Е.С. О формировании химического состава грунтовых вод в Шахтинском угленосном районе Восточного Донбасса // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 5. – С. 111–115.
6. Родионов Д.А. Справочник по математическим методам в геологии. – М.: Недра, 1991. – 336 с.

УДК 574(571.56)

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ АЛАСНЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Гоголева П.А., Стручкова С.Г., Федорова Е.Д.

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

Приводится закономерность образования аласов Лено-Амгинского междуречья, которое обусловлено комплексным воздействием всех абиотических факторов, главными из которых являются мощность ледового комплекса и экстремально-климатические условия. Якутия является территорией сплошного распространения многолетней мерзлоты. От суммы температур, количественных данных увлажнения, механического состава почв, толщины и льдистости мерзлотного комплекса зависит размер и глубина аласов. Состав, структура и динамика аласной растительности определяется особенностями этих физико-географических условий территории, и от расположения на древних террасах долины р. Лены (Бестяхской, Тюнгюлюнской и Абалахской) зависит полнота видового разнообразия и разнообразия растительных сообществ. Аласы испытывают сильный антропогенный пресс, что также приводит к образованию новых мерзлотных образований, и процесс аласообразования продолжается.

Ключевые слова: Центральная Якутия, Лено-Амгинское междуречье, алас, термокарст, ледовый комплекс, биоразнообразие и разнообразие растительных сообществ, антропогенный пресс

PHYSICO-GEOGRAPHICAL CONDITIONS OF THE ALASS LANDSCAPE DEVELOPMENT AND REGULARITIES OF THE VEGETATION DISTRIBUTION

Gogoleva P.A., Struchkova S.G., Fedorova E.D.

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

In this article we make characterization of the regularity of the alass formation of Leno-Amga interfluvial area, which is caused by complex impact of various abiotic factors, the main of which are the thickness of the ice complex and extreme climatic conditions. Yakutia is an area of continuous distributed permafrost. The dimensional characteristics (size and depth) of the alasses depend on sum of air temperatures, quantitative data of the moisture, mechanical composition of soil, the thickness of ice complex. The composition, structure and dynamics of the alass vegetation are determined by the characteristics of these physiographic conditions of the territory and the location on ancient terraces of the Lena river valley (Bestyakhskaya, Tungulunskaya and Abalakhskaia). Alasses are experiencing strong anthropogenic pressure, which also leads to the formation of new permafrost formations and the continuation of the alass formation processes.

Keywords: Central Yakutia, Leno-Amginsky influence, alass, thermokarst, ice complex, biodiversity and the diversity of plant communities, anthropogenic pressure

Состав, структура и динамика аласной растительности определяется особенностями физико-географических условий территории Лено-Амгинского междуречья, которая является частью Центрально-Якутской равнины. Его северная граница проходит по естественным рубежам по р. Алдан, западная – по р. Лена, восточная – по р. Амга и южная – по 60,5° с. ш. В административном отношении в территорию рассматриваемого региона входят 5 улусов республики: Амгинский, Мегино-Кангаласский, Намский, Таттинский, Усть-Алданский, Чурапчинский [2, 34].

Лено-Амгинское междуречье расположено в области накопления мощной толщи мезозойских и кайнозойских отложений. В верхней части этих отложений преобладают слабосцементированные и рыхлые песчаники и алевролиты с карбонатно-глинистым цементом [36]. Мощность покрова

четвертичных отложений достигает 80–100 м. «На рыхлых породах четвертичного возраста, – писал А.И. Ефимов [17, с. 226], – встречается своеобразный «ледовый комплекс», состоящий из льдистых суглинков, супесей и массивов льда». Для Центральной Якутии характерны равнинность и сложная террасированность рельефа. На Лено-Амгинском междуречье выделяют [38, 36, 19, 20] средневысотные террасы р. Лены: Бестяхскую, Тюнгюлюнскую и Абалахскую (рис. 1). На этих террасах основным типом рельефа являются термокарстовый (аласный) и эрозионно-аккумулятивный. Зарождению и развитию аласных форм рельефа благоприятствуют геологические и геоморфологические условия Центрально-Якутской низменности [6, 5]. Аласные формы рельефа изучены и описаны многими исследователями [12, 24, 26, 30, 16, 18, 35, 22, 36, 7, 21, 31, 4, 39, 40, 25, 5 и др.].

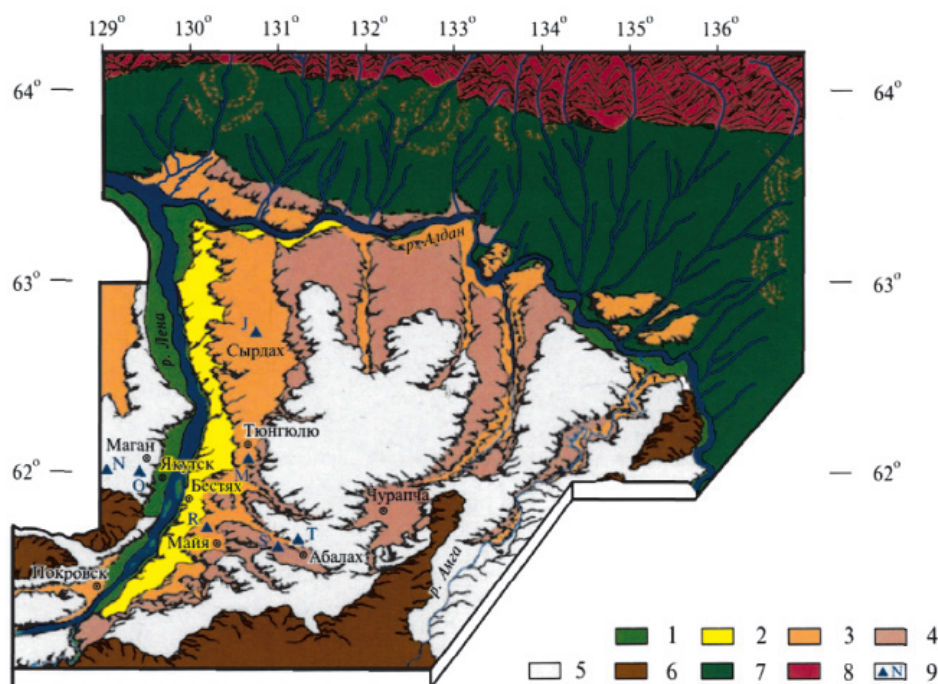


Рис. 1. Геоморфологическая карта Лено-Амгинского междуречья и места отбора проб:
1 – современные поймы; 2 – Бестяхская терраса; 3 – Тюнжюльонская терраса;
4 – Абалахская терраса; 5 – Маганская терраса; 6 – денудационная равнина;
7 – ледниково-флювиогляциальная равнина; 8 – отроги Верхоянской складчатой области;
9 – места отбора проб [14]

В процессе развития аласа выделяют следующие формы рельефа: зачаточный быллар, быллар, ие, дюедя, тыымпы, элементарный алас – начиная от просадочной ложбины до резко выраженной котловины [11, 38, 14].

В области развития аласного рельефа П.А. Соловьев [35] выделяет: относительно обширные равнинные участки – межаласье и положительные формы рельефа; отрицательные, врезанные в межаласье формы рельефа эрозионного и преимущественно термокарстового происхождения – аласы (рис. 2). Положительные формы аласного рельефа образуются расчленением межаласья, к ним примыкают бугры пучения – булгунняхи [36].

Межаласье представляет собой главным образом древние поймы, рельеф которых преобразован позднейшими процессами при переходе их в положение надпойменных террас. История развития рельефа равнин, сложенных ледовым комплексом – это история формирования межаласья и его постепенного разрушения термокарстом и термоденудацией. Выделяют 2 фазы: фазу накопления ледового комплекса и формирования межаласья и фазу деградации ледового комплекса,

разрушения межаласья. Аласный рельеф соответствует второй фазе [35].

По Н.П. Босикову [5], аласы – замкнутые или полузамкнутые термокарстовые котловины, развитые на плакорных пространствах в области распространения многолетнемерзлых пород. Специфическим признаком этих котловин является вытаивание подземного льда и образование озера. По мере истощения внутригрунтового запаса льда и из-за недостаточности увлажнения территории озеро усыхает, на дне котловины развиваются в разной степени засоленные типы почв. Засушливый климат обуславливает развитие в Центральной Якутии аласных ландшафтов, не имеющих аналогов нигде [8, 5, 13]. Аласообразовательные процессы могут вызывать объединение нескольких озер воедино. Например, по описаниям [15], место современной котловины у оз. Мюрю в 1670–1680 гг. было занято 12–13 небольшими термокарстовыми озерами, позже в результате протавания подземных льдов перемычки между озерами разрушились, образовалась единая обширная замкнутая впадина. В настоящее время она имеет сложную форму площадью 65,6 км² [20, 1].

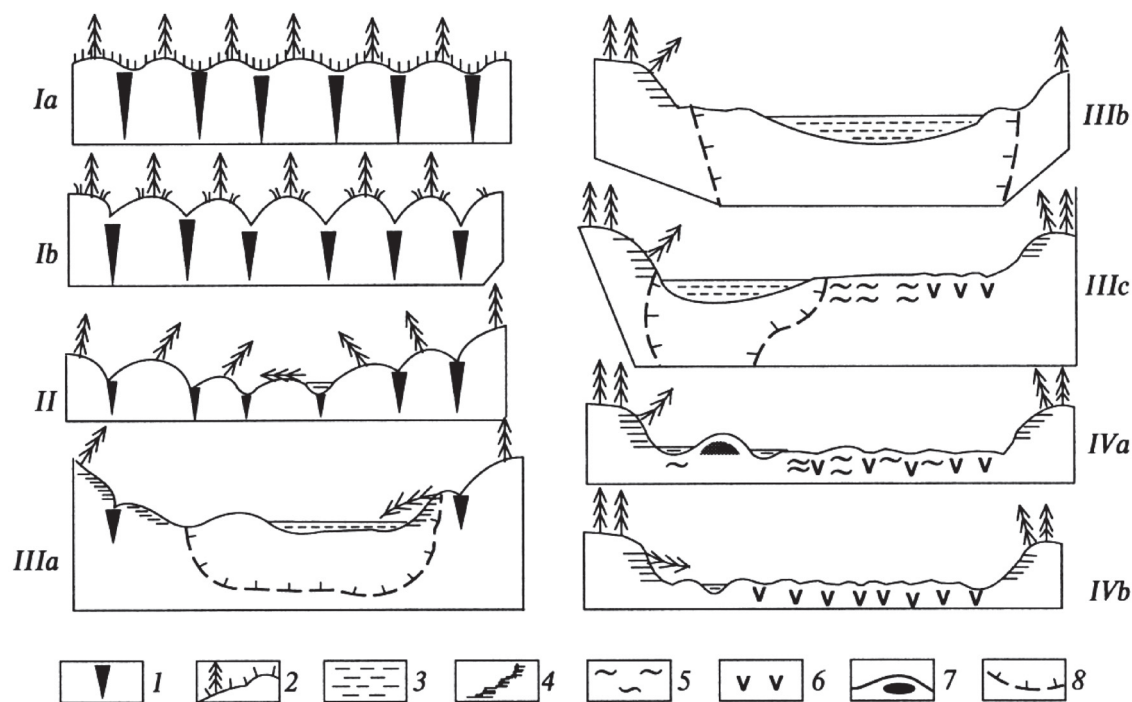


Рис. 2. Схема термокарстового образования аласов [по 38]:

Ia – равнина с содержанием ледового комплекса; Ib – начальная стадия термокарста в виде бугристо-западинного микрорельефа (быллар); II – молодая термокарстовая котловина (дюдя); IIIa – первичное термокарстовое озеро (тымпы); IIIb – элементарный алас; IIIc – зрелый алас; IVa – старый алас с бугром пучения (булгунняхом); IVb – старый алас. Условные обозначения:

1 – сингенетические ледяные жилы; 2 – древесно-травянистый покров; 3 – вода; 4 – оползни; 5 – аласные отложения; 6 – эпигенетические ледяные жилы; 7 – бугор пучения; 8 – кровля многолетней мерзлоты

Процессы развития аласного рельефа во многом предопределяются мощностью ледового комплекса и количеством подземного льда. Многие исследования показали, что в ряде районов, несмотря на большое количество котловин, толщина вмещающих их четвертичных отложений характеризуется малым содержанием подземного льда, как, например, в Лено-Виллюйском междуречье [22, 21], или даже полным его отсутствием. Отчасти это связано с особенностями механического состава грунтов: средний и нижний уровни древнеаллювиальной равнины в бассейне Виллюя сложены хорошо дренируемыми песками и супесями. Поэтому в этих районах аласы неглубокие, плоские. То же касается и Бестяхской террасы р. Лены. Аласы же террас более высокого уровня Лено-Амгинского междуречья характеризуются большой глубиной, овально-округлой формой, с крутыми бугроватыми склонами. Грунты здесь сложены суглинками, способствовавшими накоплению влаги и, соответственно, последующему

аккумулированию подземных льдов. Таяние последних и обусловило наличие выраженного мерзлотного рельефа. Как было сказано ранее, в северной и центральной части междуречья выделяются две наиболее аласные древние надпойменные террасы, получившие название Тюнгилюнская и Абалахская (рис. 1). Мощность многолетнемерзлых пород достигает в районе Майя 100–170 м, у Абалаха – 260 м, в котловинах Тюнгилю и Мюрю – 300–320 м, у пос. Чурапча – 530 м [38].

В то время как аласы Лено-Амгинского междуречья характеризуются большой глубиной, овально-округлой формой, с крутыми бугроватыми склонами. В северной части междуречья выделяются две наиболее аласные надпойменные террасы, получившие название Тюнгилюнская и Абалахская (рис. 1). В пределах обеих террас многолетнемерзлые породы распространены повсеместно, мощность их достигает в районе Майя 100–170 м, у Абалаха – 260 м, в котловинах Тюнгилю и Мюрю – 300–320 м, у пос. Чурапча – 530 м [38].

Растительность развивается концентрическими поясами вокруг аласных озер, и, в зависимости от степени обводненности, засоленности почвы и глубины аласных котловин, их количество может быть от 3 до 5 [34].

В первом поясе господствуют сообщества прибрежно-водной растительности (*Scolochloetum festucaeae*; *Glycerietum triflorae*) с *Glyceria triflora* (Korsh) Kom., *Scolochloa festucaeae* (Willd.) Link, *Scirpus lacustris* L., *Senecio congestus* (R.Br.) DC., *Phragmites australis* (Cav.) Kom., *Typha latifolia* L.), во втором – сообщества болотистых лугов и влажных лугов (*Alopecuretum arundinacei*; *Caricetum juncellae calamagrostetosum neglectae*, *Caricetum juncellae typicum*) с *Carex juncella* (Fries) Th. Fries, *C. lithophila* (Turcz.) L. Hämet-Ahti, *Calamagrostis neglecta* (Ehrh.) Gaertn., *Beckmannia syzigachne* (Steud.) Fern., *Alopecurus arundinaceus* Poir., *Agrostis stolonifera* L. и др., в третьем – настоящие луга в разной степени засоленные (*Thalictro – Hordeetum brevisubulati*, *Puccinellietum tenuiflorae*; *Polygono sibirici-Puccinellietum*) с *Hordeum brevisubulatum* (Trin.) Link, *Puccinellia tenuiflora* (Griseb.) Scribn. et Merr., в четвертом – остепненные луга, (*Artemisio commutatae – Hordeetum*) с *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Artemisia commutata* Bess., *Carex duriuscula* C.A. Mey. (рис. 3). На склонах развивается степная растительность со *Stipa krylovii* Roshev., *Psathyrostachys junceus* (Sukacz.) Peschkova) с одноименными ассоциациями [34, 1, 45].

Мониторинговые исследования за динамикой биоразнообразия и продуктивности на модельном аласе Лено-Амгинского междуречья за 25 лет по трем поясам очень хорошо показали их зависимость от увлажнения, температуры воздуха и инвазии саранчовых за определенные годы [27, 28, 29].

Аласы Лено-Амгинского междуречья характеризуются беспорядочностью размещения. Преобладают замкнутые котловины овально-округлой формы с крутыми берегами 45–70 градусов, высота склонов колеблется в пределах 15–60 м и более и с плоским дном с одним или двумя озерами небольших размеров, находящихся в стадии усыхания. Склоны южной экспозиции осложнены байджерами, а северной – покрыты лесом с моховым покровом. Размеры аласов разные, зависят от мощности и состава ледового комплекса и т.д. Наиболее крупными являются урочища Мюрю, Тюнгюлю, Майя, Сырдах, Чюйя, Чыла и др.,

протяженность и ширина может достигать нескольких километров.

Характерной особенностью климата описываемой территории, как и для всей Центральной Якутии, является резкая континентальность, которая проявляется в больших годовых колебаниях температуры, относительно малом количестве выпадающих осадков, определяющихся географическим положением региона. Основным фактором, влияющим на состояние атмосферы, является мощный и устойчивый зимний Сибирский антициклон, общий западный перенос воздуха лишает Центральную Якутию существенного воздействия Тихого океана [9, 8, 10]. Теплый воздух с его стороны приносит потепление в холодное время года. Иногда в летние месяцы наблюдается перемещение циклонов с Прибайкалья или Монголии. Средняя температура зимних месяцев составляет –35 и –45°C. Продолжительность холодного периода (ниже 0°C) около 220 дней [10, 42]. Средняя температура самого теплого месяца максимальная достигает 37,7°C. Продолжительность теплого периода (выше 0°C) около 145 дней. Средняя годовая температура воздуха отрицательная (–8,5...–11,9°C). Все это определяет резкую континентальность климата – очень холодные зимы, жаркое лето, амплитуда температур может выйти за 100 градусов, зима продолжительная, холодная, малоснежная, а лето короткое, но жаркое и солнечное.

По количеству выпадающих за год осадков Центральная Якутия приближается к степным и полупустынным районам. «Индекс сухости» равен 1,0–3,0, аналогичные индексы сухости характерны для степных районов европейской части России и Западной Сибири. Для летнего сезона он равен 3,0 [10].

Испарение с поверхности почвы почти в 2 раза (250–300 мм) превышает количество осадков, недостающая влага на поверхности подтягивается из нижележащих слоев почвы. Вода испаряется, а соли остаются на поверхности дна аласов, в связи с чем почвы аласов и вода в озерах в разной степени засолены. В связи с этим наблюдается на аласах «градиент Кононова» (назван в честь К.Е. Кононова), на верхних поясах засоление меньше (соли смываются талой водой) и в нижних поясах слабее (размывается водой озер) и своеобразные солончаки-такыры могут встречаться только в средних поясах аласов.

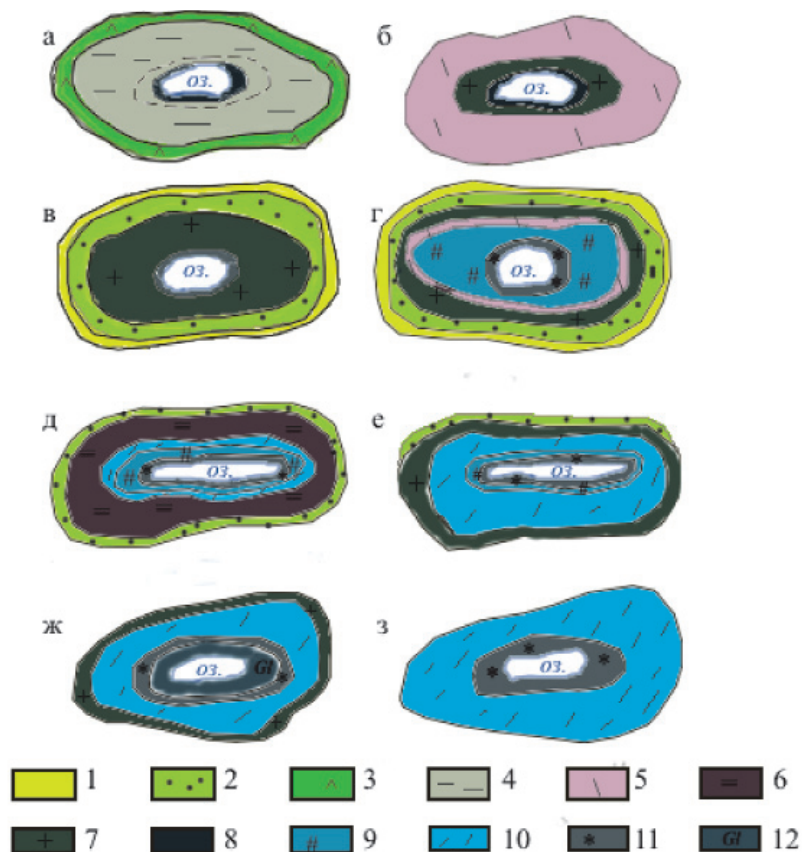


Рис. 3. Схема структуры растительности аласов [34]. Условные обозначения к рис. 3:
а, б, в, г, д, е, ж, з – варианты по видам аласов. Цифрами обозначены синтаксоны:
1 – *Artemisia rupestris* – *Festucetum lenensis*; 2 – *Artemisia rupestris* – *Hordeetum*;
3 – *Artemisia commutatae* – *Hordeetum*; 4 – *Artemisietum jacuticae*; 5 – *Puccinellietum tenuiflorae*;
6 – *Polygonum sibirici* – *Puccinellietum*; 7 – *Thalictro* – *Hordeetum brevisubulati*;
8 – *Alopecuretum arundinacei*; 9 – *Caricetum juncellae calamagrostetosum neglectae*
10 – *Caricetum juncellae typicum*; 11 – *Scolochloetum festucaeae*; 12 – *Glycerietum triflorae*

По сумме эффективных температур (1400–1500°C), т.е. по обеспеченности растительности теплом, районы Центральной Якутии отнесены к умеренной зоне [10, 42]. Центральную Якутию Д.И. Шашко [42] относит к засушливому

сектору подзоны среднеспелых культур с модулем увлажнения меньше 0,25. Особенно недостаточно увлажнение весной и в начале лета, т.е. в тот период вегетации, когда для растений особенно необходима влага.



Рис. 4. Зрелый алас с булгуняхом (фото Н.П. Босикова)

Снежный покров, несмотря на небольшую высоту, играет определенную теплозащитную роль. Отопляющий эффект снежного покрова в Центральной Якутии доходит до 15–20 °С, что способствует хорошей перезимовке растений [10, 42].

Ветровой режим характеризуется сменой направлений и скорости ветра в зимний и летний сезоны. Зимой преобладают ветры южных и юго-западных и западных направлений. В летнее время в основном преобладают северные, северо-восточные, северо-западные и западные ветры. Средняя скорость ветра не превышает 1–2 м/с. Летом в связи с усилением циклонической деятельности скорость ветра увеличивается в среднем до 5 м/с [10]. Когда зимой бывают достаточно высокие снежные заносы, весной они долго тают, тогда растениям во время вегетации хватает влаги и они развиваются лучше.

В природе наблюдается внутривековая изменчивость климатических данных [40, 25], но в последние десятилетия наблюдается рост среднегодовой температуры от –11,9 до –6,8 °С [3, 41].

Таким образом, развитие аласов обусловлено комплексным воздействием всех абиотических факторов, главными из которых являются ледовый комплекс и экстремально-климатические условия. На развитие растительности, на его видовой состав и продуктивность, смену типов в определенные годы влияет увлажненность определенного года.

Работа выполнена при поддержке гранта № 15-05-09379/15 «Аласы Центральной Якутии: пространственно-динамический и ботанико-географический анализы».

Список литературы

1. Алас Мюрю / Д.Д. Саввинов, Н.П. Босиков, П.А. Голева и др. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2008. – 128 с.
2. Аласные экосистемы: структура, функционирование, динамика / Д.Д. Саввинов, С.И. Миронова, Н.П. Босиков и др. – Новосибирск: Наука, 2005. – 264 с.
3. Архив погоды в Якутске [Электронный ресурс]. – http://tp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%AF%D0%BA%D1%83%D1%82%D1%81%D0%BA%D0%B5 (дата обращения 24 мая 2016).
4. Босиков Н.П. Аласность Центральной Якутии // Геоэкологические условия в горах на равнинах Азии. – Якутск: Изд-во ИМЗ СО АН СССР, 1978. – С. 113–118.
5. Босиков Н.П. Эволюция аласов Центральной Якутии. – Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 1991. – 128 с.
6. Босиков Н.П., Васильев К.С., Федоров А.Н. Мерзлотные ландшафты зоны освоения Лено-Алданского междуречья. – Якутск: Изд. ИМЗ СО АН СССР, 1985. – 124 с.
7. Вельмина Н.А. К вопросу о происхождении замкнутых (аласных) впадин Центральной Якутии // Изв. АН СССР. Сер. географ. – 1957. – № 2. – С. 97–105.
8. Гаврилова М.К. Климат Центральной Якутии. – Якутск: Якут. кн. изд-во, 1973. – 118 с.
9. Гаврилова М.К. Микроклиматический и тепловой режим озера Тюнголю // Вопр. Географии Якутии. – Якутск, 1969. – Вып. 5. – С. 57–72.
10. Гаврилова М.К. Современный климат и вечная мерзлота на континентах. – Новосибирск: Наука, 1981. – 113 с.
11. Граве Н.А. Ископаемые льды водораздела рек Лены и Алдана // Труды Ин-та мерзлотоведения. – Л.: Изд-во АН СССР, 1944. – Т. 17. – С. 10–32.
12. Григорьев А.А. Геоморфологический очерк Якутии. – Якутия, Л.; М., 1927. – С. 39.
13. Десяткин Р.В. Почвы аласов Лено-Амгинского междуречья. – Якутск: Изд. ЯФ СО АН СССР, 1984. – 168 с.
14. Десяткин Р.В. Почвообразование в термокарстовых котловинах – аласах криолитозоны. – Новосибирск: Наука, 2008. – 324 с.
15. Егоров А.Д. Воды и озера якутских аласов. – Якутск, 1942. – 33 с.
16. Ефимов А.И. Высыхание термокарстовых озер в Центральной Якутии // Мерзлотоведение. – Т. 1, Вып. 2. – М.: Изд-во АН СССР, 1946. – С. 98–114.
17. Ефимов А.И. Мерзлотные условия Центральной Якутии // Материалы о природных условиях и сельском хозяйстве Центральной Якутии. – Якутск: Изд-во АН СССР, 1954. – С. 222–233.
18. Зольников В.Г. Рельеф и почвообразующие породы восточной половины Центральной Якутии // Материалы о природных условиях и сельском хозяйстве Центральной Якутии. – М., 1954. – С. 7–54.
19. Иванов М.С. Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины. – Новосибирск: Наука, 1984. – 126 с.
20. Иванов М.С., Потапов А.П. Мерзлотно-гидрогеологические особенности крупных термокарстовых котловин Лено-Амгинского междуречья (на примере котловины Мюрю). – Якутск, 1971. – С. 116–122.
21. Качурин С.П. Аласы Центральной Якутии // Тр. Сев.-Вост. отд. ин-та мерзлотоведения АН СССР. – Вып. 1. – Якутск, 1958. – С. 167–178.
22. Качурин С.П. Вечная мерзлота и рельеф на Лено-Вилуйском водоразделе // Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике. – Вып. 2. – М., 1950. – С. 71–97.
23. Кононов К.Е. К вопросу о режиме влажности почв аласов Центральной Якутии // Уч. зап. Якут. гос. ун-та. – Вып. 16. – Якутск, 1965. – С. 57–75.
24. Красюк А.А. Почвы Лено-Амгинского водораздела. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1927. – 171 с.
25. Мерзлотные ландшафты Якутии: Пояснительная записка к «Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР» масштаба 1:2 500 000 / А.Н. Федоров, Т.Д. Ботулу, С.П. Варламов и др. – Новосибирск: ГУГК, 1989. – 170 с.
26. Молодых И.Ф. Пути сообщения Якутии // Якутия. – Л.: Изд-во АН СССР, 1927. – С. 575–673.
27. Николаева М.Х., Десяткин Р.В. Динамика видового разнообразия и продуктивности остепненных лугов аласов Центральной Якутии // Растительные ресурсы. – 2016. – Т. 52. – Вып. 1. – С. 20–27.
28. Николаева М.Х., Десяткин Р.В. Динамика видового разнообразия и продуктивности влажных лугов аласов Центральной Якутии // Растительные ресурсы. – 2015. – Т. 51. – Вып. 1. – С. 70–80.

29. Николаева М.Х., Десяткин Р.В. Динамика видового разнообразия и продуктивности настоящих лугов аласов Центральной Якутии // Растительные ресурсы. – 2015. – Т. 51. – Вып. 3. – С. 328–335.
30. Огнев Г.Н. Геологические наблюдения на Ленско-Амгинском водоразделе // Материалы комиссии по изучению ЯАССР. – Л.: Изд-во АН СССР, 1927. – Вып. 22. – 72 с.
31. Павлов П.Д. К вопросу о происхождении озерно-аласных котловин северо-восточной части Лено-Вилуйского междуречья. – Учен. зап. Якут. гос. ун-та, вып. 12. – Якутск, 1965. – С. 53–56.
32. Пчелинцев А.М. Морфологическое описание термокарстового процесса в Якутии // Мерзлотоведение. – 1946. – Т. 1, № 2. – С. 95–106.
33. Сивцева А.И. Ландшафтообразующие факторы на равнине Центральной Якутии // Вопр. географии Якутии. – Якутск, 1963. – Вып. 3. – С. 7–11.
34. Синтаксономия и симфитосоциология растительности аласов Центральной Якутии / П.А. Гоголева, К.Е. Кононов, Б.М. Миркин, С.И. Миронова. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 1987. – 176 с.
35. Соловьев П.А. Булгунняхы Центральной Якутии // Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике. – Изд. АН СССР. – Вып. 3. – 1952. – С. 226–258.
36. Соловьев П.А. Аласный рельеф Центральной Якутии и его происхождение. – // Многолетнемерзлые породы и сопутствующие им явления на территории Якутской АССР. – М., 1962. – С. 38–53.
37. Соловьев П.А. Геотермическая характеристика аласного термокарстового ландшафта междуречья Лены и Амги // Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике. АН СССР, ИНМЕРО. – 1950. – Вып. 2. – С. 128–178.
38. Соловьев П.А. Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 144 с.
39. Строение и абсолютная геохронология аласных отложений Центральной Якутии / под ред. Е.М. Катасонова. – Новосибирск: Наука, 1979. – 96 с.
40. Суходровский В.Л. Современные рельефообразующие процессы в Центральной Якутии. – М.: Наука, 1979. – 280 с.
41. Термограф: архивные данные температуры воздуха и количества осадков Якутск [Электронный ресурс]. – http://thermograph.ru/mon/st_24959-m_1.htm (дата обращения 23 мая 2016).
42. Шашко Д.И. Климатические условия земледелия Центральной Якутии. – Л.: Изд-во АН СССР, 1961. – 264 с.
43. Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. – Л.: Наука, 1969. – 245 с.
44. Шнитников А.В. Влияние внутривековой изменчивости увлажненности бассейнов озер на развитие их депрессий // Озера семиаридной зоны СССР. – Л.: Наука, 1970. – С. 5–19.
45. Mirkin B.M., Gogoleva P.A., Kononov K.E. The vegetation of Central Yakutian alases // Folia geobotanica et Phytotaxonomica. – 1985. – Vol. 20, № 4. – P. 345–395.

УДК 550.47

**СВИНЕЦ В СИСТЕМЕ ПОЧВА – РАСТЕНИЕ В ЛАНДШАФТЕ
ШЕРЛОВОГОРСКОГО ГОРНОРУДНОГО РАЙОНА НА ПРИМЕРЕ
POLYGONUM ANGUSTIFOLIUM PALLAS (POLYGONACEAE)****Горбань Д.Н., Юргенсон Г.А.***ФГБУ «Институт природных ресурсов, экологии и криологии» СО РАН,
Чита, e-mail: inrec.sbras@mail.ru*

Изучено содержание свинца в почвах и технозомах различных участков Шерловгорского горнорудного района, а также в органах произрастающего здесь *Polygonum angustifolium*. Определено, что среднее содержание свинца в почвах составляет 171,9 мг/кг и технозомах 97,2 (максимум 950,5 мг/кг). Распределение свинца по участкам рудного района крайне неравномерно и зависит от особенностей их геологического строения. Максимальные его концентрации типичны для технозёмов хвостохранилища. Выявлено, что накопление свинца происходит корневым путем. Наибольшее его содержание (до 0,16 мг/кг) обнаружено в корнях и листьях *Polygonum angustifolium*, наименьшее – в цветках (< 0,01 мг/кг). Рассчитан коэффициент биологического поглощения растения и установлено, что он максимален для корней и листьев и минимален для стеблей и цветков. Выявлено отсутствие зависимости содержания свинца в растениях от его содержания в почвах и технозомах.

Ключевые слова: свинец, почва, *Polygonum angustifolium*, ландшафты, коэффициент биологического поглощения, накопление, органы растения

**LEAD IN SYSTEM THE SOIL – PLANT IN THE LANDSCAPE
OF THE SHERLOVOGORSKY MINING AREA ON THE EXAMPLE
OF POLYGONUM ANGUSTIFOLIUM PALLAS (POLYGONACEAE)****Gorban D.N., Yurgenson G.A.***Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, e-mail: inrec.sbras@mail.ru*

Content of lead in soils and the tehnosoils of various sites of the Sherlovogorsky mining area, and also in bodies growing here *Polygonum angustifolium* is studied. It is determined that the average content of lead in soils constitutes 171.9 mg/kg and the tehnosoils 97.2 (at most 950.5 mg/kg). Distribution of lead on sites of the ore area extremely unevenly also depends on features of their geological structure. Its maximum concentration are typical for tailings dam tehnosoils. It is revealed that accumulating of lead happens in the root way. Its greatest content (to 0.16 mg/kg) is revealed in roots and leaves of *Polygonum angustifolium*, the smallest – in flowers (< 0.01 mg/kg). The coefficient of biological absorption of a plant is calculated and it is established that it is maximum for roots and leaves and is minimum for stalks and flowers. Lack of dependence of content of lead in plants from its content in soils and the tehnosoils is revealed.

Keywords: lead, soil, *Polygonum angustifolium*, landscapes, coefficient of biological absorption, accumulation, the organs of the plant

Горнорудная промышленность является одним из наиболее мощных факторов антропогенного преобразования окружающей среды. Существенную негативную роль играют отходы горного производства, в которых минералы – носители токсичных элементов находятся в измельченном состоянии, обладают значительно большей поверхностью и становятся объектом агрессивной деятельности воды, воздуха, углекислоты, микроорганизмов [2]. Эти агенты атмосферы и гидросферы являются главными факторами перевода химических элементов, строящих минералы, в подвижное состояние, и они становятся источниками загрязнения окружающей среды. К одним из наиболее токсичных для живых организмов химических элементов относится свинец. Свинец относится к самым высокотоксичным элементам (1-й класс опасности).

Он фиксируется как обычный компонент при анализе различных животных и растений. Повышенные содержания сказываются на морфологии растений. Установлено, что в малых дозах он обладает стимулирующим действием, а в больших нарушает обычную морфологию, оказывая токсичное воздействие [6]. Биологический эффект зависит не только от дозы, но и от формы, в которой находится свинец, и проявляется у различных видов растений по-разному. Свинец, как и большинство химических элементов, принимает участие в биогеохимических процессах, поэтому увеличение его содержания в почвах приводит к закономерному увеличению в тканях растений [8]. Концентрация этого металла в древесных растениях в пределах природных геохимических аномалий убывает в ряду: корни > листья > стебли > плоды [11].



Рис. 1. Местоположение Шерловгорского ГОКа

Установлено, что в настоящее время содержание этого металла в почвах горнопромышленных районов значительно превышает его фоновые концентрации. В этой связи изучение содержания свинца и его соединений в различных компонентах ландшафта Шерловгорского горнорудного района (рис. 1) представляет собой весьма актуальную задачу.

Он находится на юго-востоке Забайкалья и представляет собой типичный природно-техногенный ландшафт, в состав которого входит карьер, хвостохранилище, отвалы бедных и забалансовых руд, а также группа олово-полиметаллических и редкометалльных месторождений, разрабатывавшихся Шерловгорским ГОКом, деятельность которого прекращена в 1993 г. Техногенные массивы, которые явились следствием работы комбината, постепенно начали зарастать пионерными растениями [4], одним из которых является таран (горец) узколистый. Для этого растения первые сведения о накоплении им висмута авторами были выполнены ранее [5]. Установлено, что висмут накапливается тараном (горцем) узколистым неодинаково. При этом выявлено, что коэффициент биологического поглощения свинца для других растений в основном не зависит от его валового содержания в почвах [9; 3]. Данные по накоплению свинца в *Polygonum angustifolium* Pallas в литературных источниках отсутствуют.

Целью исследования определено изучение закономерностей транслокации свинца в системе «почва – растение» на примере *P. angustifolium* в степном ландшафте Шерловгорского горнорудного района.

Материалы и методы исследования

Отбор проб органов исследуемого вида проводили согласно стандартной методике. На каждом

участке наблюдения проводили по точкам, хорошо изученным в геологическом отношении, где отбирали объединенные пробы доминантных видов растений из каждого яруса, которые встречаются на всех участках. Растения делили на органы. Корни и наиболее запыленные части растений промывали сначала струей проточной воды, а затем дистиллированной, и высушивали до воздушно-сухого состояния.

Всего отобрано 120 проб почв и техноземов на исследуемых участках и 167 индивидов *P. angustifolium*, отобранных на участках (рис. 2): фоновый участок (Т.1), Поднебесных (Т.2), Жила Новая ((Т.3) верхний горизонт), Жила Новая ((Т.4) нижний горизонт), Обвинская (Т.5), Пятисотка (Т.6), сопка Лукаво – Золотая (Т.7), Карьер (Т.8), хвостохранилище (Т.9), Северный отвал (Т.10), Сопка Мелехинская (Т.11). Химический анализ растений произвели методом ICP-MS на спектрофотометре ICP-MS Elan 9000 PerkinElmer (США) методом кислотного разложения ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98, Стандартный образец: Тр-1 (ГСО № 8922-2007), в Хабаровском инновационно-аналитическом центре Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, аналитики А.В. Штарева, В.Е. Зазулина, Л.С. Бокоренко, А.Ю. Лушников, Д.В. Авдеев, Е.М. Голубева. Нижний порог определения (НПО) для свинца ~0,01 мкг/кг. Отбор почвенных проб проводили в соответствии с ГОСТ 17.4.4. 02-84, по искусственным обнажениям. Анализ почв и техноземов произвели методом РФА (НПО для свинца 0,001 %) в ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) на спектрометре VRA-30, аналитики к.т.н. Б.Ж. Жалсараев, Ж.Ш. Ричинова.

Результаты исследования и их обсуждение

Статистические характеристики содержания свинца в почвах Шерловгорского горнорудного района для выборки $n = 25$ следующие: $x = 171,9 \pm 10,95$ мг/кг; $\sigma = 109,4$; $\sigma/x = 0,63$; $x/\text{кларк} = 17,19$; $x/\text{ПДК} = 5,73$. В техноземах для выборки $n = 25$ следующие: $x = 97,2 \pm 6,12$ мг/кг; $\sigma = 194,4$; $\sigma/x = 2$. Эти данные показывают, что содержание свинца в почве Шерловгорского горнорудного района значительно превышает его кларк, равный 16 мг/кг,

в 17,19 раз, что дает основание предполагать заражение им *P. angustifolium* в рассматриваемых ландшафтах. Превышение ПДК для свинца в исследуемом виде составляет 5,73 раз.

Достаточно высокое содержание свинца в почвах на участках отбора проб неравномерное и имеет три максимума (рис. 3): на участках Хвостохранилище (950,5 мг/кг), Карьер (930 мг/кг) и Поднебесных (540 мг/кг), что превышает значения на остальных участках более чем в 2 раза. На фоновом участке содержание свинца минимальное и составляет 17 мг/кг. В целом максимальное среднее

содержание свинца в почвах достигает 950,5 мг/кг, что кратно превышает кларк Земной коры (16 мг/кг [1]). В России ПДК свинца в почве в соответствии с ГН 2.1.7.2041–06 составляет 32 мг/кг.

Свинец в *P. angustifolium*. Анализ литературы показал, что распределение свинца в растениях изучено слабо. Тем не менее Бройер и др. [12; 6] установили, что в природных условиях Pb присутствует во всех растениях и необходим для них, но выявить какую-либо особую его роль в метаболизме не удалось. Более того, они установили, что его концентраций на уровне 2–6 мкг/кг должно быть уже достаточно.



Рис. 2. Схема опробования:
1 – фоновый участок; 2 – Шерловогорское месторождение;
3 – геотехногенные массивы Шерловогорского месторождения

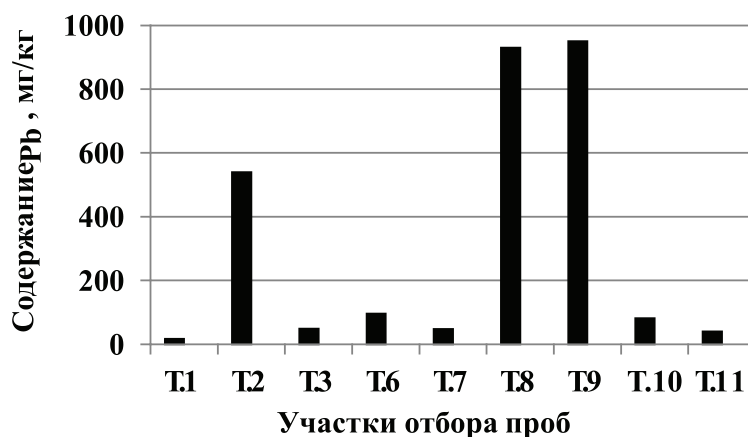


Рис. 3. Среднее содержание свинца в почвах и техноземах (T. 9)

Естественные уровни содержания свинца в растениях из незагрязненных и безрудных областей, по-видимому, довольно постоянны и лежат в пределах 0,1–10,0 мг/кг сухой массы (среднее 2 мг/кг) [13]. Содержание свинца в съедобных частях растений, произрастающих в незагрязненных областях, по данным разных авторов, опубликованным в 1970–1980 годах, составляют 0,00–0,08 мг/кг влажной массы, 0,05–3,0 мг/кг сухой массы и 2,7–94,0 мг/кг золы [6]. Пределы варьирования содержания свинца в степной растительности Забайкалья Pb 0,59–2,70 [8]. Токсичная концентрация в листьях 30–300 [6].

Выявлено, что среднее содержание свинца в органах *P. angustifolium* максимально на участках Поднебесных и Карьер, где установлена зависимость его содержания в растениях от содержания в почве. Накопление свинца в органах *P. angustifolium* максимально в корнях и листьях (рис. 4). Выявлено, что содержание свинца в почвах и техноземах (Поднебесных, 540 мг/кг; Карьер, 930 мг/кг и Хвостохранилище, 950,5 мг/кг) возрастает, а в растениях (22,5;

21 и 6) уменьшается, что указывает на отсутствие прямой связи между его содержанием в системе почва – растение.

Для характеристики избирательного поглощения химических элементов растениями рассчитан коэффициент биологического поглощения (КБП), представляющий собой частное от деления содержания химического элемента в растении на его содержание в почве [7]. Он дает возможность оценки интенсивности поглощения и меры «биофильности» химических элементов. КБП свинца для *P. angustifolium* варьирует достаточно широко. Он максимален в корнях (0,20 мг/кг) на участке сопка Мелехинская, где содержание свинца в почве невелико (40 мг/кг). Это может быть обусловлено тем, что даже при низком содержании элемента в почве растение способно к его концентрированию и удержанию. В целом наблюдаются неравномерные содержания свинца в *P. angustifolium* (таблица). Это может быть связано с типом минерализации на разных участках отбора проб, который определяет валовые содержания элементов в почве [10; 14].

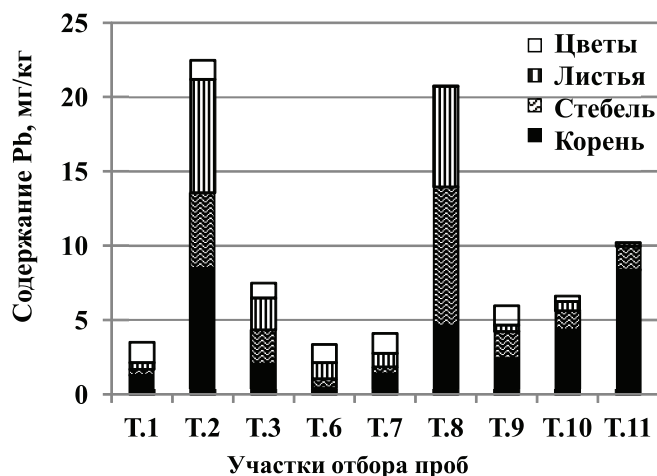


Рис. 4. Среднее содержание свинца в органах *P. angustifolium* на участках отбора проб

Коэффициент биологического поглощения свинца *P. angustifolium*

Участки	Корень	Стебель	Листья	Цветы
Т. 1. Фоновый участок	0,07	0,02	0,02	0,08
Т. 2. Поднебесных	0,01	0,009	0,01	0,002
Т. 3. Жила Новая	0,04	0,04	0,04	0,02
Т. 6. Пятисотка	0,004	0,006	0,01	0,01
Т. 7. Сопка Лукавая	0,02	0,009	0,01	0,02
Т. 8. Карьер	0,004	0,01	0,07	< 0,01
Т. 9. Хвостохранилище	0,002	0,001	0,01	0,001
Т. 10. Северный отвал	0,05	0,01	0,007	0,004
Т. 11. Сопка Мелехинская	0,20	0,03	0,005	< 0,01

Приведенные в таблице данные свидетельствуют о том, что КБП свинца *P. angustifolium* незначителен. Здесь максимальный КБП характерен для корней и листьев. Поглощение свинца цветками, плодами и стеблями горца узколистного незначительное.

Преимущественный захват свинца в корнях происходит на сопке Мелехинская (0,20), а в листьях – на участке Карьер (0,07). На фоновом участке значителен коэффициент биологического поглощения свинца *P. angustifolium* для цветков (0,08), что может свидетельствовать о наличии в природном почвенном покрове его подвижных форм. Захват свинца цветками *P. angustifolium* на остальных участках отбора проб не выявлен, что может свидетельствовать о неких защитных системах растений.

Выводы

1. Первые данные о поведении свинца в системе: почва – *P. angustifolium* свидетельствует о том, что бытующие представления об экологической опасности для биоты повышенных концентраций тяжелых элементов в антропогенных ландшафтах требуют дополнительных исследований для получения истинной информации. Поэтому для оценки влияния контрастно высоких содержаний свинца в почвах на заражение им растений рекомендовано изучение форм их нахождения в почвах и техноземах антропогенных ландшафтов [10; 14].

2. Интенсивность биологического поглощения свинца не зависит от их валового содержания в почве.

3. Избирательное поглощение свинца отдельными органами *P. angustifolium* может указывать на наличие у вида барьерных механизмов. Вероятно, свинец легко усваивается корневой системой *P. angustifolium*, но большей частью задерживается в ней и не накапливается в проводящих тканях стебля, продвигаясь к листьям, где происходит фотосинтез.

Авторы выражают благодарность коллегам к.г.-м.н. О.К. Смирновой, к.г.н. М.А. Солодухиной и Р.А. Филенко, при-

нимавшим участие в сборе и подготовке к анализу проб почв и растений.

Список литературы

1. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
2. Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья / Г.А. Юргенсон., В.С. Четкин, В.М. Асосков и др. – Новосибирск: Наука, 1999. – 574 с.
3. Горбань Д.Н., Юргенсон Г.А. Свинец в полыни Гмелина (*Artemisia gmelinii*) в природно-техногенном ландшафте Шерловогорского рудного района // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 6. – С. 97–101.
4. Горбань Д.Н. Висмут и свинец в полыни Гмелина (*Artemisia gmelinii*) в природно-техногенном ландшафте Шерловогорского горнорудного района / Д.Н. Горбань, М.А. Солодухина, Г.А. Юргенсон., Р.А. Филенко // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: труды III Всероссийского симпозиума с международным участием и VII всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана 29 ноября – 2 декабря 2010. – Чита. – С. 66–70.
5. Горбань, Д.Н., Юргенсон Г.А. Висмут в растениях Шерловогорского рудного района // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование: труды V Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и XII Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана «Рациональное природопользование», «Современное минералообразование» 10–12 декабря 2014 г., Россия. – Чита, 2014. – С. 80–84.
6. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
7. Протасова Н.А., Беляев А.Б. Химические элементы в жизни растений. // Соросовский Образовательный Журнал. – 2001. – Т. 7, № 3. – С. 25–32.
8. Убугунов В.Л., Кашин В.К. Тяжелые металлы в садово-огородных почвах и растениях г. Улан-Удэ. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. – 128 с.
9. Юргенсон Г.А., Горбань, Д.Н. Свинец и висмут в полыни Гмелина хвостохранилища Шерловогорского ГОКА (Юго-Восточное Забайкалье) // Вестник ЗабГУ. – 2015. – № 10. – С. 20–32.
10. Юргенсон Г.А., Смирнова О.К., Солодухина М.А., Филенко Р.А. Геохимические особенности руд и техноземов хвостохранилища золото-молибденового рудника Давенда в Восточном Забайкалье, Россия // Литосфера. – 2016. – № 2. – С. 91–103.
11. Юргенсон Г.А. Геохимия ландшафта: учеб. пособие для вузов. – Чита: Изд-во ЗабГГПУ, 2005. – 152 с.
12. Broyer T.C., Johnson C.N., Paull R.E., Some aspects of lead in plant nutrition // Plant Soil. – 1972. – № 36. – P. 301.
13. Cannon H.L., Lead in vegetation, in: Lead in the Environment, Lovering T.G., Ed., U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. – 1976. – № 23. – P. 957.
14. Yurgenson G.A. About the form of lead in soil talling dzhida tungsten-molibdenum plant Goldschmidt 2015. – Abstracts: <http://goldschmidt.info/2015/uploads/abstracts/finalPDFs/A-Z.pdf>. – P. 3553.

УДК 550.348

ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ ПО ТРАССЕ ГАЗОПРОВОДА МЕТОДОМ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ

Джурик В.И., Серебренников С.П., Ескин А.Ю., Брыжак Е.В.

ФГБУН «Институт земной коры» СО РАН, Иркутск, e-mail: eskin@crust.irk.ru

В статье показаны возможности метода вертикальных электрических зондирования при изучении различных типов тектонических нарушений. Обследование проводилось вдоль трассы магистрального газопровода Южная Ковыкта – Ангарск – Иркутск до н. п. Качуг. При исследованиях была охвачена Жигаловская структура, представляющая собой систему разломов, образующую зону шириной 5–12 км и длиной до 200 км и другие тектонические нарушения, расположенные между населенными пунктами Жигалово и Качуг. По результатам работ были выделены зоны разломов как выходящие на поверхность или выраженные в рельефе, так и перекрытые осадочными породами. По данным ВЭЗ в полученных разрезах с глубиной выделяются слои с различным сопротивлением. Их мощности варьируют в широких пределах. Сами слои также разделяются на «блоки» с различным сопротивлением. Причиной такого разделения могут служить несколько факторов: различная степень водонасыщения, минерализация грунтовых вод и зоны повышенной трещиноватости относительно активных тектонических нарушений, расположенных в пределах кристаллического фундамента.

Ключевые слова: трасса газопровода, зоны тектонических нарушений, разломы, вертикальные электрические зондирования, удельное электрическое сопротивление, геофизический профиль, геоэлектрический разрез

INSPECTION OF TECTONIC INFRINGEMENTS ON A LINE OF A GAS PIPELINE A METHOD VERTICAL ELECTRIC SOUNDING

Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Eskin A.Yu., Bryzhak E.V.

*Institute of the Earth's Crust Siberian Branch of the Russian Academy of Science,
Irkutsk, e-mail: eskin@crust.irk.ru*

In article possibilities of a method vertical electric sounding are shown at studying of various types of tectonic infringements. Inspection was spent along a line of the main gas pipeline Southern Kovykta-Angarsk-Irkutsk to n. The item of Kachug. At researches the Zhigalovsky structure representing system of breaks, forming zone in width of 5–12 km and to 200 km and other tectonic infringements located between settlements Zhigalovo and Kachug has been captured length. By results of works zones of breaks as leaving on a surface or expressed in a relief, and blocked by sedimentary breeds have been allocated. According to ВЭЗ in the received cuts with depth layers with various resistance are allocated. Their capacities vary largely. Layers as are divided into «blocks» with various resistance. As the reason of such division some factors can serve: Various degree of water saturation, mineralization of ground waters and a zone raised fracturing concerning the active tectonic infringements located within the crystal basement.

Keywords: a line of a gas pipeline, a zone of tectonic infringements, breaks, vertical electric sounding, specific electric resistance, a geophysical profile, a geoelectric cut

Активные тектонические движения плиоцен-четвертичного времени затронули и стабильную Сибирскую платформу, особенно выступ Иркутского амфитеатра, вызвав общее поднятие, на фоне которого появились блоковые движения, сформировавшие как положительные, так и отрицательные морфоструктуры. Активизировались и некоторые разломы, что нашло отражение на картах неотектоники и разрывных нарушений, изданных в 1978, 1981, 1982 и 1988 гг.

Платформы, как и подвижные пояса, находятся в напряженном состоянии [4]. Однако из-за более монолитной среды накопление напряжений в них до предельных величин происходит за более длительный период, чем в подвижных по-

ясах. Разрядка напряжений в платформенных областях все же происходит в самых ослабленных зонах, с наличием которых связана геологическая и сейсмическая опасность. Поэтому при проектировании и возведении объектов промышленного и гражданского строительства крайне важно обнаружение и изучение этих зон, тем более когда ослабленная зона перекрыта осадочными породами.

Магистральный газопровод (рис. 1) Южная Ковыкта – Ангарск – Иркутск до пос. Качуг (первая очередь) является таким объектом и полностью проходит по территории с исходной сейсмической опасностью в 8 баллов, пересекая только одну из таких зон, проявлявших активность в кайнозой. Это Жигаловская грабенообразная

структура, представляющая собой систему разломов шириной 5–12 км и длиной до 200 км [7]. В ней выделяются Чиканская и Тынтинская области максимального понижения, разделенные Рудовской перемычкой. Эта структура как бы отчленяет юг Иркутского амфитеатра по линии, соединяющей рифтовые впадины северо-восточного и юго-западного флангов Байкальской рифтовой зоны.

Основные черты геологического строения

Детальная структура зоны активного Жигаловского разлома в районе пересечения ее трубопроводом рассмотрена в специальном отчете 1995 года А.В. Чипизубова и С.Г. Аржанникова и представлена на рис. 2. На схему активных разрывов вынесены разрывы, точно активные в кайнозое, предположительно активные в кайнозое

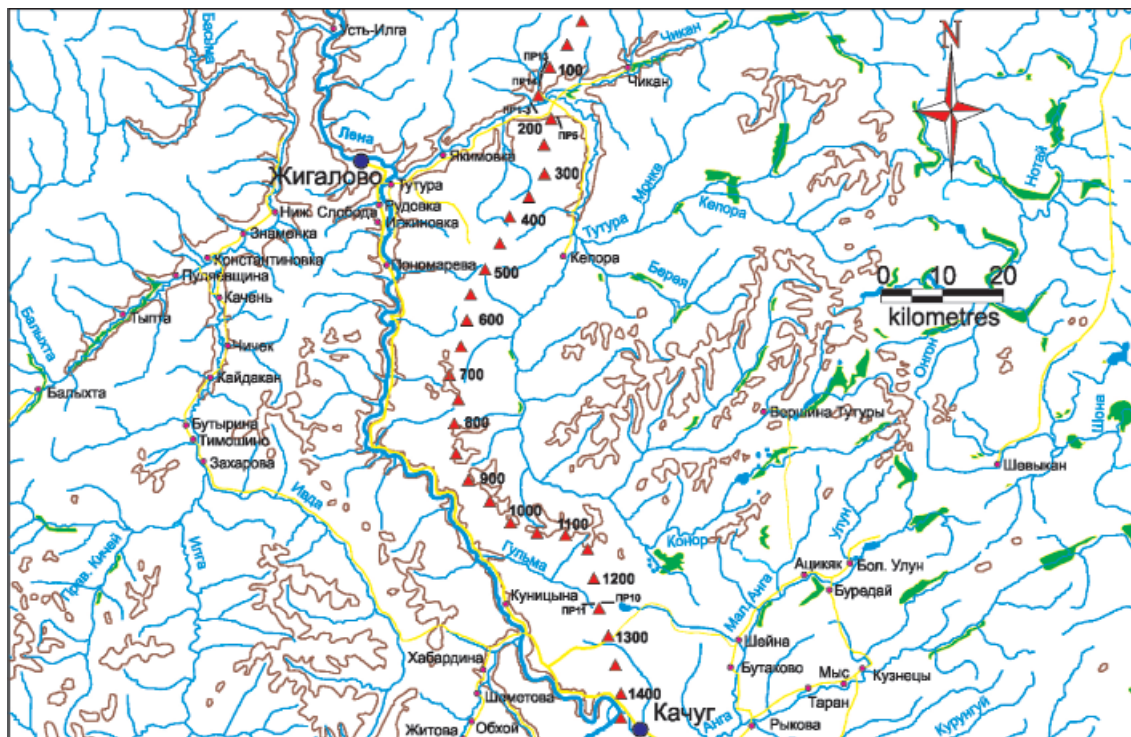


Рис. 1. Схема расположения электроразведочных профилей по трассе газопровода

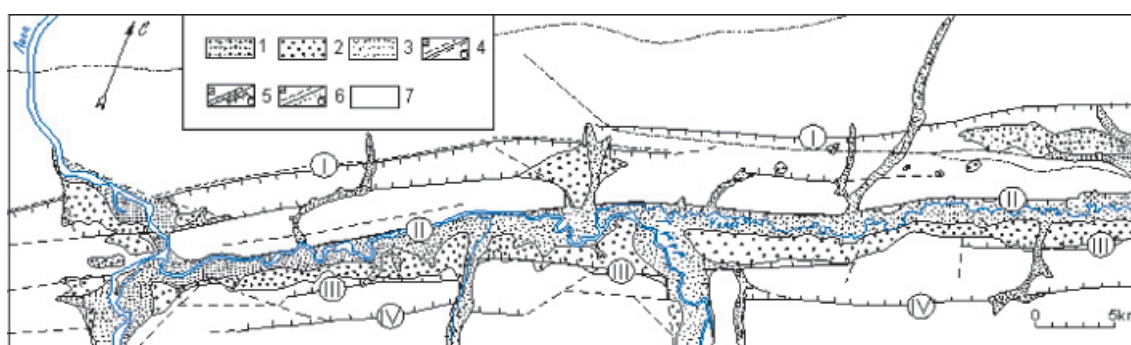


Рис. 2. Схема активных разломов Чиканского отрезка Жигаловской грабенообразной структуры [по 7]:

1–3 – четвертичные отложения: 1 – нижнечетвертичные (Q_1 и Q_2); 2 – среднечетвертичные (Q_{2-3}); 3 – верхнечетвертичные (Q_3 и Q_4); 4–6 – разрывные нарушения (римскими цифрами обозначены разломы: I – Северо-Жигаловский; II – Северо-Чиканский; III – Южно-Чиканский; IV – Южно-Жигаловский); 4 – древние разломы, установленные по геологическим (а) и предполагаемые по геоморфологическим (б) данным; 5 – активные новообразованные, не установленные при геологической съемке (а) и активизированные (б); 6 – предположительно активные (а) и активные, скрытые четвертичными отложениями (б); 7 – палеозойские образования осадочного чехла платформы

и зоны разломов не испытывавшие активации. Среди последних имеются как установленные, так и не установленные по геологическим данным. К активным разломам отнесены разрывы, выраженные в рельефе макроуступами высотой 100 м и более. Все они хорошо дешифруются на аэрофотоснимках и отчетливо проявляются на картах объемного рельефа (3D). Однако следует отметить, что не все они установлены при геологической съемке. В одних случаях это, по-видимому, новообразованные разрывы, не имеющие зон метаморфизма и вещественной переработки. В других – зоны разломов скрыты под четвертичными отложениями, главным образом голоценового возраста.

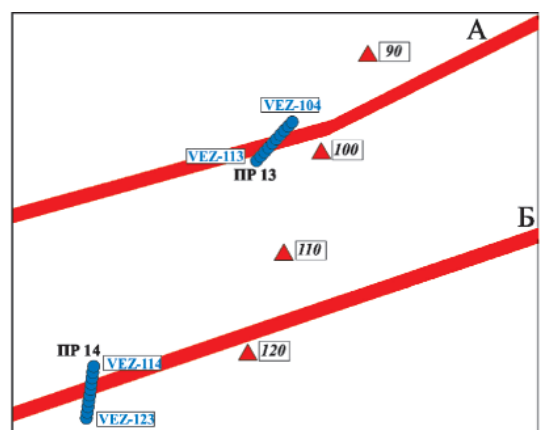
В формировании Чиканского сегмента рассматриваемой грабенообразной структуры можно выделить два этапа. На первом, начавшемся, по-видимому, в позднем плиocene и завершившемся в начале плейстоцена, грабен оформился в виде близком к современному, но с меньшей амплитудой опускания дна. На втором, в середине четвертичного периода, структура грабена осложнилась. По мере дальнейшего опускания дна, в его центральной части по Северо-Чиканскому и Южно-Чиканскому разломам заложился более узкий (4 км) грабен. Одновременно шло формирование приразломного грабена у Северо-Жигаловского разлома. В результате этого между Чиканским и приразломным грабенами образовался горстообразный блок шириной до 3 км, который прорезается рекой Леной.

Таким образом, основными структурообразующими разрывами рассматриваемого грабена все же остаются Северо-Жигаловский и Северо-Чиканский сбросы, а Южно-Чиканский и Южно-Жигаловский сбросы поперечными разрывами делятся на отдельные фрагменты и играют подчиненную роль в структурообразовании. Первые два сброса интерпретируются как места возможных остаточных сейсмоструктурных деформаций в зоне Жигаловского разлома, причем вероятность возникновения последних и их масштаб в зоне Северо-Чиканского сброса выше и больше. Поскольку тектонические нарушения на поверхности не выражены, детальная (точная) трассировка разрывных нарушений в местах пересечения их трассой газопровода возможна только геофизическими методами.

Результаты геофизических исследований и их обсуждение

Для решения сформировавшейся проблемы использовались в основном данные

электроразведки, полученные при производстве вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) [1]. Метод выбран не случайно. Глубина исследования данного метода при благоприятных геоэлектрических условиях при длине питающей линии АВ равной 450 метров достигает 100 м и более. Также была выполнена сейсморазведка методом преломленных волн, глубина исследования которого ограничена 20–30 м. Поэтому её применение использовалось для качественной оценки состояния приповерхностной зоны разреза по пройденным электроразведочным профилям.



- ВЭЗ-104 - пункты электрозондирования
- ▲ - пикетаж трассы
- - зона разлома

Рис. 3. Расположение пунктов геофизических измерений на участке предполагаемого пересечения зоны Северо-Жигаловского разлома:
А – северная кулиса; Б – южная кулиса

Стоит отметить, что поставленная задача решается только в первом приближении, так как в зоне активных разломов (по ширине) до нескольких километров практически выделяются блоки пород с различными физическими свойствами. Но всё же в сочетании с данными оценок сейсмической опасности основания газопровода они дают достаточно объективную информацию для проектирования последнего. Такие исследования необходимы по всей трассе, потому что самая верхняя часть разреза несет наиболее доступную информацию о предшествующих событиях последних лет, а следовательно, и о прогнозе возможных смещений на участках пересечения газопровода зон разломов [1–3, 8].

При производстве электроразведочных измерений применялась специальная

цифровая аппаратура «Электротест-С» [Россия, 2006]. Эта аппаратура имеет встроенное питание для линии АВ и может работать в режиме как постоянного, так и переменного тока. Кроме того, в ней имеется три режима

накопления при измерениях, что позволяет использовать «Электротест-С» в условиях электрических помех, то есть в городах и населенных пунктах, а также на территориях промышленных предприятий [5, 6, 9].

ПР13

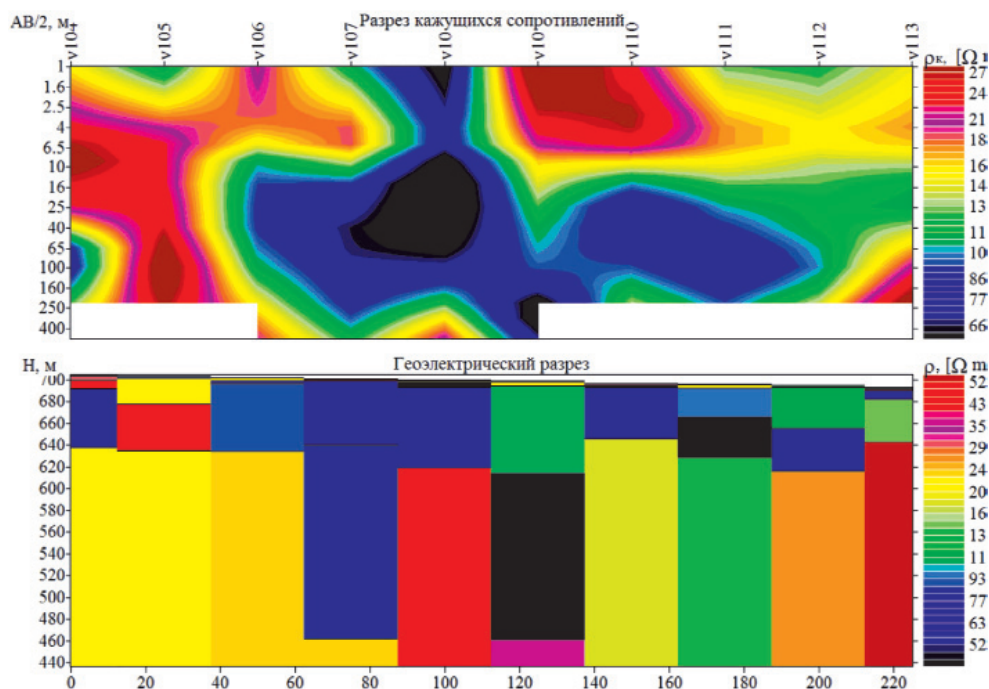


Рис. 4. Разрез кажущихся сопротивлений и геоэлектрический разрез по профилю ПР13

ПР14

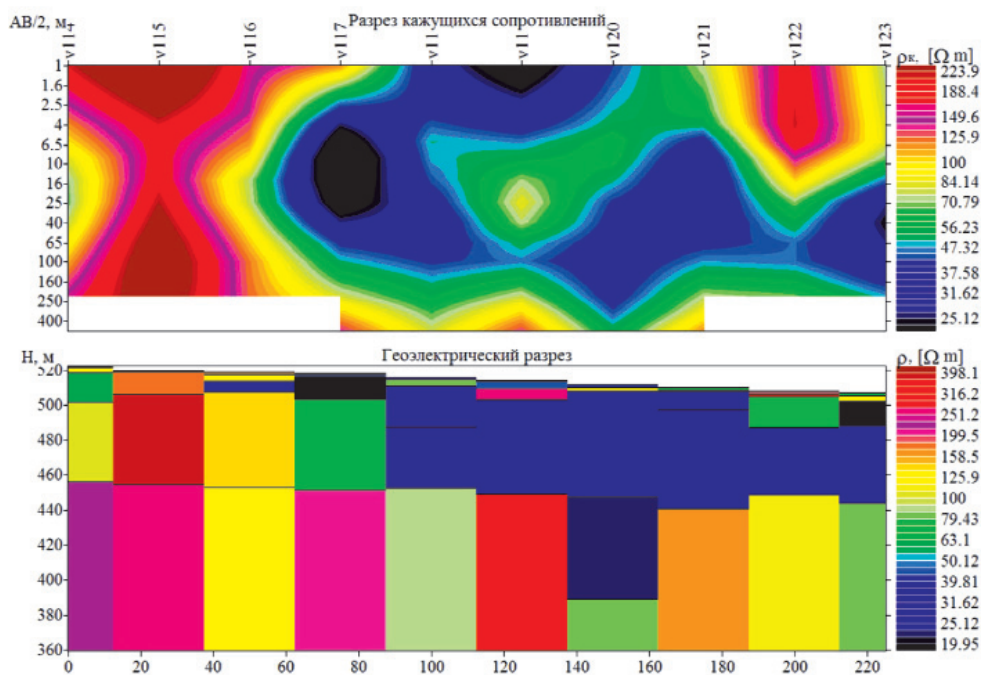


Рис. 5. Разрез кажущихся сопротивлений и геоэлектрический разрез по профилю ПР14

Результаты измерений заносятся в энергезависимую память прибора. Для решения поставленной задачи выбрана симметричная установка AMNB, разности питающей линии АВ которой достигают 440 м. Это позволяет при благоприятных геоэлектрических условиях изучить распределение электрических сопротивлений до глубины 70 м и более. Ошибка измерений не более 5% обеспечивается путем повторных замеров, а также независимым контролем сравнения данных измерений на соседних точках. Привязка осуществлялась по пикетам газопровода и с помощью GPS-геодезии. По изложенной методике исследовано шесть участков пересечения газопровода с вероятными зонами разломов при движении по трассе с севера на юг.

Зону Северо-Жигаловского разлома, состоящую в месте пересечения трубопроводом из двух кулис (рис. 3), трасса газопровода пересекает в районе пикетов 96–98 (северная кулиса) и 117–118 (южная кулиса), которые выражены в рельефе резкими перегибами (уступами) высотой до 100–125 м. Перегибы совпадают с зонами древних разломов, выявленных при геологической съемке. Пересечение этих явно выраженных кулис двумя электроразведочными профилями 13 и 14 выполнено восточнее самой трассы. Это связано с условиями постановки ВЭЗ. Протяженность профилей 250 м, кривые ВЭЗ выполнены с шагом 25 м. Всего поставлено 20 ВЭЗ. Разрезы по профилям представлены на рисунках 4 и 5. По результатам интерпретации кривых ВЭЗ выделено от 4 до 6 слоев до глубины 150 м. Холодными тонами на разрезах показаны слои с пониженными значениями кажущегося сопротивления, а теплыми – слои с высокими значениями. Первые соотносятся с породами повышенной пористости и имеющими большее содержание влаги. Вторые – к коренным породам. Горизонт с пониженными значениями кажущегося сопротивления достаточно уверенно прослеживается в средних частях разрезов, что свидетельствует о наличии аномальных участков по пройденным профилям.

Количественная интерпретация кривых ВЭЗ по этим профилям представлена в виде геоэлектрических разрезов (нижние рисунки на разрезах). Нижний опорный горизонт имеет относительно низкие сопротивления по сравнению с плотными коренными породами и может быть отнесен к сильнотрещиноватым и, как следствие, увлажненным коренным породам. Сами электрические со-

противления на участке исследования имеют незначительный диапазон изменения от 10 до 600 Ом·м.

Верхние слои со значениями электрических сопротивлений более 150 Ом·м отнесены к верхнему слою рыхлых отложений и к слою, представленному наиболее плотными известняками. Слоям со значениями сопротивлений до 100 Ом·м соответствуют разрушенные сильно трещиноватые коренные породы с различной степенью водонасыщения. Нижние слои, имеющие сопротивление более 200 Ом·м, скорее всего, соответствуют относительно сохраненным коренным породам.

Аномальные участки с пониженными значениями сопротивлений относятся к ослабленным участкам с повышенной трещиноватостью и, как следствие, повышенной минерализацией грунтовых вод. Что в данном случае свидетельствует о наличии тектонических нарушений на пройденных профилях.

Интерпретация данных ВЭЗ проводилась в таком ключе и для других участков трассы газопровода, осложненных зонами разломов или зонами повышенной трещиноватости.

Следующий участок для постановки ВЭЗ был выбран в зоне пересечения трассой газопровода Северо-Чиканского разлома в районе пикетов 163–165 (рис. 6, А). По зоне разлома пройдено три электроразведочных профиля. Верхняя часть разреза на данном участке представлена мерзлыми грунтами мощностью не менее 10 м. Ослабленные зоны на геоэлектрических разрезах выделены по пониженным значениям сопротивлений с глубины 30 и более метров: на профиле № 1 это ВЭЗ № 8–10 и ВЭЗ № 1–3; на втором – ВЭЗ № 17–20 и ВЭЗ № 11–14; на третьем – ВЭЗ 25–21. Зону Южно-Чиканского разлома трубопровод пересекает в районе пикетов 206–209 (рис. 6, Б), где отмечается резкий переход борта впадины к её днищу. Зона этого разлома перекрыта рыхлыми отложениями голоцена и даже, возможно, среднечетвертичного возраста.

Геоэлектрический разрез до глубины 60–90 м характеризуется умеренным распределением электрических сопротивлений с глубиной, градиент изменений по профилю так же незначителен. Сам разлом относится к древнему, который не проявлял активности в последнее время. Об этом свидетельствуют и полученные данные электроразведки. Кроме того, в подтверждение отмеченных результатов, выполнены

круговые ВЭЗ в предполагаемой зоне древнего разлома и в смежных бортах (рис. 7 и 8). На рисунках видно, что вплоть до разностей $AB/2$ равных 225 м, явных аномалий, не только по глубине, но и по направлению измерений, не наблюдается.

На участке в верховьях р. Гульма (п. Верхоленск) зона древнего разлома не пересекает трассу и с целью установления её метаположения пройдено два профиля: № 10 – длиной

180 м расположен между пикетами 1247 и 1248 и № 11 такой же протяженности, который предполагает зону разлома захватывает примерно с середины. При сравнении их геоэлектрических разрезов очевидно следующее. Согласно описанным выше критериям – ослабленная зона на профиле № 11 с аномально низкими значениями электрического сопротивления на глубинах от 10 до 30 м ограничена пунктом регистрации ВЭЗ № 79.

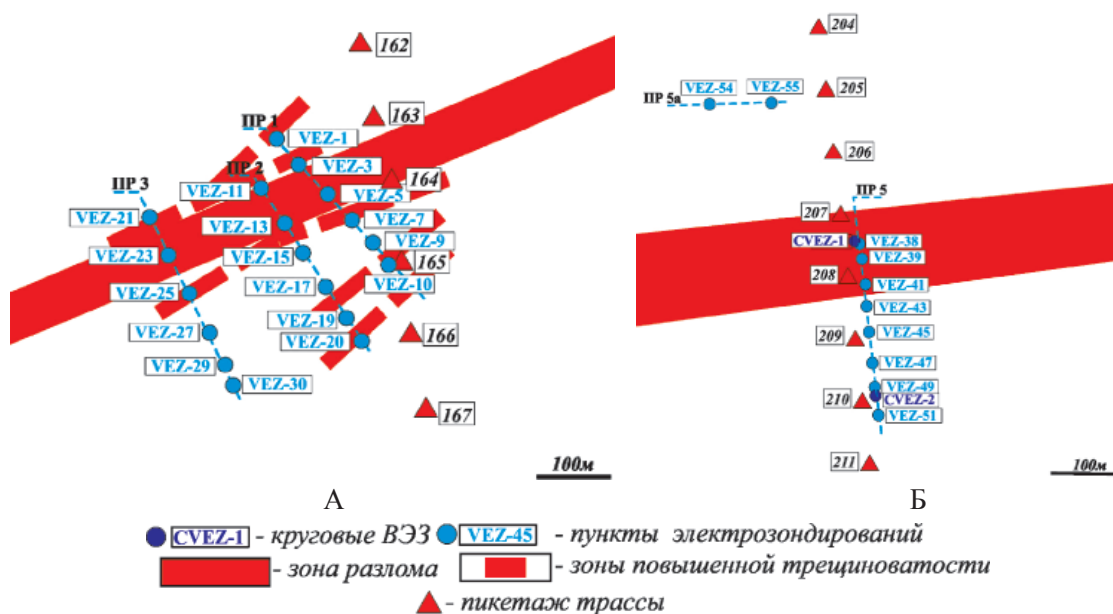


Рис. 6. Расположение пунктов геофизических измерений на участке предполагаемого пересечения зоны разлома:
А – Северо-Чиканский разлом (п. Чикан); Б – Южно-Чиканский разлом (п. Чикан)

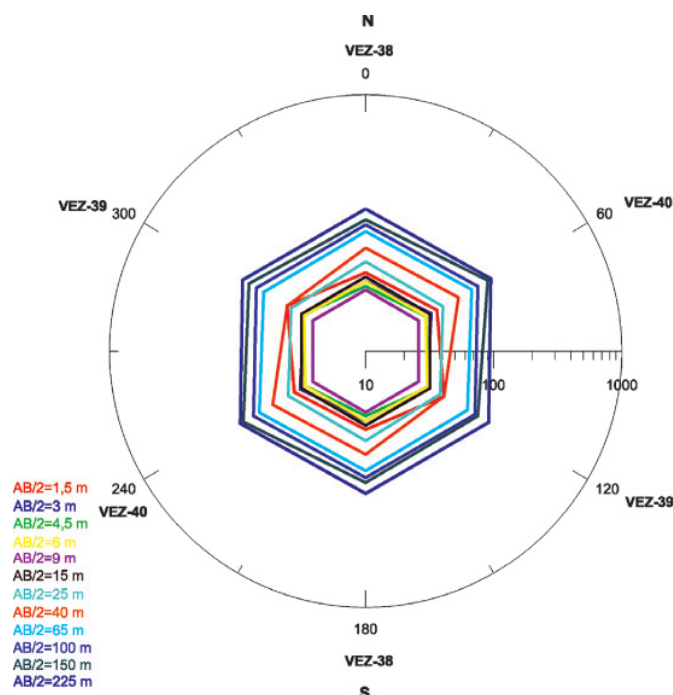


Рис. 7. Диаграмма KBЭЗ-1 (участок Южно-Чиканский разлом, ВЭЗ № 38, ВЭЗ № 39, ВЭЗ № 40)

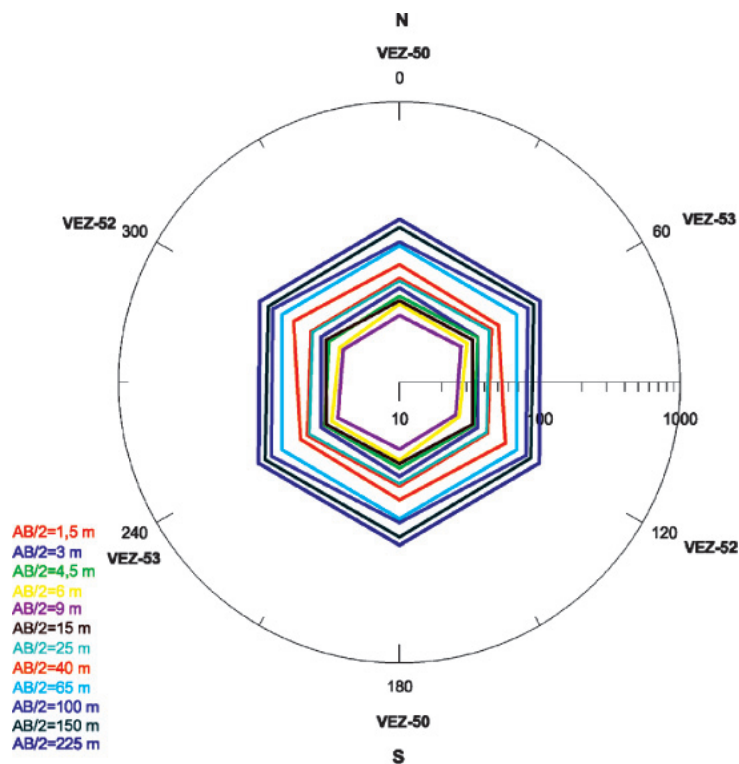


Рис. 8. Диаграмма KBЭЗ-2 (участок Южно-Чиканский разлом, ВЭЗ № 50, ВЭЗ № 52, ВЭЗ № 53)

Ниже этой зоны удельное электрическое сопротивление (УЭС) возрастает и соответствует характеру его распределения по профилю № 10. То есть на последнем зон разломов не выявлено.

Последний из участков обследованных разломов расположен в долине р. Лена (район п. Качуг) на траверзе ручья Заячий. Разлом выражен в рельефе перегибом с изменением высот на разделяемых блоках до 150 м. Кривые ВЭЗ на этом участке представлены следующими типами: КН, АК, ААК. Ослабленная зона, выделенная пройденным профилем № 12, расположена между точками ВЭЗ № 84–87 на глубине более 100 м. Выше выделяется слой мощностью 80–100 м, который имеет УЭС от 200 до 700 Ом·м. В приповерхностной зоне до 10 м неоднородность по сопротивлению увеличивается.

Выводы

Таким образом, по данным ВЭЗ в полученных разрезах с глубиной выделяются слои с различным сопротивлением. Их мощности меняются в широких пределах. Кроме того, сами слои так же разделяются на «блоки» с различным сопротивлением. Причиной такого разделения могут служить несколько факторов: различная степень во-

донасыщения, минерализация грунтовых вод и зоны повышенной трещиноватости относительно современных тектонических нарушений, расположенных в пределах кристаллического фундамента [4].

Список литературы

1. Джурик В.И., Серебренников С.П. и др. Методика комплексных исследований сейсмогрунтовых условий строительства нефтепровода на севере оз. Байкал. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – Сочи: ВНИИТПИ, Российская Академия архитектуры и строительных наук, 2005. – С. 16–20.
2. Инженерная геология и инженерная сейсмология // Геология и сейсмичность зоны БАМ. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1985. – 190 с.
3. Инженерно-сейсмологические и геофизические исследования при инженерных изысканиях для строительства: сб. ст. / Госстрой СССР. Произв. и НИИ институт по инженерным изысканиям в строительстве / отв. ред. Ю.Д. Зыков, С.А. Федоров; АН СССР. – М.: Наука, 1987. – 127 с.
4. Кропоткин П.Н., Ефремов В.Н. Тектонические напряжения на платформах и глобальные вариации сейсмичности // Геотектоника. – 1993. – № 5. – С. 34–36.
5. Ляховицкий Ф.М., Хмелевской В.К., Ященко З.Г. Инженерная геофизика. – М.: Недра, 1989. – 252 с.
6. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. – М.: Недра, 1990. – 501 с.
7. Чипизубов А.В., Аржанников С.Г. Заключение о возможных масштабах сейсмогенных подвижек и их местоположении в зоне Жигаловского разлома. – Иркутск, 1995. – 29 с.
8. Электроразведка. Справочник геофизика. – М.: Недра. – 516 с.
9. IP12Win. Руководство пользователя. – М.: МГУ, Геолог. Ф-т, каф. Геофизики, 2001. – 37 с.

УДК 550.348

РЕЖИМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОД НАСЫПНОЙ ПЛОТИНЫ ИРКУТСКОЙ ГЭС ЗА ПЕРИОД 2002–2013 ГГ.

Ескин А.Ю., Джурик В.И., Серебренников С.П., Брыжак Е.В.

ФГБУН «Институт земной коры» СО РАН, Иркутск, e-mail: eskin@crust.irk.ru

Рассматриваются вопросы изменения физического состояния грунтовых плотин Иркутской ГЭС с течением времени. Наблюдения проводились в течение одиннадцати лет. При исследованиях был применен комплекс методов для определения геофизических параметров насыпных плотин, с помощью которого производился анализ скоростей сейсмических волн как продольных, так и поперечных, электрического сопротивления и естественного потенциала в теле грунтовых плотин. По результатам работ были выделены ослабленные зоны, на которые в дальнейших работах уделялось большее внимание. В целом состояние грунтовых плотин Иркутской ГЭС можно охарактеризовать как стабильное. Используемый для режимных измерений комплекс геофизических методов позволил получить данные для всестороннего анализа поведения отдельных геофизических параметров в зависимости от конкретных физико-механических свойств и происходящих в плотине процессов во времени. Режимные измерения показали, что в течение одиннадцатилетнего инструментального периода наблюдается относительная стабильность электрических и упругих параметров грунтовых плотин Иркутской ГЭС.

Ключевые слова: Иркутская ГЭС, грунтовая плотина, скорости сейсмических волн, удельное электрическое сопротивление, естественное поле, геофизический мониторинг

DYNAMICS OF A PHYSICAL CONDITION OF THE WEAKENED ZONES OF A BULK DAM OF IRKUTSK HYDROELECTRIC POWER STATION DURING 2002–2012

Eskin A.Yu., Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Bryzhak E.V.

*Institute of the Earth's Crust Siberian Branch of the Russian Academy of Science,
Irkutsk, e-mail: eskin@crust.irk.ru*

Questions of change of a physical condition of soil dams of Irkutsk Hydroelectric Power Station are considered eventually. Supervision were spent in a current of ten years. At researches the complex of methods has been applied to definition of geophysical parameters of bulk dams with which help the analysis of speeds of seismic waves as longitudinal and cross-section, electric resistance and natural potential in a body of soil dams was made. By results of works the weakened zones on which in the further works it is given большеe attention have been allocated. As a whole, the condition of soil dams of Irkutsk Hydroelectric Power Station can be characterised as stable. The complex of geophysical methods used for regime measurements has allowed to obtain the data for the all-round analysis of behaviour of separate geophysical parameters depending on concrete physicommechanical properties and processes occurring in a dam in time. Regime measurements have shown that during the eleven-year tool period relative stability of electric and elastic parameters of soil dams of Irkutsk Hydroelectric Power Station is observed.

Keywords: Irkutsk Hydroelectric Power Station, soil dam, speeds of seismic waves, the specific electric resistance, natural field, geophysical monitoring

Изучение вопросов, связанных с проблемой использования энергоресурсов р. Ангары, начато в 1926 году, когда были выделены небольшие ассигнования Ангарскому бюро Гидровода. В 1931 году организуется Бюро Ангары при тресте Гидроэлектростанций (позже этот трест стал называться широко-известным ныне институтом Гидропроект). Геологические изыскания под Иркутский гидроузел курировали известные специалисты И.В. Попов, Н.И. Соколов, Е.В. Милановский, Г.Ф. Мирчинк (1932–1935 гг.). В декабре 1956 г. заработал первый агрегат Иркутской гидроэлектростанции, а в 1959 г. открылось постоянное движение городских автобусов по плотине.

Плотина Иркутской ГЭС (рис. 1) расположена на р. Ангаре в 60 км от её истока из озера Байкал, практически в черте г. Иркутска.

В состав Иркутского гидроэнергетического узла входят бетонная плотина, совмещённая со зданием ГЭС с водосборным устройством, и две грунтовые плотины – левобережная и правобережная. Левобережная плотина осуществляет сопряжение основных бетонных сооружений с левым берегом и перекрывает одну из проток поймы. Длина по гребню составляет 352 м (ПК 7 + 10 – 10 + 62), минимальная ширина по гребню 59 м, максимальная высота – 38 м. Бетонная плотина – здание ГЭС: длина – 241,3 м (ПК 10 + 62 – 13 + 02), ширина по береговым устоям – 104 м, по фундаментной плите 77 м, по кровельному перекрытию 60,6 м, отметка основания 408 м, отметка поверхности кровли 464 м, общая высота – 56 м. Сейсмичность с 1995 года – 9 баллов. Правобережная грунтовая



Рис. 1. Правобережная плотина Иркутской ГЭС

плотина: общая длина по гребню – 2148 м (ПК13 + 02 – 34 + 50), ширина по гребню – 66 м, максимальная высота (в районе основного русла реки Ангара) – 43 м.

Особенности геологического строения плотины

В геологическом строении основания плотины Иркутской ГЭС принимают участие породы угленосно-терригенной формации юрского возраста, представленные чередованием пачек песчаников различной крупности, местами гравелистыми, и алевролитов с подчинёнными им прослоями мелкозернистых песчаников и линз глин. По условиям строительства плотина разбита на три участка:

- 1) островной (примыкающий к бетонной плотине) – ПК13 + 02 – 23 + 30;
- 2) русловой (перекрывающий основное русло р. Ангара) – ПК23 + 30 – 25 + 91;
- 3) правобережный (располагающийся на над пойменной террасе) – ПК25 + 91 – 34 + 50.

В конструктивном плане и по условиям эксплуатации правобережная грунтовая плотина представляет собой единое целое, объединённое общими конструктивными противофильтрационными устройствами, очертаниями гребня, верхового и низового откосов, общими условиями работы, свойственными протяжённым плотинам. Способ возведения – насыпной. Сооружена плотина из валунно-галечных и песчано-гравелистых грунтов с суглинистым ядром в центре. В основании русловой плотины отсыпана песчаная подушка толщиной 1,5 м, цементационная завеса на острове и русле опущена на глубину 20 м. На берегах суглинистое ядро сопрягается с пролювиально-делювиальными суглинками с помощью замка и суглинистых фартуков.

Плотина на три четверти длины располагается в пределах современной долины р. Ангара и на одну четверть – на высоких ангарских террасах.

В свете последних исследований на территории Иркутского гидроузла сформировался особый тип грунтовых условий – техногенные грунты большой мощности залегают на делювиально-аллювиальных отложениях, подстилаемых на разной глубине породами юрской угленосной формации. В работах Н.И. Демьянович, Б.М. Шенькман выделены три основные группы грунтов: техногенные, природно-техногенные и природные.

Каждая из этих групп подразделяется на подгруппы, типы и виды грунтов. Так, к первой группе грунтов относятся гравийно-галечные отложения, слагающие тело плотины, и суглинки ядра плотины. Природно-техногенные грунты, такие как гравийно-галечные отложения русловой фации пойменной террасы и песчаники, алевролиты юрской угленосной формации, расположены в основании грунтовой плотины. К природным грунтам, являющимися естественным основанием плотины, отнесены: суглинки, супеси, пески, гравийно-галечные отложения, делювиально-аллювиальные отложения надпойменных террас, песчаники, алевролиты и аргиллиты юрской угленосной формации.

Все эти грунты находятся в различном взаимоотношении друг с другом, в зависимости от положения в пределах гидросооружения и работают в разнообразных условиях. Общими для них факторами являются вибрационное воздействие землетрясений и транспорта, а также статические нагрузки. Специфичным для грунтов островной и русловой плотины является гидродинамическое воздействие напорных вод. Кроме

того, грунты этих плотин находятся в условиях возможного бокового расширения в сторону нижнего бьефа. Для грунтов береговых примыканий характерны общие факторы воздействия и влияния обходной фильтрации, в большей степени проявившейся на правом берегу. Здесь техногенные грунты оказывают дополнительную нагрузку на природные породы (делювиально-аллювиальные), которые в свою очередь испытывают влияние подпора.

Результаты геофизических исследований и их обсуждение

Гидротехническое сооружение Иркутской ГЭС – развивающаяся природно-техногенная система. Анализ результатов изучения насыпных грунтов за период эксплуатации плотины Иркутской ГЭС показывает, что их консолидация в основном завершена, но обнаружены зоны с меньшими, чем проектные, значениями плотности скелета грунта [3]. Их можно рассматривать как зоны разуплотнения – закономерный процесс эволюции техногенных грунтов в нестандартных условиях функционирования.

Исходя из вышесказанного, было принято решение изучить данную проблему с помощью комплекса геофизических методов и проследить во времени, как будут изменяться параметры изучаемых геофизических полей, как искусственных, так и естественных.

Настоящая работа посвящена результатам оценки физического состояния ослабленных зон насыпной плотины Иркутской

ГЭС за период 2002–2013 гг. и его динамике. Для измерений были намечены участки грунтовой плотины со стороны правого берега: островная, русловая и правобережная плотины. На период наблюдений были разбиты профили для всего комплекса используемых методов (рис. 2) и произведена их привязка к существующим пьезометрам, которые являются пикетами на профилях. Точки измерений между основными пикетами привязывались с помощью GPS-навигации и мерной ленты.

Выбранный комплекс методов предназначен для изучения свойств земляной плотины косвенным путем [1]. Насыпная плотина создает ряд физических внешних и внутренних полей и при взаимодействии на неё может стать источником полей упругих колебаний, электрических токов, теплового излучения и т.п. Однако одни и те же физические поля могут соответствовать различным горным породам, поэтому важно изучать не отдельные физические свойства горных пород, а их совокупность комплексом методов.

Основными измеряемыми параметрами были упругие (скорости распространения продольных – V_p и поперечных – V_s волн), электрические (удельное электрическое сопротивление – ρ) и потенциалы естественного электрического поля – (U). Каротажные измерения в скважинах выполнялись в большей степени с целью проверки их информативности в отношении оценки гидравлической стабильности насыпной плотины.

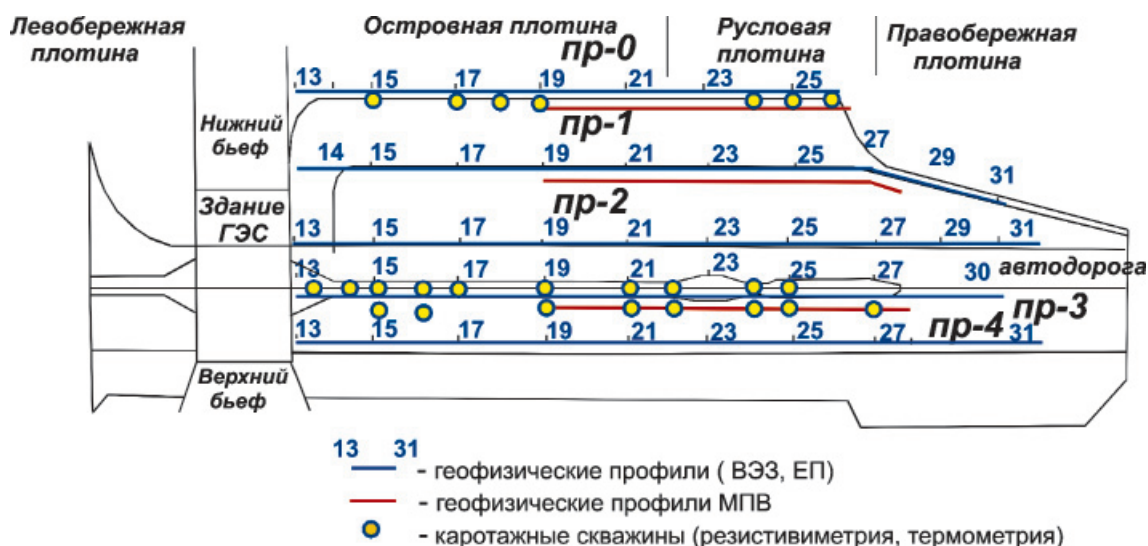


Рис. 2. Схема геофизического мониторинга на грунтовых плотинах Иркутской ГЭС

Характеристики сейсмических волн, измеряемые на поверхности, могут дать информацию о положении и распределении границ между горными породами и о состоянии этих пород [5]. Усложняется процесс получения такой информации за счет пространственной неоднородности, пористости, проницаемости, глинистости, трещиноватости и т.д.

Сейсморазведочные измерения были выполнены методом преломленных волн с помощью цифровой сейсморазведочной 24-канальной станции «Лаколит-24». Длина измерительной косы составляла 48 м. Сейсмоприемники располагались через 2 м.

Анализ сейсморазведочных данных проводился на фоне их совместного сопоставления за 2002–2005 гг., по построенным скоростным разрезам, а также по изменению скоростей продольных волн с глубиной на отдельно взятом пикете за период с 2005 по 2013 г. (рис. 3). Хотелось бы отметить, что при проведении расчетов исключался верхний наиболее градиентный слой, связанный с сезонными изменениями скоростей при промерзании и оттаивании. Такой подход имеет свои положительные и отрицательные стороны. Но для изучения динамики упругих параметров он наиболее приемлем и необходим. В этом отношении значения линий изоскоростей относятся в какой-то степени к «кажущимся». Распределение «кажущихся» значений скоростей сейсмических волн с глубиной по пройденным профилям, с начала режимных измерений без учета их изменений во времени, представляется следующим образом (рис. 4). На представленных разрезах вдоль

профиля ПР3 по скоростям продольных волн исследуемый участок уверенно разделяется до глубин более 30 м на три слоя. Сверху, до 12–13 м, идут суглинки, имеющие наиболее часто встречающиеся для них значения V_p от 500 до 1000 м/с. Средний слой, до абсолютной отметки 430 м, включает линии изоскоростей от 1500 до 2000 м/с. В большей части этот слой расположен ниже установившегося уровня грунтовых вод по пьезометрам, однако скорости могут соответствовать не только суглинкам ядра плотины, но и водонасыщенным галечникам верхней призмы. Подстилается этот слой (30–32 м) более плотными и водонасыщенными полускарпальными породами, имеющими высокие значения скоростей продольных волн, превышающие 2000 м/с. Скорости сейсмических волн реагируют на изменение фильтрационных и физических параметров, и они могут служить как косвенные индикаторы. Поэтому, учитывая данные выполненного анализа, можно говорить об относительной стабильности отмеченных параметров насыпной плотины за инструментальный период наблюдений. Но если ставить целью составление прогнозных физико-геологических или сейсмических динамических моделей с оценкой их достоверности, то для этого необходимо детальное изучение грунтов основания плотины и проведение повторных измерений скоростей сейсмических волн на более длительном интервале времени. Поэтому, в продолжение изучения грунтовых плотин Иркутской ГЭС, дальнейшие сейсморазведочные измерения методом преломленных волн решено проводить раз в пять лет.

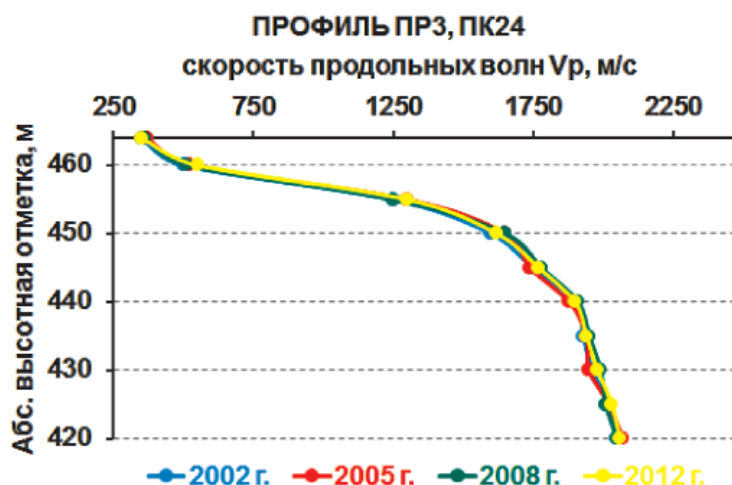


Рис. 3. Изменение скорости продольных волн (V_p) с глубиной на грунтовой плотине Иркутской ГЭС с течением времени

Сказанное для скоростей распространения сейсмических волн практически полностью относится и к электрическому сопротивлению, определяемому по методу вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), которое в большей степени реагирует на изменение свойств горных пород, чем V_p и V_s . Глубинность исследований методом ВЭЗ необходимо было обеспечить до 30–40 метров, то есть до коренного основания плотины. С этой целью максимальная величина разносов питающих линий ВЭЗ была выбрана 440 метров ($AB = 3,0; 6,0; 9,0; 12; 18; 30; 50; 80; 130; 200; 300; 440$), приемных линий MN 1,0 и 10 метров. Для проведения измерений в методе ВЭЗ была использована электроразведочная аппаратура «Электротест-С». Производство, Россия, Москва: НТК «Диоген-2001». Это портативный низкочастотный компьютеризированный электроразведочный прибор для работы в условиях промышленных помех и сложных заземлений. Прибор в цифровом варианте обеспечивает измерение электрических величин в режиме накопления до 10 раз. Тем самым погрешность измерений не превысила 5%. Область применения – определение характеристик грунтов по их электрической проводимости, площадные инженерно-геологические исследования, съемка методом естественных потенциалов фильтрации и решение ряда других задач.

Выбор установок ВЭЗ осуществлен из опыта электроразведочных работ при инженерно-геофизических изысканиях. В качестве электродов M, N применены латунные стержни длиной 0,5 м и диаметром 2 см, а электродов A, B – стальные стержни длиной 1,2 м и диаметром 1 см. Расположение точек наблюдений ВЭЗ определялось условиями решения поставленных задач. Шаг наблюдений (или расстояния между соседними точками наблюдений) составлял 50 м. Контроль точности измерений осуществлялся путем выполнения повторных замеров со сменой оператора. Повторные ВЭЗ составили 5 % всего объема измерений.

Что касается самих электроразведочных наблюдений, то здесь не всё так однозначно и понятно. На всех пройденных по методу ВЭЗ профилях (ПР0-4, рис. 2) преобладают следующие виды кривых: $АН, КQH, KQ$ [2]. Проследить динамику электрических сопротивлений возможно качественно, по относительно сравнению разрезов кажущихся сопротивлений по одним и тем же пунктам наблюдений, и количественно, по графикам распределений удельного электрического сопротивления (УЭС) с глубиной во времени (рис. 5). При этом стоит отметить, что величина УЭС зависит от температуры грунтов, степени их насыщения водой и минерализации. Важен следующий момент – физические

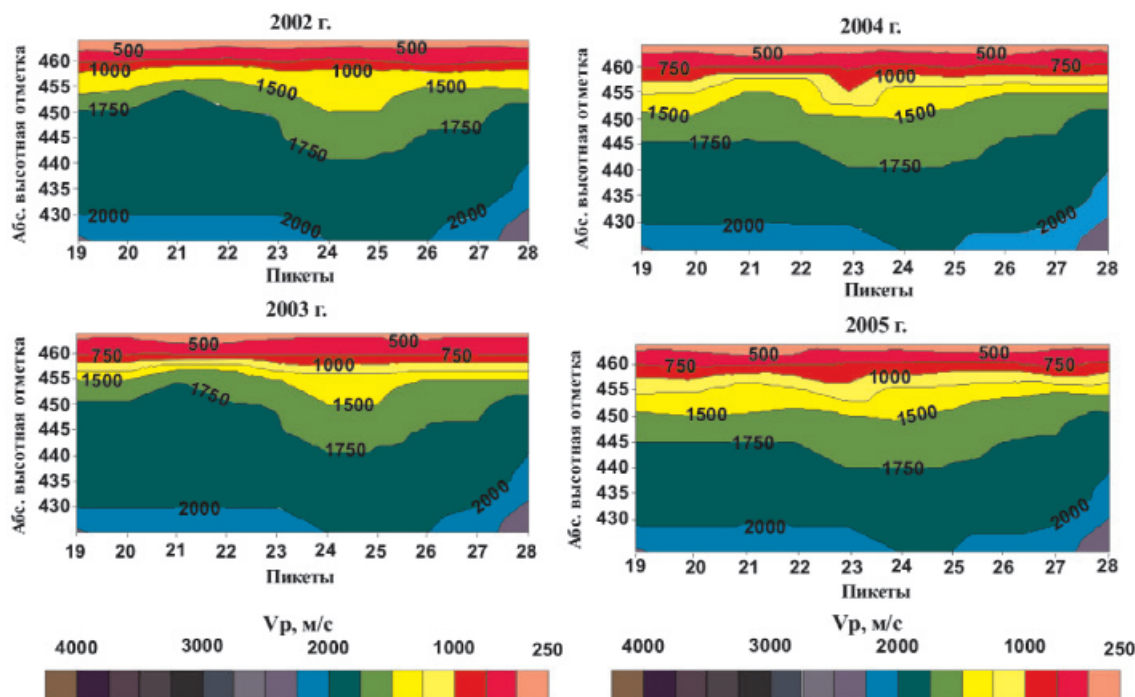


Рис. 4. Результаты режимных измерений скоростей сейсмических волн по профилю ПР3 (ПК19 – ПК28, 2002–2005 гг.)

и гидрогеологические процессы по ядру и по всей насыпной плотине по интенсивности и направленности меняются во времени.

Для профиля ПР0, по слою насыпных грунтов, измерения 2002; 2003 и 2007 гг. хорошо согласуются. В 2004 и 2005 гг. относительные изменения существенны на участках ПК 21–23, которые отмечаются повышением УЭС в этом слое, вплоть до разносов АБ/2 достигающих 100–220 м. В данном случае предполагается связь с временным (2004–2005 гг.) изменением минерализации грунтовых вод на этом участке и с возможным увеличением параметров фильтрации. В то же время на ПК 23–24 значения УЭС на этих же разносах уменьшились до 50 Ом, что можно объяснить обратным характером изменения указанных характеристик. По профилю ПР4 в водонасыщенном слое различие сопротивлений более существенно, но относительно хорошее согласие в их распределении отмечается в период 2005 и 2007 гг. По профилю ПР3, несмотря на видимую высокую неоднородность разрезов кажущихся сопротивлений по глубине и по простиранью, они достаточно уверенно, даже при визуальном сравнении, повторяются при ежегодных измерениях. Но на отдельных участках выделяются существенные различия, которые, вероятнее всего, связаны с изменением уровня воды в водохранилище в разное время года. И как следствие этого, различия в плане обводнённости грунтов, связанные со сложным строением ядра плотины, если рассматривать его в поперечном разрезе. Диапазон изменений ρ_k по повторным измерениям лежит в основном в интервале от 20 до 400 Ом·м.

Проследить динамику изменения УЭС с глубиной за весь период исследований, как и для скоростей сейсмических волн, можно по ежегодным кривым (рис. 5). Кривые построены для пикета 23 (ПР0, ПР1) и дополнительно для ПР3 (суглинистое ядро). На рисунке хорошо видно, что в первые годы исследований разброс значений УЭС, особенно в верхней части разреза, значителен. В этот период времени менялась аппаратура, оттачивалась методика измерений, а также улучшалось качество обработки полученных данных. Начиная с 2007 г. электроразведочные измерения методом ВЭЗ имеют достаточно приемлемую сходимость, что говорит о стабильном состоянии грунтов насыпной плотины Иркутской ГЭС по электрическим параметрам.

Результаты проведенных каротажных исследований УЭС воды в скважинах показывают перспективность таких работ для контроля накопления данных статистических расчетов и прогнозирования процессов устойчивости грунтов плотины. Определенной направленности изменений УЭС воды во времени не наблюдается. Поэтому особого внимания этим результатам в данной работе не уделяется.

При инженерно-геологических исследованиях обращают на себя внимание естественные электрические локальные поля на земной поверхности, обязанные контактам разнородных горных пород, водоносных пластов, фильтрации подземных вод и диффузии растворов разной минерализации [8]. Для определения наиболее значимых областей фильтрации в теле плотины и в грунтах её основания были проведены работы методом естественного поля (ЕП).

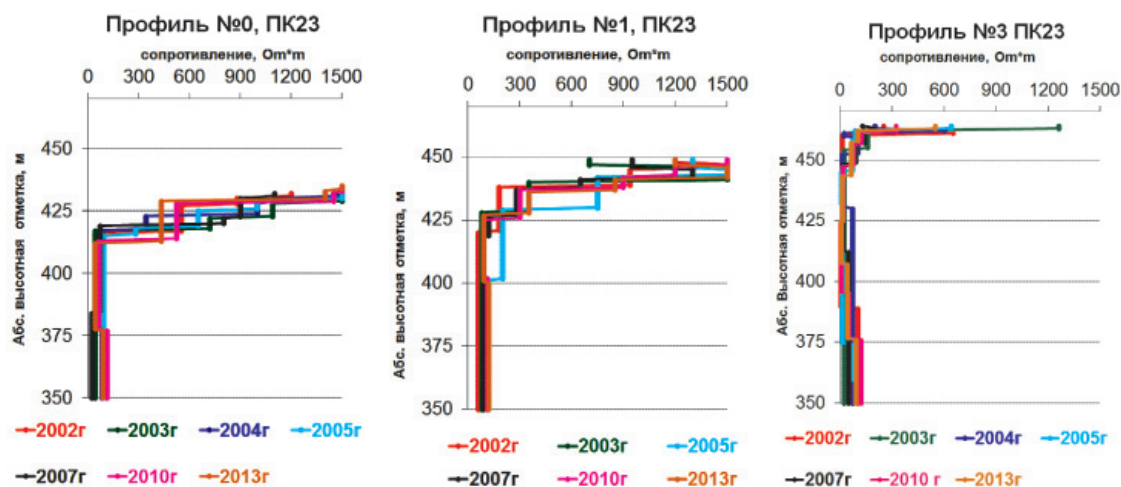


Рис. 5. Динамика УЭС на ПК23 на участках профилей № 0, 1 и 3, за период измерений с 2002 по 2013 гг.

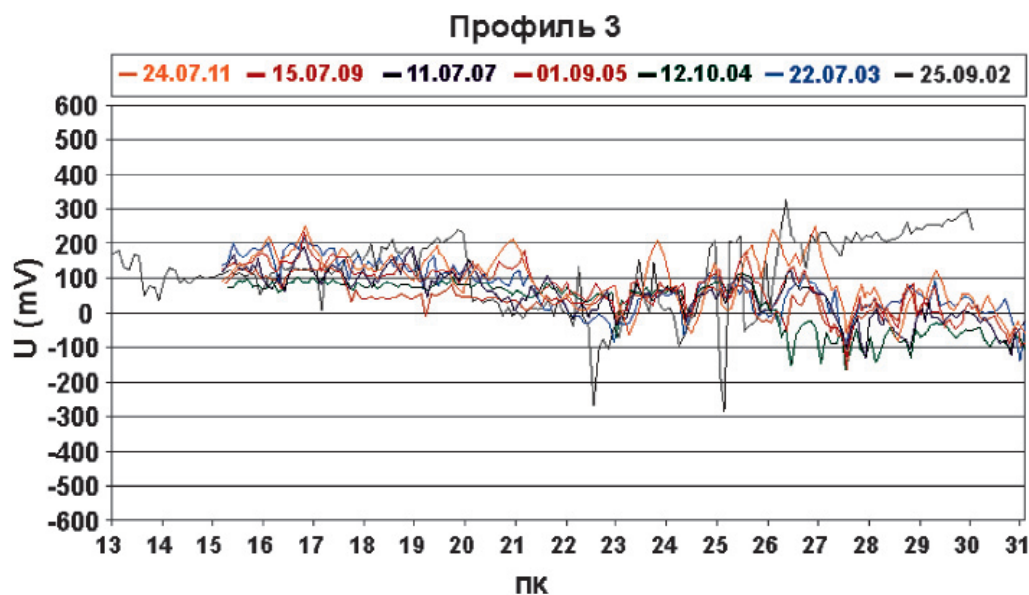


Рис. 6. Динамика изменения потенциальной фильтрации [ЕП] по профилю ПР3

Электроразведка методом ЕП выполнена в варианте способа съемки потенциалов. Особенностью ЕП земляной плотины ГЭС является то, что его параметры определяются в основном фильтрацией воды в проникаемых грунтах плотины. Причем, если $U = 0$ (U — потенциал ЕП), то переток воды отсутствует, локальные отрицательные аномалии дают утечки из дренажа. При равномерной инфильтрации по всей плотине ЕП будет увеличиваться по направлению к дренажной прорези, а при фронтальной и фланговой утечках неоднородности в нижнем клине плотины будут отличаться локальными аномалиями ЕП. Линзы мелкодисперсного глинистого материала дают положительные аномалии, а зоны, сложенные крупнообломочным и гравийно-галечным грунтом — отрицательные [7]. Шаг и разнос между соседними установками неполяризующихся электродов равнялись 10 м. Использовалась та же система профилей, что и для постановки ВЭЗ и КМПВ. Система и густота сети наблюдений каждым из выбранных методов определялась величиной погрешности определяемых ими параметров и условиями решения поставленных задач.

Постановка режимных измерений методом естественных потенциалов показала, что по ядру плотины (ПР3) замечены отрицательные аномалии, которые проявляются эпизодически и, начиная с пикета ПК 22 + 80, могут превышать 100 мВ. Общий вид графиков практически идентичен за всё время наблюдений. Начиная с ПК 25 + 50, на графиках распределения

потенциалов фильтрации могут присутствовать как положительные, так и отрицательные аномалии (рис. 6). Явно или неявно, по абсолютным значениям ЕП, выделяется аномалия на пикетах ПК 22 — ПК 27, которая может в отмеченных пределах мигрировать.

Состояние насыпной плотины в первом приближении по геофизическим параметрам оценивается следующим образом. В теле плотины существует дифференцированность грунтов по упругим и электрическим свойствам, обусловленная различиями состава и строения грунтов, их водонасыщенностью и технологическими факторами. Не удалось выявить и проследить четких каналов и путей фильтрации, которые проходили бы через всю плотину, так как не зафиксированы соответствующие геофизические аномалии на параллельных профилях, кроме одного случая по двум профилям на русловом участке.

В суглинистом ядре определены аномалии, связанные с неоднородностями физико-механических свойств, которые оценены по изменению коэффициента пористости, рассчитанного по геофизическому параметру пористости. О фильтрации можно судить по значениям потенциалов ЕП. Увеличение пористости, а следовательно, водонасыщенности и разуплотненности в суглинистом ядре может в неблагоприятных условиях привести к образованию линз плавучих, которые при землетрясении или просто с течением времени под влиянием вибраций и других причин могут являться потенциальными источниками повреждений в плотине.

Выводы

Материалы исследований показывают эффективность использования геофизических методов в решении поставленных задач и достоверность полученных результатов [6]. Основные выводы, сделанные по результатам мониторинга, сводятся к следующему:

– в теле земляной плотины под воздействием природных и техногенных факторов постоянно происходят процессы, вызывающие флуктуации фильтрационных параметров, причем определенной направленности этих процессов установить пока не удалось;

– распределение геофизических параметров вдоль оси плотины показывает, что русловая и островная плотины различаются по их значениям, а фильтрационные свойства русловой плотины требуют постоянно-го контроля;

– выявленные аномалии по данным ЕП показывают их активизацию на участках сопряжений суглинистого ядра с примыкающими элементами плотины, общий характер фильтрационного поля в пределах обследованной части характеризуется наличием многих сосредоточенных потоков, которые видны на графиках потенциалов фильтраций как местные экстремумы;

– надежность выводов о параметрах фильтрации подтверждается их сопоставимостью с результатами работ предшественников и анализом распределения уровней и напоров по данным пьезометрических режимных наблюдений;

– в целом делается вывод о фильтрационной устойчивости обследованных участков плотины.

В определённой степени это подтверждается и данными сравнения полученных расчетных скоростей фильтрации с проектными и установленными в опытах ВНИИГ.

Использованный для режимных измерений комплекс геофизических методов позволил получить данные для всестороннего

анализа поведения отдельных геофизических параметров в зависимости от конкретных физико-механических свойств и происходящих в плотине процессов во времени. Сравнительный анализ данных режимных геофизических измерений по методам электроразведки (ВЭЗ, ЕП), сейсморазведки и резистивиметрии показывает хорошую сходимость, однако на отдельных участках их отклонения требуют объяснений. Поэтому для более точного оконтуривания ослабленных зон и контроля за состоянием насыпи и ядра плотины необходимо продолжение исследований по геофизическому мониторингу насыпных плотин Иркутской ГЭС.

Таким образом, по результатам режимных измерений за одиннадцатилетний инструментальный период установлена относительная стабильность электрических и упругих параметров грунтовых плотин Иркутской ГЭС.

Список литературы

1. Джурик В.И., Серебrenников С.П., Юшкин В.И., Ескин А.Ю. Режимные исследования динамики физических характеристик пород в криолитозоне // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. – Иркутск, 2005. – Вып. 2. – С. 119–128.
2. Джурик В.И., Серебrenников С.П., Ескин А.Ю. Опыт электроразведочных исследований состояния и поля фильтрации грунтовых плотин // Гидрогеология, инженерная геология, геоэкология. – 2006. – № 5. – С. 1–8.
3. Инженерно-сейсмологические и геофизические исследования при инженерных изысканиях для строительства: сб. ст. / Госстрой СССР. Произв. и НИИ институт по инженерным изысканиям в строительстве / отв. ред. Ю.Д. Зыков, С.А. Федоров; АН СССР. – М.: Наука, 1987. – 127 с.
4. Кузнецов В.С. Критерии оценки надежности и безопасности грунтовых плотин // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – 2000. – Вып. 238. – С. 20–24.
5. Ляховицкий Ф.М., Хмелевской В.К., Ященко З.Г. Инженерная геофизика. – М.: Недра, 1989. – 252 с.
6. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. – М.: Недра, 1990. – 501 с.
7. Семенов А.С. Электроразведка методом электрического поля. – Л.: Недра, 1980. – 446 с.
8. Распопин Г.А., Лещенко С.И. Фильтрация через грунтовые плотины с ядром // Известия ВУЗов. Строительство. – 2006. – Вып. № 8. – С. 47–51.

УДК 551.4.042

ХАРАКТЕРИСТИКА БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ПРЕДЕЛАХ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ: ТИПОЛОГИЯ БЕРЕГОВ, ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ

¹Ильин В.Н., ²Беспалова Л.А., ¹Никонорова И.В., ^{3,2}Сушко К.С.

¹ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»,
Чебоксары, e-mail: suvar2009@yandex.ru;

²ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону,
e-mail: bespalowaliudmila@yandex.ru;

³Институт аридных зон Южного научного центра РАН, Ростов-на-Дону, e-mail: kirrkka@yandex.ru

Исследование посвящено изучению современного состояния береговой зоны Чебоксарского водохранилища в пределах Чувашской Республики. Целью работы является типизация берегов и оценка устойчивости береговой линии. Представлена сводная таблица по изменению береговой линии, составленная на основе сети реперов. Проанализированы темпы современного формирования береговой линии. В работе приведена типология берегов водохранилища. Описаны наиболее активные береговые процессы, в том числе абразия, оползни, осыпи, обвалы, подтопление. Также указаны причины, негативно сказывающиеся на современном геоэкологическом состоянии водохранилища. Создана карта типов берегов Чебоксарского водохранилища, включающая абразионно-оползневой, абразионно-осыпной, защищенный, эрозионный, подтопленный, абразионно-аккумулятивный и аккумулятивный типы берегов, местоположение активных оползней. На основе полученных данных вычислена комплексная геоморфологическая устойчивость береговой зоны. Выявлены территории, отличающиеся низкой и средней устойчивостью.

Ключевые слова: береговые процессы, типизация берегов, интенсивность абразии, устойчивость береговой зоны

CHARACTERISTICS OF THE CHEBOKSARY RESERVOIR COAST IN THE CHUVASH REPUBLIC: TYPES OF COASTS, ASSESSMENT OF STABILITY

¹Ilin V.N., ²Bespalova L.A., ¹Nikonorova I.V., ^{3,2}Sushko K.S.

¹Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, e-mail: suvar2009@yandex.ru;

²Southern Federal University, Rostov-on-Don,
e-mail: bespalowaliudmila@yandex.ru;

³Institute of Arid Zones, Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences,
Rostov-on-Don, e-mail: kirrkka@yandex.ru

The study investigates the current state of the coastal zone of the Cheboksary reservoir within the Chuvash Republic. The aim is typing banks and the stability of the shoreline assessment. It presents a summary table to change the coastline, compiled on the basis of network frames. We analyzed the rate of formation of the modern shoreline. The paper shows the typology of the reservoir banks. We describe the most active coastal processes, including abrasion, landslides, scree, avalanches, flooding. Also state the reasons, adversely affecting the modern geoecological state of the reservoir. Create a map of the coast of Cheboksary reservoir types, including abrasion-landslide, abrasion-talus protected, erosion, flooding, abrasion-accumulative and accumulative types of beaches, the location of active landslides. On the basis of the data calculated complex geomorphological coastal resilience. Identified areas characterized by low to medium resistance.

Keywords: coastal processes, typing coasts, the intensity of abrasion, the stability of the coastal zone

Создание плотины Чебоксарской ГЭС и заполнение Чебоксарского водохранилища в 1980–1982 гг. привели к активизации широкого спектра береговых процессов. Наиболее распространенными видами на данной территории являются береговая абразия, оползневые процессы, образование осыпей и обвалов, заболачивание и иные. Заполнение водохранилища изменило гидрогеологическое состояние берегов Волги, снизилась устойчивость правобережий.

Наиболее опасным для правобережья с точки зрения интенсивности формирования является образование новых и ак-

тивизация старых оползней. Ежегодно на правом берегу Чебоксарского водохранилища (в пределах Чувашской Республики) регистрируется образование от 2 до 6 новых участков оползневых подвижек. Можно выделить две главные причины образования оползней:

- 1) абразионный размыв подошвы оползней, выходящих на береговую линию;
- 2) нерациональное хозяйственное освоение территории береговой зоны.

Абразионный размыв приурочен к береговым участкам, не защищенным бетонным контрбанкетом. Активизация древних

оползней наблюдается и на участках, обеспеченных берегоукрепляющими сооружениями. Их генезис также может быть различным: строительство капитальных сооружений на склоне и в прибрежной полосе, погодные аномалии, подрезка склонов, вырубка деревьев (рис. 1). Отдельно следует отметить засорение водоотводных труб контрбанкетов.

Засоренные трубы не справляются с объемом поступающих к бетонным контрбанкетам ливневых или талых вод. Вода, не имея возможности разгрузки, поглощается водовмещаемыми породами склона правого берега. Это может привести к увеличению массы оползневых тел или формированию поверхности скольжения тела оползня. Быстрое развитие оползневых процессов и захват ими значительных объемов пород могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций, причинению значительного материального ущерба или человеческим жертвам. В первую очередь это касается береговой зоны в черте г. Чебоксары, населенных пунктов на берегу Волги в Чебоксарском и Моргаушском административных районах.

Правобережье Чебоксарского водохранилища выделяется широким развитием эрозионных процессов. Густота овражно-балочной сети достигает 2 км/км^2 . Скорость развития оврагов составляет до 10 м в год. Активно развивающиеся овраги характерны как для береговой зоны, защищенной контрбанкетом, так и для незащищенной зоны. Развитие эрозионных процессов не носит «лавиного» характера. Поэтому возникновение чрезвычайных ситуаций эрозионного генезиса маловероятно.

К основным экзогенным геологическим процессам, негативно сказывающимся на геоэкологической обстановке левобережья Чебоксарского водохранилища можно отнести

абразию, формирование осыпей, подтопление территории и образование мелководий.

Величина абразионного отступания береговой линии на некоторых участках сопоставима с правым берегом, достигая 1 м в год. К сожалению, не все населенные пункты, расположенные на левом берегу водохранилища, обеспечены контрбанкетами. Общая площадь береговой линии населенных пунктов Заволжья составляет около 2500 м . Из них 600 м не защищены дамбами и контрбанкетами, что оставляет возможность их размыва абразией [1].

Заполнение чаши Чебоксарского водохранилища до 63 м привело к поднятию уровня грунтовых вод значительных участков левобережья. Это резко ухудшило геоэкологическую ситуацию прибрежных территорий. Общая площадь подтопленных земель составляет около 30 км^2 , из их $3,15 \text{ км}^2$ приходится на поселки Октябрьский и Сосновка.

Установление уровня воды в водохранилище на отметке 63 м привело к формированию значительной площади мелководий, приуроченных к левому берегу. Площадь мелководий достигает 40% от общей площади водохранилища. Данные участки отличаются гидродинамическим режимом. Средняя температура выделенных участков в летнее время гораздо выше средней температуры по водохранилищу, что приводит к «цветению» воды.

По данным [4], на начальном этапе заполнения с августа 1983 по октябрь 1984 г. велись наблюдения за абразией берегов Чебоксарского водохранилища на створах у п. Чандрово, Сосновки, д. Цыганкасы. Они показали, что в надводной части берегового профиля идет интенсивный размыв. Размыв у п. Чандрово составил $45,1 \text{ м}^3$ с 1 м погонной длины берега, у д. Цыганкасы – $16,0 \text{ м}^3$. У п. Сосновка левый берег отступил на $2,5 \text{ м}$,

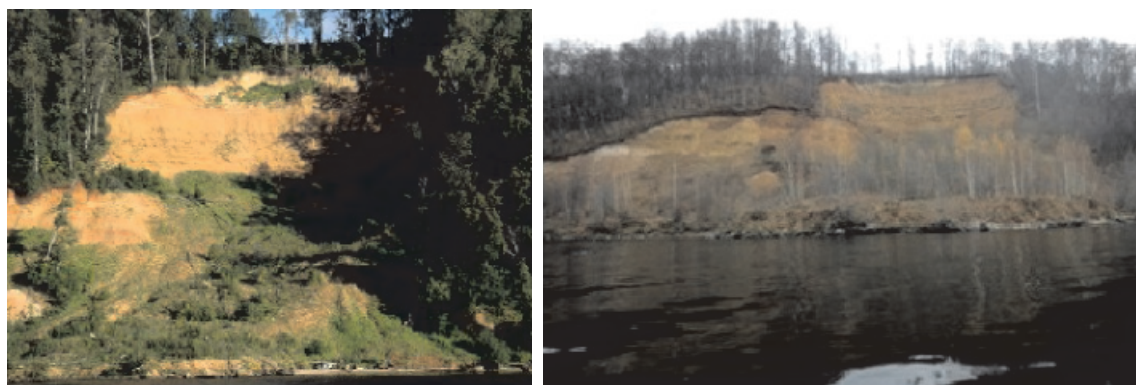


Рис. 1. Образование оползня на правом берегу водохранилища (2010, 2016 гг.)

что соответствует размыву в $7,5 \text{ м}^3$ с 1 погонного метра. С 1993 по 2000 гг. продолжили изучение береговых процессов Е.И. Арчиков, И.В. Никонорова [4]. С 2000 по 2002 гг. наблюдения вел С.С. Максимов [3]. Наблюдения за развитием абразионно-обвальноподолзневых процессов в районе географической станции ЧГУ (Шомиково) с 1993 г. и по настоящее время ведет Н.Ф. Петров [5].

Наибольшая скорость отступления по всем пунктам отмечалась в самые первые годы эксплуатации водохранилища. Абразионная деятельность продолжается и в настоящее время, но с гораздо меньшей эффективностью. На участке д. Цыганкасы абразия приостановлена благодаря сооружению бетонного контрбанкета. Высокая скорость абразии у п. Сосновка в последующие годы стала снижаться из-за сформировавшейся песчаной отмели.

В 1993 г. скорость отступления бровки правого берега Чебоксарского водохранилища на разных участках колебалась от 0,7 до 3,2 м. По левому берегу эта цифра изменялась от 0,4 до 2,7 м. Фактическое суммарное отступление бровки правого берега за годы эксплуатации достигло 6–38 м. Максимальное отступление берегов (39 м) отмечено у дома отдыха «Ильинский» на участке оживления древних оползней. Средняя скорость размыва правого берега с 1982 по 1997 г. составила 0,2–4 м/год. У п. Октябрьский песчаная терраса была размыва на 36 м [4]. Средняя скорость размыва левого берега за годы эксплуатации колебалась от 0,1 до 2,5 м/год (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что величина отступления берегов имеет затухающий характер. Через определенный промежуток времени выработается профиль динамического равновесия и величина размыва берегов водохранилища будет близка к нулю.

На основе анализа преобладающих береговых процессов и определяющих их условий нами была составлена карта типов берегов Чебоксарского водохранилища

(в пределах Чувашской Республики). Берега Чебоксарского водохранилища резко асимметричны: правобережный склон долины высокий и крутой, левый склон долины состоит из поймы и трех надпойменных террас, сложенных аллювиальными, преимущественно песчаными отложениями. Это привело к тому, что на левом и правом берегах распространены различные типы берегов. В пределах Чувашии для Чебоксарского водохранилища характерно преобладание абразионно-оползневых типов на правобережье и абразионно-осыпных на левом берегу (рис. 2).

Общая протяженность береговой линии Чебоксарского водохранилища составляет 130,5 км. Из них максимальную протяженность имеет абразионно-осыпной тип берега – 64,9 км (49,7% от общей протяженности береговой линии). Это связано с высокой расчлененностью береговой линии левобережья. Второе место по величине линейной протяженности занимает абразионно-оползневой тип – 40 км (30,7%). На долю остальных типов берегов приходится незначительные доли: укрепленный тип – 17,4 км (13%), эрозионный тип – 5,6 (4,3%), абразионно-аккумулятивный и аккумулятивный – 2,6 км (2%). Абразионно-аккумулятивный и аккумулятивный типы берега нами отмечены на незначительных участках левобережья у пос. Сосновка и Октябрьский. Данные типы берегов характерны для многочисленных островов и островков акватории водохранилища. Общая протяженность абразионно-аккумулятивной и аккумулятивной береговых линий островов достигает 220 км. Подтопленный тип берегов характерен для левого берега. Его общая протяженность составляет около 45 км.

Типизация берегов водохранилища и анализ их современного состояния позволил провести оценку геоморфологической безопасности изучаемой территории. Для этого была применена дополненная авторами

Таблица 1

Отступление берега Чебоксарского водохранилища

Пункт наблюдения	Скорость размыва, м/г							
	1984	1993	1995	1997	2002	2013	2016	средняя
П. Сосновка	2,5	0,9	0,5	0,2	–	0,1	0,0	0,7
Лагерь «Буревестник»	2,5	0,8	0,5	0,3	–	–	–	1,0
П. Октябрьский	–	1,0	0,9	0,9	0,2	0,5	0,3	0,72
П. Васильевка	0,4	0,2	0,3	0,4	–	0,2	0,2	0,28
П. Сюктерка	–	0,7	0,8	0,9	0,3	0,6	1,2	0,84
Д/о «Ильинский»	–	1,2	0,9	0,4	0,3	0,3	–	0,58
С. Шомиково	–	1,3	0,9	1,0	0,2	0,2	0,2	0,65

методика С.И. Большова и др. [2]. Определение комплексной геоморфологической безопасности береговой зоны Чебоксарского водохранилища включало анализ

геологического строения, расчлененности рельефа, ландшафтной дифференциации, наличия активных береговых процессов и т.д. (табл. 2).



Рис. 2. Типы берегов Чебоксарского водохранилища

Таблица 2

Коэффициенты комплексной геоморфологической безопасности береговой зоны
(доработано авторами по [2])

Учитываемый показатель	Диапазоны изменения показателя	Балл	Весовой коэффициент
1	2	3	4
Средняя абсолютная высота местности	0–200 м	4	1
	200–500 м	3	
	500–2500 м; –25 м; –0 м	2	
	Более 2500 м, менее –25 м	1	
Средняя глубина эрозионного расчленения (средняя глубина вреза речных долин)	0–50 м	4	0,8
	50–500 м	3	
	500–1000 м	2	
	Более 1000 м	1	
Наличие активных береговых процессов	отсутствуют	4	1
	Один	3	
	Два–три	2	
	4 и более	1	

Окончание табл. 2

1	2	3	4
Литологический состав горных пород, залегающих с поверхности	Коренные магматические и метаморфические слабыветрелые породы	4	0,8
	Коренные осадочные некарбонатные	3	
	Породы слабо и средневетрелые		
	Рыхлые обломочные осадочные породы, сильноветрелые магматические, метаморфические и осадочные некарбонатные породы	2	
	Рыхлые глинистые породы, карбонатные осадочные породы, органогенные породы	1	
Среднегодовое количество атмосферных осадков	Менее 200 мм/год	4	0,7
	200–500 мм/год	3	
	500–1000 мм/год	2	
	Более 1000 мм/год	1	
Наличие древних эрозионных элементов	Отсутствуют	4	1
	Неактивные	3	
	Предрасположенные к активизации	2	
	Активизировавшиеся	1	
Характер прилегающего растительного покрова	Древесная растительность	4	0,7
	Луговая растительность	3	
	Сельскохозяйственные угодья	2	
	Ландшафты селитебной зоны	1	

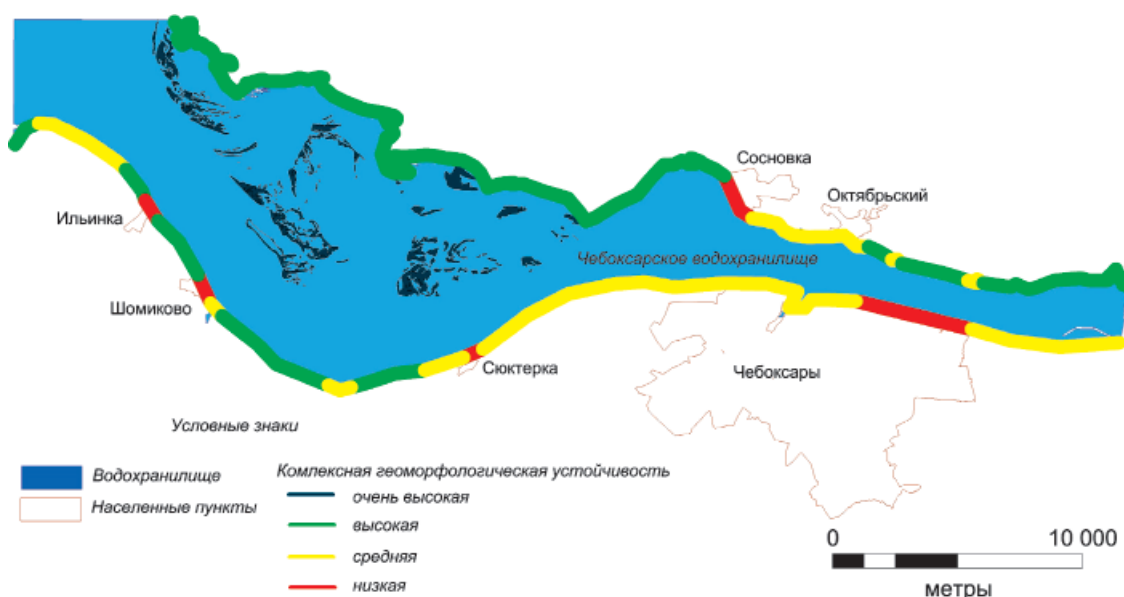


Рис. 3. Комплексная геоморфологическая устойчивость береговой зоны Чебоксарского водохранилища в пределах Чувашии

Вычисление коэффициентов геоморфологической безопасности территории показало, что абразионно-оползневой тип берега характеризуется показателями от 15,2 до 17,3 и относятся к группам с низкой и средней устойчивостью; эрозионный тип берега – 17,4; защищенный – 17,2–18,8; абразионно-осыпной тип – 15,8–17,3; абразионно-аккумулятивный и аккумулятивный – 17,9–19,8 (рис. 2).

Всего было выделено четыре группы по суммарному коэффициенту комплексной устойчивости береговой зоны (рис. 3):

очень высокая: больше 19,0;

высокая: 17,5–19,0;

средняя: 16,0–17,5;

низкая – менее 16,0.

Таким образом, на правобережье Чебоксарского водохранилища преобладают средние значения комплексной геоморфологической безопасности. На левом берегу преобладают высокий и средний показатели устойчивости. Очень высокая комплексная геоморфологическая устойчивость характерна для многочисленных островов в акватории водохранилища. Решающее влияние на показатели устойчивости имеют такие факторы, как геологическое строение, интенсивность совре-

менных геоморфологических процессов и ландшафтная дифференциация.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 16-35-50154; внутреннего гранта ЮФУ №213.01-07-2014/14 ПЧВГ.

Список литературы

1. Беспалова Л.А., Ильин В.Н., Сушко К.С. Некоторые склоновые и береговые процессы правобережья Чебоксарского водохранилища в пределах Чувашской Республики // Экология. Экономика. Информатика: материалы III Всероссийской конференции. 11–17 сентября 2016 г. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2016. – С. 67–72.
2. Болысов С.И., Бредихин А.В., Еременко Е.А. Подходы к оценке геоморфологической безопасности территории // Современная геоморфология. – М.: Кодекс, 2015. – № 140. – С. 29–55.
3. Максимов С.С. Современные экзогенные процессы на территории Чувашской Республики: монография. – Чебоксары: Новое время, 2011. – 134 с.
4. Никонорова И.В., Арчиков Е.И. Геолого-географические особенности формирования Чувашского участка Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ. – Чебоксары: Изд-во Чувашского университета, 2000. – 104 с.
5. Петров Н.Ф. и др. Исследования оползней Чебоксарского и Мариинско-Посадского правобережья долины Волги, развивающихся в породах татарского яруса пермской системы // Вестник Чувашского университета. – Чебоксары: Изд-во Чувашского университета, 2013. – № 3. – С. 132–138.

УДК 504.453

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ТРАНСГРАНИЧНЫХ БАСЕЙНАХ РЕК
СЕЛЕНГА И ТЕС-ХЕМ (РОССИЯ – МОНГОЛИЯ)****¹Кальная О.И., ²Гармаев Е.Ж., ²Жамьянов Д.Ц.-Д., ¹Забелин В.И.,
¹Арчимеева Т.П., ¹Аюнова О.Д., ¹Кирова Н.А.**¹ФГБУН «Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов»

Сибирского отделения Российской академии наук, Кызыл, e-mail: tikopr@tuva.ru;

²ФГБУН «Байкальский институт природопользования» Сибирского отделения Российской академии наук (БИП СО РАН), Улан-Удэ, e-mail: info@binm.bscnet.ru

В статье приводится сравнительная характеристика природных и экономических условий бассейнов трансграничных рек Тес-Хем (Тува – Монголия) и Селенга (Бурятия – Монголия). Биогеографический анализ включает сравнение климатических условий изученной территории, гидрологических данных рек, гидрохимических показателей состояния водотоков и степени их загрязнения компонентами техногенного происхождения. Дается описание представителей животного мира, населяющих бассейны трансграничных рек. Рассматриваются экологические проблемы водосборных бассейнов, связанные с антропогенной нагрузкой не только в пределах Тувы и Бурятии, а также Монголии. Основой взаимодействия в области охраны и использования трансграничных вод между Россией и Монголией является подписанное в 1995 г. Соглашение между Правительствами Российской Федерации и Монголии, в котором определены политические и правовые механизмы реализации межгосударственной политики, основанной на принципах «разумного и справедливого использования» трансграничных вод.

Ключевые слова: трансграничные бассейны, р. Тес-Хем, р. Селенга, природные и экономические условия, экологические проблемы

**COMPARATIVE EVALUATION OF ECOLOGICAL STATE
OF WATER BODIES IN THE TRANSBOUNDARY TES-KHEM
AND SELENGA RIVER BASINS (RUSSIA – MONGOLIA)****¹Kalnaya O.I., ²Garmaev E.Zh., ²Zhamyanov D.Ts.-D., ¹Zabelin V.I.,
¹Archimaeva T.P., ¹Ayunova O.D., ¹Kirova N.A.**¹Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (TuvIENR SB RAS), Kyzyl, e-mail: tikopr@tuva.ru;²The Baikal Institute of Nature Management of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (BINM SB RAS), Ulan-Ude, e-mail: info@binm.bscnet.ru

The article provides comparative characteristics of natural and economic conditions of transboundary river basins Tes-Khem (Tuva-Mongolia) and Selenga (Buryat-Mongolia). Biogeographical analysis involves comparing the climatic conditions of the studied area, the hydrological data of the rivers, hydro-chemical indicators of the state of watercourses and their degree of contamination components of technogenic origin. A description of the animal world, living in transboundary river basins. We consider environmental issues watersheds associated with anthropogenic load, within not only the Tuva and Buryatia, as well as Mongolia. The basis for cooperation in the field of protection and use of transboundary waters between Russia and Mongolia is signed in 1995 Agreement between the Governments of the Russian Federation and Mongolia, which defines the political and legal mechanisms for the implementation of intergovernmental policy based on the principles of «reasonable and equitable use» transboundary waters.

Keywords: transboundary basins, p. Tes River, p. Selenga, natural and economic conditions, environmental issues

В последние десятилетия приоритеты социально-экономического развития России в решающей степени определяются масштабами освоения природных ресурсов Сибири и возрастающими темпами роста экономического потенциала приграничных государств, в частности Казахстана, Монголии и Китая. Тормозящим фактором расширения сотрудничества с этими странами является недостаточное взаимодействие в социально-экономической, хозяйственной и экологической областях, в том числе в совместном изучении и использовании речных и озёрных систем, пересекающих

государственные границы. Проблема экономического развития приграничных территорий, их сохранения и рационального природопользования трансграничных бассейнов определяется сложившимся хозяйственным укладом, обычаями, культурой и традициями соседних народов.

Цель исследования. В настоящей работе приведена сравнительная оценка экологического состояния и проблем водопользования в бассейнах рек Селенга и Тес-Хем, которые расположены на международной трансграничной территории Россия – Монголия (рис. 1).

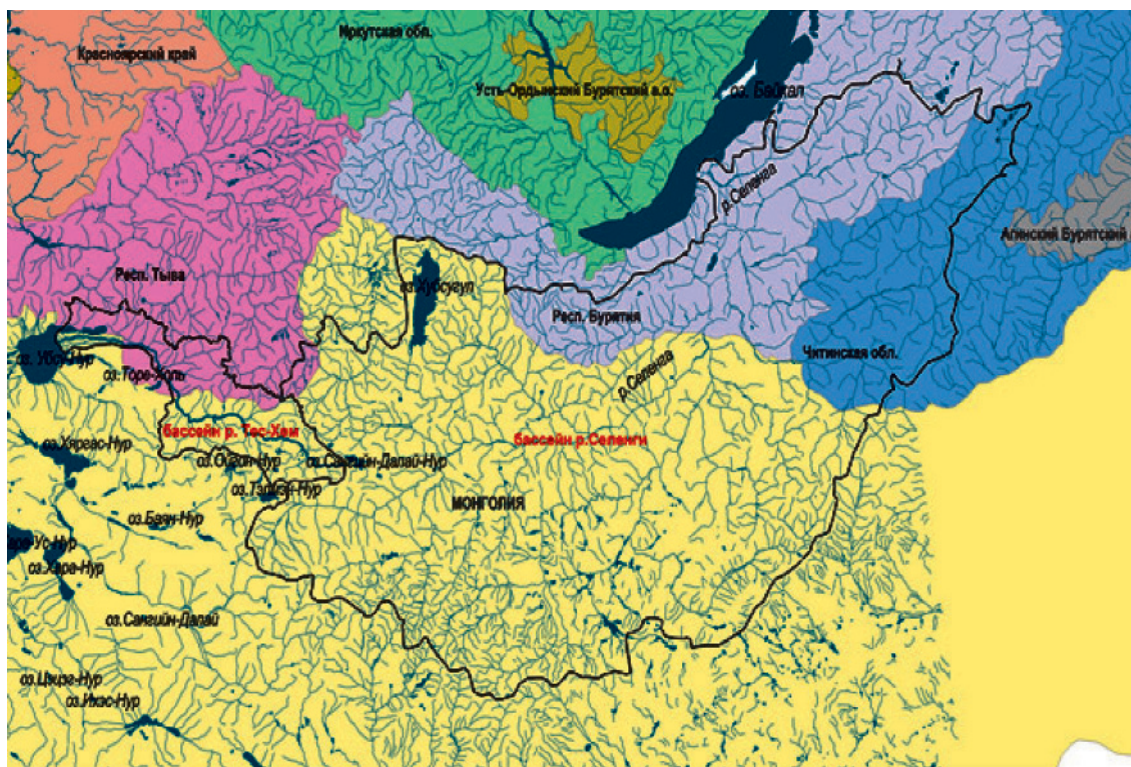


Рис. 1. Обзорная схема расположения бассейнов рек Тес-Хем и Селенга

Материалы и методы исследования

Сравнительный анализ экологического состояния рек Тес-Хем и Селенга и их бассейнов основан на изучении состояния водных объектов, особенностей природной среды, состояния и степени преобразования природных комплексов и экосистем и антропогенного воздействия на них. Основные результаты по изучению состояния экосистем бассейна р. Тес-Хем были получены в 2013–2014 гг. в результате гидрохимического, гидробиологического, зоологического обследования сотрудниками ТувИКОПР СО РАН в рамках проекта РФФИ 13-05-06055-г и частичной поддержке гранта РФФИ № 13-04-92217. Использовались также материалы исследований предыдущих лет: проведенные в 2002–2004 гг. Тувинской геологоразведочной экспедицией (ТГРЭ) [3], в 2012 г. – сотрудниками ТувИКОПР СО РАН на двух гидрохимических створах (№ 1 – расположен на входе р. Тес-Хем на территорию России в районе пограничной заставы Цаган-Толгой, № 2 – на выходе из территории России, в районе пограничной заставы Шара-Сур). Изучение биоты водных экосистем р. Тес-Хем проводилось по стандартным методикам гидробиологических исследований. Использованы также материалы по исследованиям фауны наземных позвоночных за 1999–2014 гг. Мониторинг качества вод реки Селенга производится Бурятским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды на участке от государственной границы с Монголией (пос. Наушки) до устья (с. Мурзино), всего в девяти створах государственной наблюдательной сети (ГНС) [6, 7, 8, 9, 10].

Результаты исследования и их обсуждение

Биогеографический сравнительный анализ бассейнов рек Тес-Хем и Селенга

Бассейн реки Тес-Хем. Тес-Хем является главным водотоком Убсу-Нурской котловины, берет свое начало на северных склонах хребта Булнайн-Нуруу Хангайской горной провинции Монголии и, протекая преимущественно в 3-СЗ направлении, впадает в оз. Убсу-Нур – одно из крупнейших бессточных озер Центральной Азии. Основные характеристики реки приведены в таблице. Падение уровня реки – 1833 м, общий уклон водотока – 0,0024 м. В верхнем течении река имеет горный характер, в среднем и нижнем течении тяготеет к равнинному. Питание реки и её притоков осуществляется преимущественно за счет атмосферных осадков и таяния многолетней мерзлоты. За счёт притоков, впадающих в реку на территории Тувы, её среднегодовой расход увеличивается примерно вдвое (рис. 2). Приустьевая часть реки на протяжении 86 км, разбиваясь на множество рукавов, образует широкую приозерную дельту.

Основные характеристики рек Тес-Хем и Селенга

Название водотока	Абс. высота, м		Основные характеристики рек					
			Длина, км		Площадь водосборного бассейна, км ²		Средний многолетний расход, м ³ /с	
	Исток	Устье	Монголия	РФ	Монголия	РФ	Монголия	РФ
Река Тес-Хем	2593	760	757		30 900		55,7	
			617	140	17 700	13 200		
Река Селенга		455	1024		447 000		935	
			615	409	299 000	148 000	310	935

Для бассейна р. Тес-Хем характерен резко континентальный климат с годовыми амплитудами температур до 89,5°C при абсолютном максимуме +39°C и минимуме –50,5°C и осадками не более 114–266 мм в год при среднемноголетнем значении 215 мм [12]. Район испытывает острый дефицит влаги. В то же время кратковременные ливневые дожди нередко приводят на реках к возникновению паводковых ситуаций.

Изучение гидрохимического состава поверхностных вод показало, что минерализация вод р. Тес-Хем на протяжении последних 12–14 лет остается стабильной и находится в пределах 0,26–0,35 г/л (пресные). Воды умеренно жесткие и жесткие (общая жесткость составляет 2,6–3,4 мг-экв/л), водная среда – слабощелочная (рН – 7,59–8,28), химический состав претерпевает незначительные колебания: воды преимущественно гидрокарбонатные (сульфатно-гидрокарбонатные) кальциевые и натриево-кальциевые. Загрязняющие компоненты природного и техногенного характера отсутствуют.

В 2012 году в водах реки отмечалось повышенное содержание нитритов – 0,26 мг/л

при ПДК = 0,08 мг/л (3,25 ПДК). Содержание всех остальных определявшихся компонентов, в том числе техногенных загрязняющих веществ, не превышало предельно допустимых концентраций.

В 2014 г. в р. Тес-Хем (гидропост № 2) отмечено повышенное содержание меди (1,3 ПДК), что носит природный характер, и незначительное превышение аммоний-иона (1,14 ПДК), вероятно, как следствие выпаса скота в пределах поймы реки. Содержание остальных определявшихся тяжелых металлов, загрязняющих компонентов техногенного характера (нефтепродукты, АПАВ), азотсодержащих компонентов не превышает требования для вод рыбохозяйственных водоемов. По показателям перманганатной и бихроматной окисляемости, растворенного кислорода (O₂), биологического потребления кислорода (БПК₅) обстановка в водах реки Тес-Хем благоприятная. Количество взвешенных веществ в поверхностных водах зависит от режима питания реки, в котором, в свою очередь, существенную роль играют атмосферные осадки.

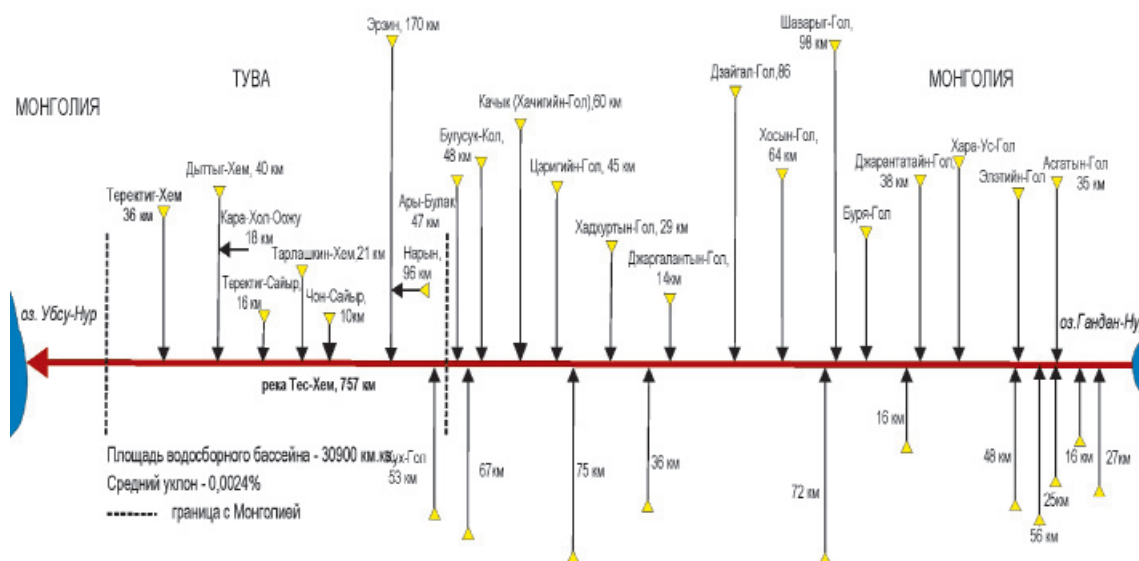


Рис. 2. Линейная схема бассейна р. Тес-Хем

По данным гидробиологических исследований реки и ее притоков наиболее массовыми группами амфибионтных насекомых – основного корма рыб, являются поденки, представленные 30 видами, веснянки и ручейники – по 12 видов. Также в бассейне реки найдены 24 вида стрекоз. Наибольшее видовое разнообразие отмечено в Тес-Хеме и его правом притоке – р. Шивээлиг-Хем: 47 и 45 видов соответственно. Интересной является находка в этих водотоках вида *B. Transiliensis* Brod, встреченного ранее в Таджикистане. По результатам изучения планктона наибольшее видовое разнообразие выявлено в пойменных водоемах р. Тес-Хем (12 таксонов), в протоках – 10, в русле реки Тес-Хем обнаружено только 3 таксона. В фауне преобладают ветвистоусые ракообразные – 12 видов (52%), веслоногие ракообразные представлены 3 видами (13%), коловратки – также 3 видами (13%). Доминирует ветвистоусый рачок *Chydorus sphaericus* (Müller, 1785) – повсеместно распространенный эврибионтный вид. Субдоминант – веслоногий рачок *Eucyclops serrulatus* (Fischer, 1851). По реке Тес-Хем индекс сапробности составил 1,3–1,4, что соответствует классу чистых вод. Река и ее притоки, как и озеро Убсу-Нур, населены непромысловыми видами рыб – убсунурским османом и серым низкотелым гольцом.

Изучение фауны наземных позвоночных показало высокое видовое разнообразие и высокую плотность населения в пойменных биотопах бассейна реки Тес-Хем, особенно характерные для ее обширной дельты и акватории оз. Убсу-Нур, водно-болотные угодья которых являются своеобразной «зоной сгущения жизни» аридного пояса Евразии. Данные угодья являются местом обитания множества наземных позвоночных, среди которых особое место занимают виды-вселенцы: ондатра, интродуцированная в 1962 г., бобр – в 1985, и американская норка – 1980 г. Ондатра и бобр успешно освоили пойму Тес-Хема, норка не так многочисленна.

Наиболее многочисленны в бассейне р. Тес-Хем и оз. Убсу-Нур птицы. Современная авифауна Убсу-Нурской котловины, по результатам наших исследований и анализу данных литературы, включает в себя 382 вида птиц. Из них гнездящихся и вероятно гнездящихся 308 (соответственно 286 и 23 вида), залетных – 38, пролетных – 32 и прилетающих в котловину только в зимний период – 4 [11]. По данным обследо-

вания акватории озера Убсу-Нур в 2014 г. [1, 2] в целом на озере и в устьях его наиболее крупных притоков в летний период концентрируется более 43000 птиц водно-болотного комплекса, наиболее массовые из них – озерные и серебристые чайки, речные крачки, большие бакланы, серые цапли, различные утки и кулики, численность некоторых из них достигает более 13 000 особей (большой баклан). Также экосистемы Убсу-Нура являются местом обитания большого количества глобально редких видов птиц – реликтовой чайки, савки; а также регионально редких – черноголового хохотуна, чегравы, колпицы, лебедя-кликлуна, больших кроншнепа и веретенника, шилоклювца, ходулочника, орлана-белохвоста и др. видов птиц. Река Тес-Хем с ее многочисленными рукавами является ключевым местом обитания для всего региона Центральной Азии находящегося под угрозой исчезновения гуся-сухоноса. Здесь же гнездится ставший повсеместно редким серый гусь. Озеро также является важным местом остановки мигрирующих птиц и местом летней линьки для многих видов гусей и уток. Кроме того, степи Убсу-Нурской котловины являются ключевыми местами сохранения популяций степного орла, балобана, восточной дрофы, численность которых в других регионах России неуклонно снижается.

Бассейн реки Селенга. Бассейн р. Селенга расположен в пределах гористой центральной части азиатского материка, занимая пространство несколько вытянутой с юго-запада на северо-восток формы. Река Селенга является самым крупным притоком оз. Байкал. В геоморфологическом отношении монгольская часть бассейна реки формируется в пределах северного макросклона хребта Хангай и его отрогов, южного макросклона Восточного Саяна (Прихубсугулье) и восточного макросклона хребта Хэнтэй. Российская часть бассейна реки принадлежит Западному Забайкалью и приустьевая часть реки (ниже г. Улан-Удэ) – к Прибайкальской геоморфологической области.

Селенга (от истока р. Идэр) при протяженности на 267 км больше, чем р. Тес-Хем (табл. 1), имеет водосборный бассейн, площадь которого более чем в 14 раз превышает площадь бассейна Тес-Хема. Непосредственно река Селенга образуется слиянием рек Идэр и Дэлгэр-Мурен и ниже слияния имеет в основном равнинный облик. При впадении в Байкал река образует обширную дельту площадью 1120 км². Долина Селенги

характеризуется чередованием расширений (до 25 км) и узких участков (до 1 км). В сужениях река течет в слабоизвилистом русле, где нередко каменистые перекаты. В местах расширений река течет по пойме, образуя множество рукавов и проток, берега реки высотой 1–3 м, ширина русла при низком уровне воды колеблется в пределах 50–150 м, расширяясь местами до 200 м и более. Глубины на плесах редко превышают 4–5 м, на перекатах уменьшаются до 1,0–0,5 м. Средний расход воды вблизи границы Монголии и России составляет 310 м³/с, в 127 км от устья – 935 м³/с. Максимальный расход воды Селенги у г. Улан-Удэ составляет 7620 м³/с (летний паводок) и минимальный – 30 м³/с в зимний период [4]. Годовой сток Селенги составляет 30 км³. Следует отметить, что чуть больше половины общего годового стока реки (15,4 км³) формируется в российской части бассейна [14]. Питание реки и её притоков осуществляется преимущественно за счет атмосферных осадков, таяния ледников, снежников и многолетней мерзлоты. Периодически повторяющиеся наводнения на Селенге (практически один раз в десять лет) наносят значительный ущерб населению и экономике республики. Ледостав на реке длится с ноября по апрель. Водосборная площадь бассейна Селенги имеет хорошо развитую гидрографическую сеть с пятью крупными притоками на территории Монголии (рис. 3) и озерами Хубсугул (площадь водного зеркала 2760 км²), Тэрхийн-

Цаган-Нур, площадь 61 км², и Угий-Нур, площадью 25 км², расположенные в степной зоне долины р. Орхон. На российской территории в Селенгу впадают 5 крупных притоков (рис. 4).

Для бассейна Селенги, как на территории Монголии, так и на территории Бурятии, характерен резко континентальный климат. Средняя температура зимой –25°С, летом +26°С. Среднегодовой уровень осадков 244 мм, с наибольшим количеством в июле и августе. Максимум осадков зимой – в ноябре-декабре. Весна ветреная, с господствующими северо-западными ветрами, с заморозками и почти без осадков. Лето короткое, с жаркими днями и прохладными ночами. Осень наступает плавно, без резкой смены погоды.

Ретроспективный анализ имеющихся данных по гидрохимическому состоянию вод реки Селенга показал, что на территорию Российской Федерации воды реки приходят уже загрязненные: удельный комбинаторный индекс загрязнения вод (УКИЗВ) в поселке Наушки (граница с Монголией) колеблется в пределах 2,84–3,71, что по классификации соответствует третьему (3б) и четвертому (4а) классам – вода очень загрязненная и грязная.

В устьевой части реки УКИЗВ колеблется в пределах 2,08–3,0, что соответствует 3а классу – воды загрязненные. То есть, протекая по территории России, воды реки Селенги хоть и незначительно, но очищаются. Надо отметить, что даже ниже сброса

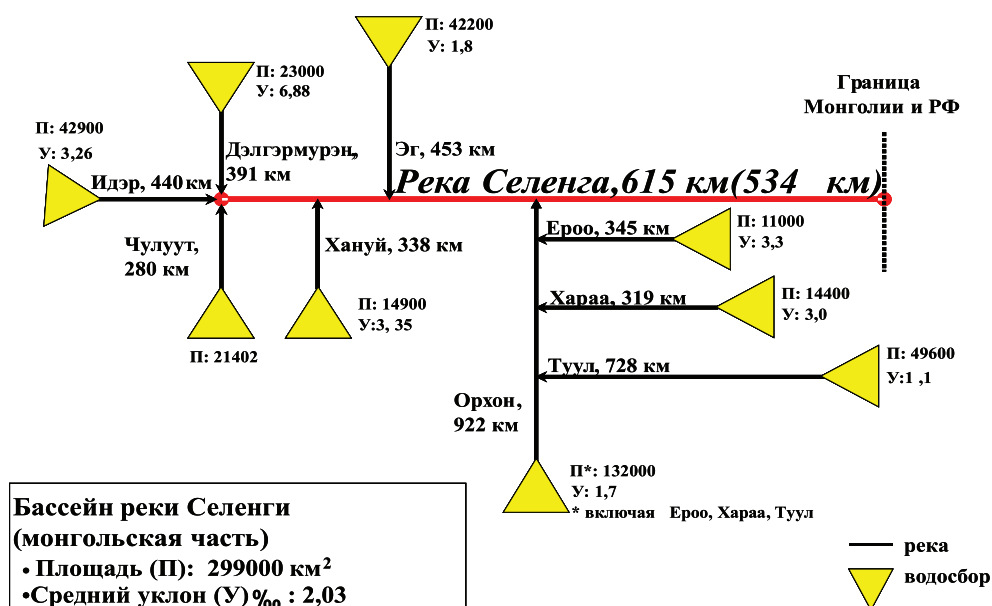


Рис. 3. Линейная схема бассейна р. Селенга (составлена на основе данных Института географии и геоэкологии АН Монголии)

*Экономические условия в бассейнах рек
Тес-Хем и Селенга*

Бассейн реки Тес-Хем. Приграничные районы Тувы и Монголии в пределах бассейна реки Тес-Хем имеют в основном схожие черты структуры экономики, в которой большую часть занимает сельское хозяйство. Промышленность и строительство составляют в западных районах Монголии такую же незначительную часть в структуре экономики, как и в районах Тувы. Население в основном занято в сельском хозяйстве, в котором преобладающее значение имеет животноводство.

Административно российская часть бассейна р. Тес-Хем принадлежит Овюрскому, Эрзинскому и Тес-Хемскому районам Республики Тыва с 10 небольшими сельскими поселениями и тремя погранзаставами. По данным Государственного комитета Республики Тыва по статистике на 01.01.2014 г. плотность населения приграничных районов Тувы колеблется от 0,7 до 1,2 чел/км². Население сосредоточено преимущественно в районных центрах – селах Эрзин, Самагалтай и 10 мелких населенных пунктах, расположенных в долине Тес-Хема. Экономически районы развиты слабо. Местное население занято пастбищным отгонным животноводством. Землепашество практически отсутствует. Построенная в 1952 г. в районе пос. Ак-Эрик (в приустьевой части долины Тес-Хема) оросительная система для поливного земледелия в настоящее время не работает. Промышленных объектов, загрязняющих поверхностные воды рек района, нет [5]. Рыбопромыслового значения бассейн р. Тес-Хем не имеет. В пределах Монголии в бассейне реки располагаются Увс-аймак, Завхан-аймак, Хувсгел-аймак и три поселка, Цэцэрлэг, Баянтэс и Тэс. Трансграничная территория в пределах бассейна р. Тес-Хем также слабо экономически развита. Население занято пастбищным отгонным животноводством. В связи со слабой экономической освоенностью территории, отсутствием горнодобывающих объектов и промышленных предприятий полномасштабные экологические проблемы в пределах бассейна трансграничной реки Тес-Хем отсутствуют, бассейн реки находится практически в ненарушенных природных условиях.

Дельта Тес-Хема и несколько участков в ее бассейне, а также прибрежная часть оз. Убсу-Нур на территории Тувы входят в состав государственного биосферного заповедника «Убсунурская котловина», явля-

ющегося объектом всемирного природного наследия ЮНЕСКО. Также и на территории Монголии акватория озера и прибрежные территории входят в состав одноименного природного заповедника.

Бассейн реки Селенга, как на монгольской, так и на российской части, является наиболее освоенной территорией, и уровень антропогенного воздействия на водные объекты достаточно велик. Так, монгольская территория бассейна р. Селенга занимает лишь 1/5 часть площади всей страны (19%), однако здесь проживает около 75% населения и сосредоточена основная часть промышленности страны. На территории России на бассейн р. Селенга приходятся южные и центральные районы республики Бурятия и западные районы Забайкальского края. Это наиболее экономически развитые районы Сибири. На российскую часть площади водосбора р. Селенга приходится 27% территории Республики Бурятия, но на ней проживает около 85% населения и производится более 75% валового регионального продукта республики. В бассейне реки на российской территории сформированы основные промышленные узлы Бурятии: Кяхтинский, Улан-Удэнский, Нижнеселенгинский на р. Селенга; Закаменский, Гусиноозерский и Заиграевский на ее притоках и озере Гусиное.

В связи со значительной техногенной нагрузкой на водосборную площадь Селенги, как на территории Монголии, так и на территории РФ, в пределах бассейна возник целый ряд экологических проблем, которые достаточно трудно охватить в одной статье. Обозначим очень кратко основные экологические направления ухудшения природной среды:

1. Снижение качества и количества вод реки, включая потенциальный ущерб от роста изъятия водных ресурсов, в том числе для нужд энергетики.

2. Загрязнение поверхностных вод реки селенга и её притоков за счет сельскохозяйственной деятельности; отходами добывающей и перерабатывающей промышленности; сброса плохо очищенных или неочищенных сточных вод населенных пунктов.

3. Загрязнение подземных вод.

4. Загрязнение и деградация почвенного покрова, возникновение очагов антропогенного опустынивания.

5. Загрязнение воздушного бассейна за счет выбросов промышленных предприятий.

6. Экологический аспект состояния здоровья населения.

Согласно оценке современного экологического состояния, непосредственно водотока реки Селенга, проведенной ЛИН СО РАН (г. Иркутск) в результате снижения водности р. Селенги и одновременного роста хозяйственной деятельности в ее бассейне отмечено ухудшение качества селенгинских вод, регистрируются повышенные концентрации азота, фосфора, бенз[а]пирена, происходит эвтрофикация водотока. Регистрируется высокая численность патогенной микрофлоры, что несет угрозу здоровью населения. При условии сохранения наблюдаемых тенденций изменения климата и техногенной нагрузки на водосбор реки масштабы наблюдаемых изменений, очевидно, могут только увеличиться и существенно повысить риск необратимых изменений в экосистеме как р. Селенги, так и Селенгинского мелководья и оз. Байкал.

В настоящий момент основой взаимодействия в области охраны и использования трансграничных вод между Россией и Монголией является подписанное в 1995 г. Соглашение между Правительствами Российской Федерации и Монголии, в котором определены политические и правовые механизмы реализации межгосударственной политики, основанной на принципах «разумного и справедливого использования» трансграничных вод.

Заклучение

Таким образом, бассейны рек Тес-Хем и Селенга, имея сходные черты географического положения, климатических условий и природной среды, имеют существенные различия по степени антропогенного воздействия. Если бассейн Тес-Хема остается экономически неразвитым и сохраняет естественные экосистемы почти в неизменном состоянии, то в бассейне Селенги наблюдается концентрация населения, сосредоточена основная часть промышленности Монголии и Республики Бурятия (Россия), развивается сельское хозяйство. Как следствие, в настоящее время здесь возник ряд экологических проблем, наиболее важная из которых – загрязнение поверхностных вод Селенги, остающейся основным источником воды для населения, проживающего в одном из наиболее водоемких регионов Центральной Азии. Селенга также является наиболее крупным притоком оз. Байкал, поэтому сохранение экосистемы бассейна р. Селенга является важнейшей задачей на пути сохранения оз. Байкал – объекта всемирного наследия ЮНЕСКО. На выполнение этой задачи направлено межгосударственное взаимодействие с Монголией по вопросам, связанным с трансграничными водными ресурсами, экологически обо-

снованное управление трансграничными водами на основе бассейнового принципа, которое осуществляется через создание института уполномоченных Правительства Российской Федерации и Правительства Монголии по охране и использованию трансграничных вод. Высокий политико-правовой статус уполномоченных позволяет им действовать от имени двух правительств в области охраны и использования трансграничных вод и реализовать государственные национальные водные политики на межгосударственном уровне с учетом национальных интересов стран [13].

Список литературы

1. Арчимаева Т.П., Тувшин У., Савельев А.П. Птицы водно-болотного комплекса Увс-Нуура: первый полный орнитологический обзор акватории крупнейшего озера Монголии // *Ecosystems of Central Asia under Current Conditions of Socio-Economic Development: Proceeding of International Conference*. – Vol. 1. – Ulaanbaatar (Mongolia), Sept. 8–11. 2015. – Ulaanbaatar, 2015. – P. 286–289.
2. Арчимаева Т.П., Тувшин У., Савельев А.П., Забелин В.И. Редкие виды птиц озера Увс-Нур // Биоразнообразие и сохранение генофонда флоры, фауны и народонаселения Центрально-Азиатского региона: мат-лы IV Международной науч.-практ. конф. 1–4 октября 2015 г. – Кызыл, 2015. – С. 102–105.
3. Высотина Л.Н. Оценка состояния водных объектов и водохозяйственных систем в бассейне реки Тес-Хем и её притока реки Эрзин в Республике Тыва. – Кызыл, 2004. – 22 с. – ТТГФ.
4. Дашиев Ю.Д., Васильева С.Н. Современное состояние и основные проблемы использования и охраны водных объектов в бассейне реки Селенги. // Селенга – река без границ: Материалы международной научно-практической конференции. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2002. – 181 с., С. 45–48.
5. Забелин В.И., Кальная О.И., Арчимаева Т.П., Доможакова Е.А., Самбуу А.Д., Заика В.В., Аюнова О.Д., Левыкин С.В. К экологии бассейна трансграничной реки Тес-Хем (Тэсийн-Гол) (Россия, Тува – Монголия) / Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии (в трех томах): труды всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 25-летию юбилею Института водных и экологических проблем СО РАН (20–24 августа 2012 г., Барнаул). – Барнаул: Изд-во ООО «Плюс пять», 2012. – Т. 3. – С. 206–211.
6. Информационный бюллетень о состоянии водных объектов и водохозяйственных сооружений в Республике Бурятия в 2008 г. – Улан-Удэ, 2009.
7. Информационный бюллетень о состоянии водных объектов и водохозяйственных сооружений в Республике Бурятия в 2009 г. – Улан-Удэ, 2010.
8. Информационный бюллетень о состоянии водных объектов и водохозяйственных сооружений в Республике Бурятия в 2010 г. – Улан-Удэ, 2011.
9. Информационный бюллетень о состоянии водных объектов и водохозяйственных сооружений в Республике Бурятия в 2011 г. – Улан-Удэ, 2012.
10. Информационный бюллетень о состоянии водных объектов и водохозяйственных сооружений в Республике Бурятия в 2012 г. – Улан-Удэ, 2013.
11. Озерская Т.П. Структура населения и экология птиц биотопов Увс-Нурской котловин: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ). Биологический факультет. – М., 2008.
12. Природные условия Тувинской автономной области / Труды тувинской комплексной экспедиции. – Вып. III. – М.: Изд. АН СССР, 1957. – 275 с.
13. Цыренова Т.Б. Сотрудничество России и Монголии в области охраны и использования трансграничных вод / отв. ред. И.И. Осинский. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского государственного университета, 2011. – 112 с.
14. Экосистемы бассейна Селенги / отв. ред. Е.А. Восстокова, П.Д. Гунин. – М.: Наука, 2005. – 359 с.

УДК 553.632 (470.53)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА УЧАСТКА ПРИ СОПОСТАВЛЕНИИ ДАННЫХ РАЗВЕДКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ

Кудряшов А.И., Баяндина Э.О.*ООО «Научно-производственная фирма “Геопрогноз”», Пермь, e-mail: geoprognoz@inbox.ru*

Сопоставление данных разведки и эксплуатации Верхнекамского месторождения солей показывает, что содержание нерастворимого остатка в сильвинитовых пластах по данным разведки значительно ниже, чем по данным эксплуатации. Причиной занижения является избирательное истирание керна при бурении. Для установления динамики расхождения данных разведки и эксплуатации, как функции от содержания этого компонента в пласте, и получения поправочных уравнений сопоставление следует проводить в пределах множества элементарных участков геохимического поля нерастворимого остатка по отдельным продуктивным пластам. Важным параметром является размер этих участков. Методика определения максимального размера участков основывается на учете однородности геохимического поля этого компонента в их пределах. Экспериментально получено, что площадь участков сопоставления должна не превышать 8 км², а их форма в плане – близка к изометричной.

Ключевые слова: сопоставление данных разведки и эксплуатации, размер участка сопоставления, нерастворимый в воде остаток солей, избирательное истирание керна, коэффициент вариации содержаний, сильвинит, Верхнекамское месторождение солей

DETERMINATION PLOT SIZE WHEN COMPARING DATA EXPLORATION AND EXPLOITATION OF VERKHNEKAMSKOE SALT DEPOSIT

Kudryashov A.I., Bayandina E.O.*LLC «Scientific and Production Company “Geoprognoz”», Perm, e-mail: geoprognoz@inbox.ru*

Comparison of exploration and exploitation data of the Verkhnekamskoe salt deposit shows that the content of insoluble in water residue of salts in sylvinit beds according to exploration much more low, than according to exploitation. The understating cause is selective core detrition at drilling. For an establishment of dynamics of discrepancy of the data of exploration and exploitation as from the content of this component in a bed, and receptions of the correction equations comparison it is necessary to make functions within set of surface elements of a geochemical field insoluble in water residue of salts. Important parametre is the dimension of these fields. The procedure of definition of the maximum dimension of fields is based on the account of uniformity of a geochemical field of this component in their limens. Experimentally, it was found that a comparison plot area shall not exceed 8 km², and their shape in the plan – similar to isometric.

Keywords: comparison of exploration and exploitation data, size of a field of comparison of the data, insoluble in water residue of salts, selective core detrition, coefficient of variation of content, sylvinit, Verkhnekamskoe salt deposit

Верхнекамское месторождение солей (ВКМС) является единственной сырьевой базой действующих производств калийной промышленности России. Месторождение представлено гигантской линзой солей нижнепермского возраста площадью 8,2 тыс. км². Прикровельная часть этой линзы представлена калийной залежью – серией продуктивных пластов, чередующихся с пластами каменной соли ($S = 3,75$ тыс. км²).

Пять нижних продуктивных пластов калийной залежи, сложенные красными (пласты $KrIII^{a+b}$ и $KrII$), полосчатыми (пласт А) и пестрыми (части пластов Б и В) сильвинитами, являются основными рабочими пластами месторождения.

Ценность калийных месторождений хлоридного типа определяется главным образом количеством запасов и качеством сильвинитов, из которых производится калийное удобрение. Качество сильвини-

товых руд характеризуется содержанием в них полезного (KCl) и вредных ($MgCl_2$, Н.О.) компонентов.

Практика освоения месторождения показала, что содержание нерастворимого в воде остатка (Н.О.) в сильвинитовых пластах по данным разведки значительно (иногда на целые проценты) ниже, нежели по данным эксплуатации [2, 4 и др.].

Ранее в перечень параметров кондиций для подсчета запасов сильвинита содержание этого компонента, как правило, не входило (исключение составляют Талицкий и Палашерский участки). Тем не менее содержание Н.О. в этих рудах сильно влияет на степень извлечения полезного компонента при их обогащении и в целом повышает расходы как на переработку руд, так и на размещение (складирование) глинисто-солевых шламов. Главным же является то, что содержание Н.О. в сильвинитовых рудах определяет способ их обогащения. И не

случайно, что в перечне факторов, определяющих эффективность освоения участка ВКМС, содержание Н.О. в рудах промышленных пластов стоит следом за содержанием КС1 [6].

На основании результатов специальных экспериментов, занижение содержания Н.О. по данным разведки В.Ф. Мягков и В.И. Раевский [8, 10] объяснили избирательным истиранием зерна, являющимся постоянным недостатком колонкового бурения скважин. В процессе бурения скважин зерно раскалывается на столбики, основания которых перпендикулярны их оси. Столбики зерна при бурении трутся один о другой основаниями, и за счет их истирания происходит потеря Н.О. из керновых проб [8].

Разрывы зерна при бурении чаще всего приурочены к прослоям галопелитов. Галопелиты – основной концентратор Н.О. солей, полигенный материал в естественных условиях представляет собой насыщенную рассолами (20–30%) массу, сложенную в основном сульфатами, карбонатами, силикатами, галоидами и органикой. Мощность галопелитовых прослоев в сильвинитовых пластах, а следовательно, и содержание Н.О. увеличивается на месторождении в юго-восточном направлении. В связи с этим проблема занижения данных разведки о содержании этого компонента в силь-

винитовых пластах наиболее актуальна для участков южной части ВКМС.

Ранее авторами работ [7, 10, 11] было предложено несколько поправочных уравнений (рис. 1), при получении которых был допущен ряд методических недостатков [1].

Неуниверсальность этих уравнений не дает возможности использовать их на практике. При относительно высоких содержаниях Н.О. невозможно применение и разработанной более 40 лет назад нормативной методики корректировки содержания Н.О. по данным солеразведочных скважин [11]. Главным же недостатком этих исследований является то, что проведенные сопоставления данных разведки и эксплуатации осуществлялись по средним значениям содержания Н.О. в пластах в пределах отдельных геологических блоков, их серий или по шахтным полям в целом. Естественно, что при этом имелась лишь одна пара значений – среднее содержание Н.О. по данным разведки и среднее содержание Н.О. по данным эксплуатации. Однако этого недостаточно для того, чтобы проследить динамику избирательного истирания зерна в интервале содержания Н.О., встречающихся на месторождении.

Отсюда следует, что практика остро нуждается в получении обоснованных поправочных уравнений для корректировки данных разведки с поверхности.

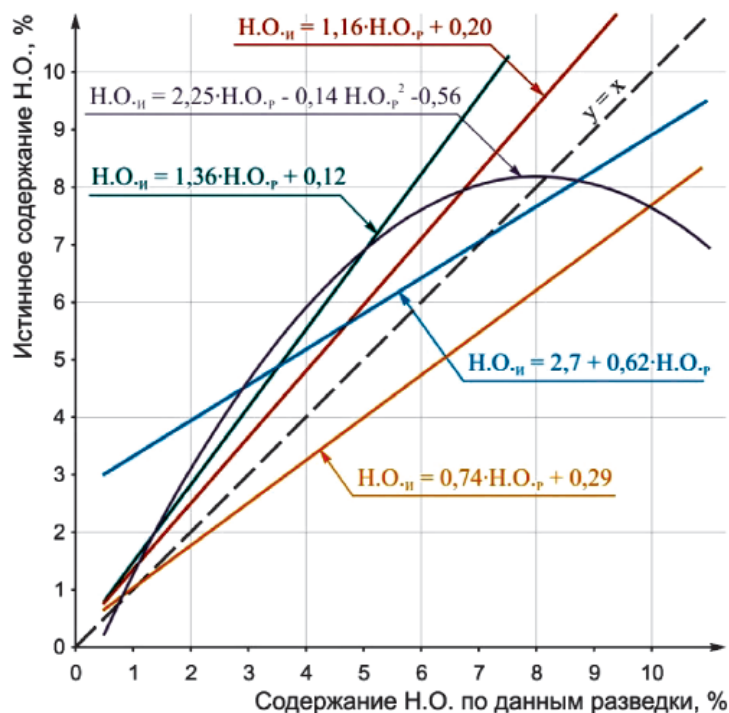


Рис. 1. Графики поправочных уравнений, полученных предшественниками

Для выявления динамики расхождения данных разведки и эксплуатации, как функции от содержания Н.О. в пласте, сопоставление предлагается осуществлять в пределах множества дискретных (элементарных) участков геохимического поля этого компонента, т.е. в пределах относительно небольших по площади частей месторождения. При этом совокупность серии средних содержаний Н.О. по участкам должна отражать весь диапазон содержаний этого компонента, характерный для ВКМС в целом.

В общем случае идеальным является сопоставление каждого значения Н.О. по данным разведки и эксплуатации в сопряженных в плане точках. В условиях разрабатываемого месторождения солей сделать это невозможно, поскольку вокруг каждой скважины, пройденной с поверхности, на уровне рабочего пласта оставляется охраняемый целик радиусом 50–100 м. Поэтому сопоставлению подлежит одно частное значение, полученное при бурении солеразведочной скважины с поверхности, и среднее значение по серии данных эксплуатационного опробования в точках, расположенных в ближайших окрестностях этой скважины. При этом, в случае сопоставления одного значения содержания Н.О. (по одной солеразведочной скважине) с данными эксплуатации условно принято, что значение геохимического поля этого компонента в пределах участка сопоставления является постоянным. Однако вследствие тренда этого поля (а в южной части ВКМС он имеется всегда) и неизбежных случайных ошибок это условие никогда не выполняется.

В соответствии с современной теорией геостатистики [5, 9 и др.] частное значение любого геологического параметра (отметка кровли геологического тела, мощность пласта, содержание компонентов и т.п.) представляют собой алгебраическую сумму регулярной (закономерной) и случайной составляющих:

$$X_i = X + \varepsilon_i,$$

где X_i – частная оценка признака; X – регулярная составляющая (измеренная без погрешностей); ε_i – случайная составляющая.

В свою очередь на значение ε_i оказывает влияние множество других случайных величин, которые условно можно разделить на природные флуктуации и технические погрешности. В отношении содержания Н.О. природные флуктуации обусловлены:

– неравномерностью накопления в осадке нерастворимых в воде компонентов на стадии седиментогенеза;

– латеральной изменчивостью мощности (в результате гофрировки слоев) и минерального состава галопелитовых прослоев;

– перераспределением в объеме пласта и выносом из него глинистых частиц мигрирующими растворами на стадии эпигенеза;

– вторичным изменением состава продуктивного пласта под воздействием надсолевых вод на стадии гипергенеза [6].

Технические погрешности определения содержаний Н.О. в пробах вызваны:

– потерей керна при бурении скважин;

– ошибками опробования (невыдержанность геометрической базы геологической пробы, отсутствие должной промывки керна от бурового раствора, неряшливый сбор материала при бороздовом опробовании и др.);

– погрешностью подготовки пробы к анализу (разброс обломков при раскалывании крупных кусков керна, недостаточная тщательность очистки оборудования: дробилок, валков, истирательных дисков, сит);

– погрешностью химического анализа на Н.О.

Случайная составляющая обладает значокопеременностью и статистической устойчивостью, поэтому $\sum_{i=1}^n \varepsilon_i \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$ [9].

Отсюда следует, что чем больше данных по эксплуатационному опробованию, тем достовернее среднее содержание. Однако в действительности мы никогда не знаем истинного значения X , поскольку n всегда $< \infty$.

Важным параметром в нашем случае является размер окрестностей скважины, пройденной с поверхности, то есть участка сопоставления. Этот участок должен быть таким, чтобы в его пределах имелось достаточное количество пунктов эксплуатационного опробования, необходимое для сопоставления, а распределение Н.О. в его пределах должно быть равномерным (это необходимо для получения достоверного среднего значения содержания этого компонента). В качестве меры равномерности содержания Н.О. в пределах участка сопоставления принят коэффициент вариации (V).

В соответствии с нормативными документами [3, 12 и др.] характер распределения компонентов при $V = 30\text{--}40\%$ считается равномерным. В настоящей работе граничное значение V принято равным 33%, которое чаще всего применяется в геологической практике. Вполне понятно, что при четко выраженном тренде геохимического поля значение V будет возрастать с увеличением площади (размера) участка сопоставления

(S). Следовательно, получив зависимость $V=f(S)$, можно найти максимальную площадь, при которой V будет удовлетворять принятому условию – $V \leq 33\%$. В связи с отсутствием общепринятых методик получения функции $V=f(S)$ был использован экспериментальный метод.

По данным бурения скважин с поверхности была построена карта изоконцентра-та Н.О. основного рабочего пласта КрII для южной части ВКМС. В пределах этой части выделена площадь ($\approx 820 \text{ км}^2$) с наиболее плотной сетью солеразведочных скважин (не более чем $2 \times 2 \text{ км}$), включающая 7 осваиваемых участков месторождения: Быгельско-Троицкий, Березниковский, Дурыманский, Усть-Яйвинский, Балахонцевский, Талицкий и Палашерский (рис. 2).

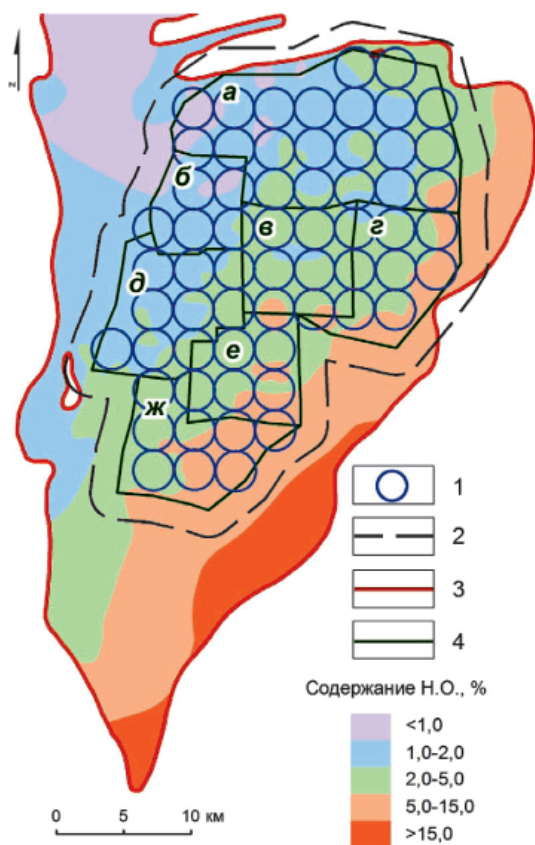


Рис. 2. Схема расположения участков сопоставления ($R = 1,5 \text{ км}$):
1 – участки сопоставления содержаний Н.О.;
2 – контур площади исследований;
3 – контур пласта КрII;
4 – контуры разведанных участков;
а – Быгельско-Троицкий; б – Березниковский;
в – Дурыманский; г – Талицкий;
д – Усть-Яйвинский; е – Балахонцевский;
ж – Палашерский

С помощью инструмента «Spatial Analyst Tools» программы «ArcMap 10» выделен-

ная (исследуемая) площадь была разбита на ячейки размером $75 \times 75 \text{ м}$ с определением в каждой из них содержания Н.О. Затем в выделенную площадь были вписаны гипотетические участки сопоставления в форме круга с радиусами 0,5, 1,0, 1,5 и 2,0 км, таким образом, чтобы центры этих кругов не выходили за пределы оконтуренной площади. Пример расположения кругов радиусом 1,5 км на этой площади приведен на рис. 2. При этом оказалось, что в круге радиусом 0,5 км размещается 139 ячеек, в круге радиусом 1,0 км – 558, в круге радиусом 1,5 км – 1256, в круге радиусом 2,0 км – 2232 ячейки.

Для всех кругов (гипотетических участков сопоставления) были определены значения среднего содержания Н.О. и среднеквадратическое отклонение от среднего, а затем вычислены коэффициенты вариации. Статистическая характеристика участков сопоставления в форме круга приведена в таблице, а графическое изображение этих результатов – на рис. 3.

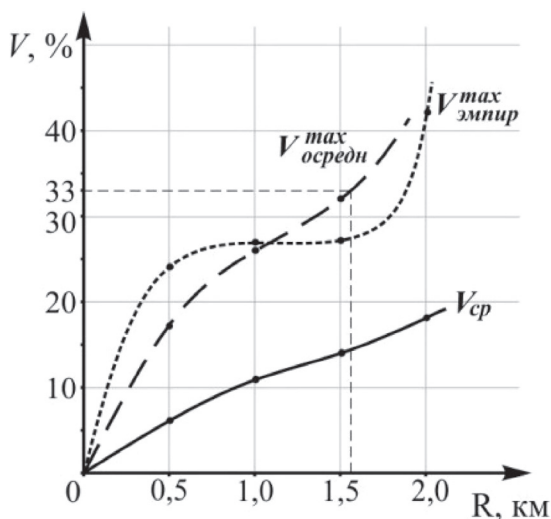


Рис. 3. График зависимости коэффициента вариации содержаний Н.О. от радиуса участка в форме круга

На рис. 3 видно, что графики $V_{\text{ср}}$ и $V_{\text{эмпир}}^{\text{max}}$ резко отличаются друг от друга. Несомненно, что это обусловлено ненадежностью полученных значений $V_{\text{эмпир}}^{\text{max}}$, так как они представляют собой единичные значения.

После осреднения значений $V_{\text{эмпир}}^{\text{max}}$ методом скользящего окна (размер окна – 3 соседних значения) этот график приобрел вид более близкий к графику $V_{\text{ср}}$. Используя полученную кривую ($V_{\text{осредн}}^{\text{max}}$), находим, что при $V = 33\%$ радиус круга составляет 1,6 км, а его площадь – 8 км^2 .

Характеристика участков сопоставления в форме круга

№ п/п	R, м	S, км ²	Кол-во ячеек в круге	Кол-во кругов	Коэффициент вариации содержаний Н.О. внутри круга, %	
					максимальный	средний
1	500	0,78	139	585	24	6
2	1 000	3,14	558	147	27	11
3	1 500	7,06	1256	62	27	14
4	2 000	12,56	2232	36	42	18

Таким образом, для поиска зависимости интенсивности избирательного истирания зерна от истинного содержания Н.О. в пласте, необходимой для выведения поправочных уравнений для данных разведки, площадь участков сопоставления в пределах ВКМС не должна превышать 8 км². Лучшим случаем является, если форма участков в плане будет близка к изометричной фигуре (круг, квадрат, многоугольник и др.).

Полученные результаты дают возможность изучить динамику избирательного истирания зерна сильвинитов при разведке ВКМС в зависимости от истинного содержания Н.О. в пласте и разработать на этой основе методику корректировки содержания этого компонента по данным бурения скважин с поверхности земли.

Список литературы

1. Баяндина Э.О., Кудряшов А.И. Нерастворимый остаток солей Верхнекамского месторождения. – Пермь: ООО «Типограф», 2015. – 102 с.
2. Баяндина Э.О., Кудряшов А.И., Клепцова Н.К. Недостатки разведки Верхнекамского месторождения солей и пути их устранения // Проблемы недропользования. Сетевое периодическое научное издание. – Екатеринбург: Институт горного дела Уральского отделения РАН, 2016. – Вып. 3 (10). – С. 9–16.
3. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1983. – 191 с.

4. Клепцова Н.К., Баяндина Э.О., Кудряшов А.И. Сопоставление данных разведки и разработки Дурьманского участка Верхнекамского месторождения солей // Рудник будущего. – 2015. – № 1. – С. 6–9.

5. Крамбейн У., Грейбилл Ф. Статистические модели в геологии. – М.: Мир, 1969. – 397 с.

6. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. – 2-е изд., перераб. – М.: ООО «РПФ» Эпсилон Плюс, 2013. – 368 с.

7. Кудряшов А.И., Шмагина Е.Б., Рунец Г.В. Прогнозирование содержания нерастворимого остатка в калийных рудах и вмещающих породах шахтного поля БКРУ-2 (Верхнекамское месторождение) // Материалы научно-технической конференции молодых специалистов и ученых-галургов 20–21 окт. 1977 г. Березники. – Пермь, Уф ВНИИГ, 1978. – С. 107–109.

8. Мягков В.Ф. К вопросу об определении поправочного коэффициента к данным поверхностной разведки шахтных полей Верхнекамского калийного месторождения // Сборник научных трудов ППИ. – 1961. – № 8. – С. 95–101.

9. Мягков В.Ф. Об основных принципах опробования и оценки полезных ископаемых при разведке и разработке месторождений // Изв-я вузов. Горный журнал. – 1992. – № 9. – С. 9–17.

10. Мягков В.Ф., Раевский В.И. Избирательное разрушение кернов сильвинитов и карналлитовых пород при бурении скважин на Верхнекамском месторождении // Изв. вузов. Горный журнал. – 1964. – № 5. – С. 8–12.

11. Нормы технологического проектирования предприятий калийной промышленности. Ч. 1. Нормы технологического проектирования калийных рудников. – Л., 1976. – 20 с.

12. СТО РосГео 09-002-98. Стандарт российского геологического общества (твердые полезные ископаемые). – 45 с.

УДК 553.435/.44 (571.52)

МИНЕРАЛОГИЯ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ МЕДНО-ЦИНКОВЫХ И МЕДНЫХ РУД КЫЗЫЛ-ТАШТЫГСКОГО КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНАЯ ТУВА)

¹Кужугет Р.В., ^{2,3}Анкусхева Н.Н.¹Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, e-mail: rkuzhuget@mail.ru;²Институт минералогии УрО РАН, Миасс;³Южно-Уральский госуниверситет, филиал, Миасс, e-mail: ankusheva@mail.ru

В статье детально изучены минералого-геохимические особенности и условия формирования медно-цинковых и медных руд Кызыл-Таштыгского колчеданно-полиметаллического месторождения, которые являются продуктами одностадийного оруденения, но разобщёнными в пространстве. Для медно-цинковой стадии впервые выявлены Se-галенит, S-клаусталит, Se, S-содержащий теллуризмутит, раклиджит, Se-содержащий раклиджит, и их наличие предполагает, что руды данной стадии отлагались при вариациях фугитивности серы, селена и теллура. Кристаллизация минеральных ассоциаций происходила из водных растворов с хлоридами Na и K при давлении 0,9 кбар. Медно-цинковые руды отлагались при температурах 280–243 °C, из растворов с солёностью 3,5–6,5 мас. % NaCl-экв, медные руды – при 261–237 °C и солёности 5,4–8 мас. % NaCl-экв. Повышенные концентрации солей и присутствие калия в растворах предполагают глубинный источник минералообразующих растворов.

Ключевые слова: Кызыл-Таштыг, медно-цинковые руды, медные руды, флюидные включения, кварц, Тува

MINERALOGY AND FORMATION CONDITIONS OF COPPER-ZINC AND COPPER ORES OF THE KYZYL-TASHTYG PYRITE-POLYMETALLIC DEPOSIT (EAST TUVA)

¹Kuzhuget R.V., ^{2,3}Ankusheva N.N.¹Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources, SB RAS, Kyzyl, e-mail: rkuzhuget@mail.ru;²Institute of Mineralogy, UB RAS, Miass;³South Ural State University, Miass, e-mail: ankusheva@mail.ru

The paper studies in detail the mineralogical and geochemical features and conditions of formation of copper-zinc and copper ores in the Kyzyl-Tashtyg pyrite-polymetallic deposit, which are spatially separated products of the one-stage mineralization. For the copper-zinc stage, Se-galena, S-clausthalite, Se and S-bearing tellurobismuthite, rucklidgeite, Se-bearing rucklidgeite have been first revealed; and their presence suggests that the ore of this stage was deposited at variations in $f(S_2)$, $f(Se_2)$, and $f(Te_2)$. The mineral assemblages crystallized from aqueous solutions of NaCl and KCl at a pressure of 0,9 kbar. Copper-zinc ore deposited at temperatures of 280–243 °C, from solutions with a salinity of 3,5–6,5 wt. % NaCl equivalent; copper ore – at 261–237 °C and from solutions with a salinity of 5,4–8 wt. % NaCl equivalent. The elevated concentrations of salts and presence of potassium in the solutions suggests a deep source of the mineralizing solutions.

Keywords: Kyzyl-Tashtyg, copper-zinc ore, copper ore, fluid inclusions, quartz, Tuva

Положение месторождения в региональных структурах

Кызыл-Таштыгское колчеданно-полиметаллическое месторождение расположено в центральной части хребта Академика Обручева, в 190 км к северо-востоку от г. Кызыла. Месторождение локализуется в северной прибортовой части внутренне-го прогиба Кызыл-Таштыгской вулканотектонической депрессии, расположенной в юго-восточной части Улугойской колчеданноносной зоны, среди нижнекембрийских существенно вулканогенных отложений верхнетуматтайгинской подсвиты (E_1tm_2); Кызыл-Таштыгская вулканотектоническая депрессия приурочена к зоне сопряжения выступа докембрийского фун-

дамента с раннекембрийскими структурами. Период её формирования охватывает время накопления верхнетуматтайгинской подсвиты и, частично, сыынакской (тапсинской) свиты (E_1sn) с археоциатами. Данная структура считается главнейшей рудоносной структурой района, известной как Кызыл-Таштыгское рудное поле, которое включает в себя Кызыл-Таштыгское, Дальнее месторождения и ряд рудопоявлений (Южное, Перевальное, Рудоносное и др.). Кызыл-Таштыгская депрессия размером 4×12 км ограничена с севера Кызыл-Таштыгским, а с юга – Караадырским глубинными разломами и характеризуется широким набором вулканогенных и вулканомиктовых фаций (рис. 1).

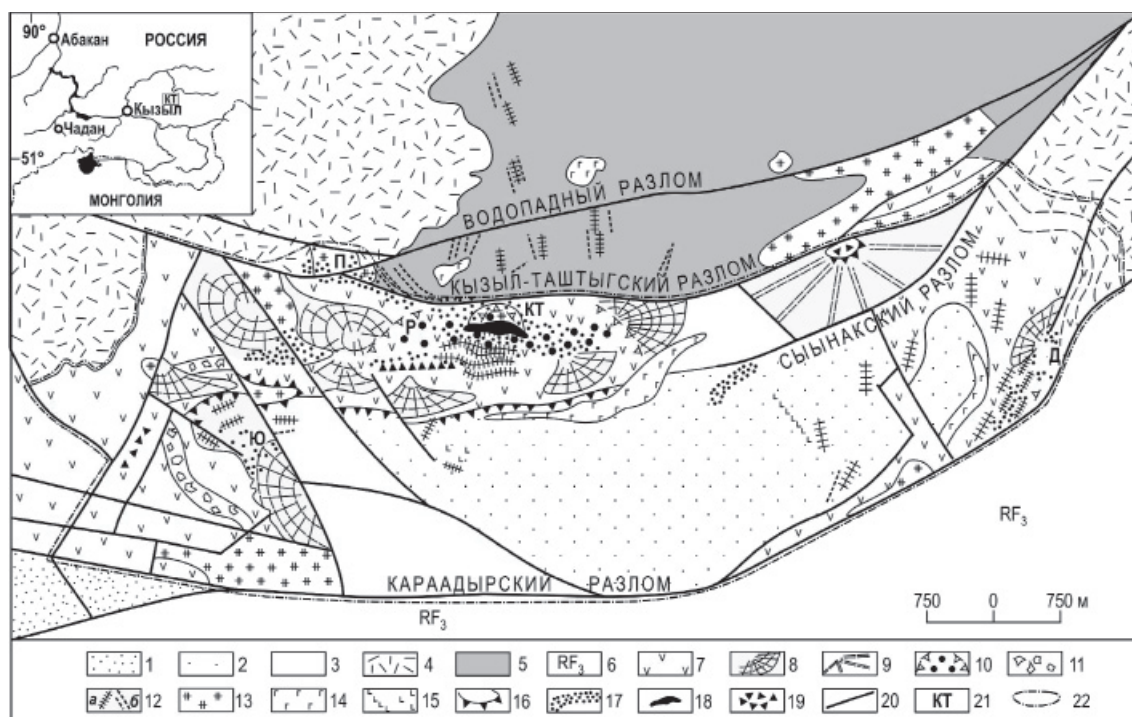


Рис. 1. Схема геологического строения Кызыл-Таштыгского рудного поля по данным [7]:
 1 – песчаники и алевролиты таштыгхемской свиты (C_3ts); 2 – туфы, песчаники, алевролиты и известняки (с горизонтами основных и кислых лав) сыынакской свиты (C_3sn);
 3 – вулканогенно-осадочные породы верхней подсвиты туматтайгинской свиты (C_3tm);
 4–5 – вулканические поднятия: 4 – фрагменты риолит-дацитовых плато верхней подсвиты туматтайгинской свиты (C_3tm); 5 – базальтовое плато нижней подсвиты туматтайгинской свиты (C_3tm); 6 – расчленованные песчаники и алевролиты, известковистые сланцы охемской свиты (RF_3oh); 7 – базальтовые, андезит-базальтовые покровы; 8 – риолит-дацитовые купола;
 9 – постройки андезит-дацит-риолитового состава; 10 – кальдерная депрессия с вулканогенно-терригенными отложениями; 11 – глыбовые брекчии, вулканоконгломаты;
 12–14 – поздние субвулканические и гипабиссальные интрузии и дайки: 12 – дайки и силлы диабазов (а), риолитов и дацитов (б); 13 – крупные субвулканические и гипабиссальные интрузии риолитов, жерловины с вулканическими брекчиями кислого и смешанного состава;
 14 – габбро-диабазы, габбро-диориты; 15 – долериты; 16 – надвиги; 17 – рудные зоны серицит-кварцевых метасоматитов; 18 – колчеданно-полиметаллические рудные тела;
 19 – рудокластиты; 20 – разрывные нарушения; 21 – месторождения (КТ – Кызыл-Таштыгское, Д – Дальнее) и рудопроявления (Ю – Южное, П – Перевальное, Р – Рудоносное);
 22 – контур Кызыл-Таштыгского рудного поля

Она имеет мозаично-блоковое строение и состоит из внутреннего прогиба и краевых поднятий, осложнённых локальными вулканотектоническими структурами. Внутренний прогиб представлен полным разрезом верхнетуматтайгинской подсвиты (до 2000 м) и сыынакской свиты (до 1300 м), а краевые поднятия – отложениями верхнетуматтайгинской подсвиты сокращённой мощности. В бортах депрессии породы имеют залегание с углами падения пластов 40–80°, а в осевой части – субгоризонтальное [8; 7].

Локальные вулканические и вулканотектонические структуры в пределах Кызыл-Таштыгской депрессии широко распространены. Одна из них, вмещающая

Кызыл-Таштыгское месторождение, детально изучена и представлена небольшой по размеру (1×0,6 км) межкупольной депрессией. Она характеризуется наиболее полным и пестрым вулканогенно-осадочным разрезом и насыщена субвулканическими интрузиями и зонами гидротермалитов. Эта структура Б.И. Берманом [1] и В.В. Зайковым [7] интерпретируется как кальдерная депрессия (кальдера обрушения). В центре её Б.И. Берманом установлена жерловина, сложенная серицитизированными вулканическими брекчиями кислого состава. По мнению В.В. Зайкова [7], данный аппарат имеет сходство с маарами – плоскодонными кратерами взрыва без конуса.

Для Кызыл-Таштыгского рудного поля характерно наличие полихронного и полигенного колчеданно-полиметаллического оруденения. *Вулканогенное гидротермально-осадочное* существенно колчеданное оруденение раннекембрийского возраста отмечается в виде горизонтов и пачек минерализованных пород и седиментных колчеданных руд в разрезе верхнетуматтайгинской подсвиты ($\text{Є}_1\text{т}_2$) и сосредоточены они в трёх литолого-стратиграфических уровнях. Для обломочных (слоистых и массивных) колчеданных руд до 10 см свойственны все признаки рудокластов. Источниками сингенетических руд, судя по масштабу их распространения, типам руд, структурно-текстурным, типоморфным особенностям и парагенезисам рудных минералов, могут служить не обнаруженные к настоящему времени колчеданные объекты. В.В. Зайков предполагает, что образование рудокластов произошло при разрушении придонных сульфидных построек лавовыми потоками [6; 8; 7]. Горизонты рудокластитов практического значения не имеют. В данной статье рассматривается более позднее (эпигенетическое) промышленное *вулканогенно-гидротермальное колчеданно-полиметаллическое оруденение*.

Геологическое строение и возраст месторождения

По данным [1; 4] современная пространственная ориентировка разломов и рудных тел близка к первоначальной, т.е. к моменту рудоотложения вулканогенные породы туматтайгинской свиты уже имели наклонное положение и падали на юг под углами 20–80°. Возраст единичных цирконов из риодацитов, определённый U-Pb методом – раннекембрийско-среднекембрийский и составляет 510 ± 14 млн лет [3]. По данным [8], более поздние дацит-порфировые дайки рассекают ранние серноколчеданные руды и замещаются медно-цинковыми рудами, что свидетельствует об их «внутрирудном» характере. Далее происходило образование полиметаллических руд. Цирконы из дацит-порфировых даек имеют как кембрийский (519–499 млн лет), так и преобладающий раннеордовикский (476 млн лет) возраст [3]. Таким образом, нижняя возрастная граница образования серноколчеданных руд соответствует раннему и среднему кембрию (510 млн лет), верхняя – раннему ордовика (476 млн лет).

О геодинамической позиции формирования Кызыл-Таштыгского месторождения

существует несколько точек зрения. По мнению [8], палеотектоническая позиция Кызыл-Таштыгского месторождения соответствует палеорифтовой зоне «Тувинно-Байкальского линеамента», заложенного на склоне зрелой континентальной коры. По данным В.В. Зайкова [7], колчеданосные зоны Тувы, в т.ч. вмещающая Кызыл-Таштыгское месторождение, развивались в рифтах Саяно-Тувинского окраинного моря. На основе петролого-геохимических данных В.А. Симонова с коллегами получен вывод о том, что вмещающие месторождение базальты сформировались в условиях древнего задугового бассейна [9; 10].

Палеотектоническая реконструкция, основанная на раннеордовикском возрасте «внутрирудных» даек дацит-порфиров, указывает на то, что Кызыл-Таштыгское месторождение формировалось в период широко проявленных в Алтае-Саянской области позднекембрийско-ордовикских аккреционно-коллизийных событий. В частности, в раннем ордовике магматизм и рудообразование происходили в условиях трансформации в сдвигово-раздвиговом (pull-apart) бассейне, наложенном на вендраннекембрийские островодужные магматические комплексы [3]. В свою очередь, формирование этого бассейна являлось следствием косой коллизии Тувинно-Монгольского микро-континента с Озёрно-Тувинской островной дугой [5].

Породы в пределах рудного поля подверглись региональному метаморфизму фации зелёных сланцев, околорудные породы месторождения затронуты гидротермальными изменениями кварц-серицитовая формации. Вулканиты превращены в аргиллизиты и вторичные кварциты. Промышленное оруденение генетически связано с дацит-риолитовыми интрузиями. Все рудные тела месторождения компактно размещаются в пределах узкой полосы протяжённостью 1200 м, шириной 130–250 м. Рудная минерализация контролируется узлом пересечения субширотных, северо-западных и северо-восточных разломов, усложняющих и секущих вулканическое жерло (сложенное explosивными брекчиями риолитов) и вмещающие породы согласно их напластованию, часть из них – кососекущие. Системы разрывов обуславливают блоковое строение месторождения.

Слабый метаморфизм серноколчеданных руд, по нашему мнению, предполагает их близкий возраст к медно-цинковым и полиметаллическим рудам, т.е. возраст

последних соответствует верхней границе формирования серноколчеданных руд – раннему ордовику. Формирование серноколчеданных и полиметаллических руд Кызыл-Таштыгского месторождения происходило, вероятно, после завершения активной фазы позднекембрийско-ордовикских аккреционно-коллизийных событий в сдвигово-раздвиговых зонах (рифтогенной деструкции) активной континентальной окраины, т.е. трансформных (трансформно-сдвиговых) обстановках. Отметим, что в окраинно-континентальных обстановках трансформных сдвигово-раздвиговых зонах (внутриконтинентальных рифтов) сформировались месторождения типа *куроко* одного из крупнейших на Земле Иберийского колчеданного пояса (Испания (Рио-Тинто, Тарсис), Португалия (Алжуштрел, Невес-Корво)), а также месторождение Волверин (Юкон, Канада) [15; 13].

Кызыл-Таштыгское месторождение относится к типу *куроко* (рудно-алтайскому рудно-формационному типу), по степени нарушенности руд – к слабометаморфизованным объектам. Рудовмещающая часть разреза туматтайгинской свиты сложена вулканогенными и осадочными породами: лавами и туфами кислого и основного состава, песчаниками, углеродистыми алевролитами, силицитами [8].

Промышленные руды Кызыл-Таштыгского месторождения отнесены к вулканогенно-гидротермальному типу (с проявлениями гидротермально-метасоматических разностей, которые заполняли трещинные зоны). Предшественниками [8] и нашими исследованиями установлено 6 стадий колчеданно-полиметаллического оруденения на месторождении: дорудная *кварц-серицитовая* (1) с кварцем, серицитом, альбитом, пиритом, хлоритом, кальцитом, доломитом); продуктивные: *серноколчеданная* (2) – пирит, кварц, хлорит ± сфалерит ± халькопирит ± кальцит), *медно-цинковая* (3) – халькопирит, сфалерит, пирит, кварц, доломит, кальцит, хлорит, галенит, Se-галенит, S-клаусталит PbSe ± теннантит-тетраэдрит ± раклиджит $PbBi_2Te_4$ ± теллу-ровисмутит Bi_2Te_3 , *полиметаллическая* (4) – галенит, халькопирит, сфалерит, пирит, доломит, кварц, барит, кальцит, хлорит, Zn-теннантит-тетраэдрит (Ag до 1,35 мас. %), золото, электрум ± магнетит ± кервеллеит Ag_4TeS , *полиметаллически-баритовая* (5) – барит, пирит, галенит, халькопирит, сфалерит, минералы группы теннантит-тетраэдрита, доломит, анкерит, кальцит, золото,

электрум ± акантит Ag_2S ; пострудная *кварц-карбонатная* (6) – кальцит, доломит, кварц. Минеральные ассоциации руд месторождения разделены во времени тектоническими сдвигами с дроблением руд и образованием брекчиевых текстур.

В процессе разведки на месторождении выявлены и разведаны 47 рудных тел. Наиболее крупными залежами, в которых концентрируется основная масса руд, являются тела № 1–3, 5 полиметаллических руд (сложенные рудами полиметаллической, в меньшей степени – медно-цинковой стадий), № 34, 36 медных руд и № 4 – серноколчеданных руд. Остальные рудные тела характеризуются незначительными параметрами и самостоятельного значения не имеют. Зона окисления развита слабо [8]. Рудные тела № 1, 2 и 4 образуют единую «главную» залежь месторождения (с размерами 400×180 м) до глубины 70–120 м, ниже они разобщаются. Главная рудная залежь имеет зональное строение. Сплошные серноколчеданные руды тела № 4 в центральной части залежи сменяются на флангах медно-цинковыми и полиметаллическими рудами тел № 1 и 2. Колчеданная залежь № 4 имеет штокообразную форму, со сложным выклиниванием по падению, представляет собой серию линейно-вытянутых и уплощенных тел, заполняющих внутрижерловые трещины субширотной системы. Размеры тела в плане 50×320 м, длина по падению 200 м. Линзообразные тела полиметаллических руд имеют субширотное (260–300°) простирание, падают на юг под углами от 15–20° до 65–85° и приурочены к межпластовым и секущим зонам расщепления. Они имеют четкие границы с вмещающими породами, часто с секущими контактами. Мощность залежей 1,4–74,8 м, длина по падению – 300–520 м, по простиранию – 280–710 м. Глубина залегания от 0 до 530 м от дневной поверхности.

Минеральный состав медно-цинковых руд

Руды медно-цинковой стадии представлены медно-цинковым и медным типами, которые являются продуктами одностадийного оруденения, но разобщенными в пространстве [8]. В свою очередь, в медно-цинковых рудах выделяются следующие разновидности: пирит-халькопирит-сфалеритовые (собственно медно-цинковые), пирит-сфалеритовые и сфалерит-пиритовые. Последние образовались за счёт обогащения ранних серноколчеданных руд

более поздним сфалеритом медно-цинковой стадии. Пирит-сфалеритовые и сфалерит-пиритовые руды на месторождении наименее распространены. Существенно медные разновидности руд слагают обособленные тела, расположенные на глубоких горизонтах месторождения.

Руды медно-цинковой стадии рассекают и цементируют серноколчеданные руды и, в свою очередь, рассекаются полиметаллическими рудами. Руды медно-цинковой стадии в рудных телах (№ 1–3, 5) образуют единые залежи с полиметаллическими рудами, при этом жильные и линзообразные тела медно-цинковых руд мощностью от 20–40 см до 20–25 м секутся полиметаллическими рудами. Количество самостоятельных (изолированных) залежей медно-цинковой стадии достигает 9, и они располагаются в пределах участка протяжённостью 460 м. Морфологически они образуют прожилки (мощностью от 0,3 до 4 см) и жильно-прожилковые зоны от 1 до 5 м в серноколчеданных рудах, а также жильные и линзообразные тела (мощностью от 15 до 90 м) на флангах серноколчеданных руд, «соединяя» полиметаллические руды. Наиболее крупным считается рудное тело № 34, сложенное медными рудами.

Образцы медно-цинковых руд для изучения были отобраны в районе скважины № 22, где медно-цинковая рудная минерализация рассекает серноколчеданные массивные руды тела № 4 около контакта с полиметаллическими рудами рудного тела № 2. Здесь рудная минерализация медно-цинковых руд представлена сфалерит-халькопиритовыми жилами (мощностью 0,5–5 м, длиной > 20 м) и прожилками (мощностью 0,3–4 см). Простираение жил северо-западное, залегание близко к вертикальному. Для руд характерны массивные, полосчато-массивные текстуры и мелко-среднезернистые структуры. Полосчато-массивные текстуры обусловлены тонкими халькопиритовыми полосами в сфалеритовой массе. В незначительных количествах отмечаются гнезда кварца и доломита с размерами выделений до 1 см. Медно-цинковые руды сложены сфалеритом (Fe 0,30–5,34 мас.%, Cd до 0,42 мас.%), халькопиритом, пиритом, кварцем, Fe–Mn-доломитом (FeO до 4,17 мас.%, MnO – 2,01 мас.%), кальцитом (MnO до 0,54 мас.%, FeO – 0,36 мас.%), в подчиненном количестве – Zn-теннантит-тетраэдритом, хлоритом, реже – галенитом, Se-галенитом (Se до 10,15 мас.%) (рис. 2). Соотношения между сфалеритом и халько-

пиритом различные, но в целом выделения сфалерита составляют 50–70%.

Массивные медные руды отобраны в районе скважины № 67, где они рассекают и цементируют серноколчеданные руды рудного тела № 4. Рудная минерализация представлена жилой сложной формы (мощностью в раздувах до 4 м, длиной > 11 м) северо-западного простирания и близкого к вертикальному залегания. Для медных руд характерны массивные, гнездово-вкрапленные текстуры, мелко-среднезернистые и крупнозернистые структуры. Они сложены халькопиритом, пиритом, Fe–Mn-доломитом (FeO до 7,96 мас.%, MnO – 4,17 мас.%), Fe-доломит (FeO до 5,24 мас.%, MnO – 0,63 мас.%), в подчиненном количестве – кварцем, сфалеритом (Fe от 0,25 до 2,67 мас.%, Cd – 0,55 мас.%), хлоритом, кальцитом (FeO до 0,69 мас.%, MnO – 0,81 мас.%, MgO – 0,33 мас.%), Zn-теннантит-тетраэдритом, реже – галенитом, Se-галенитом (Se до 14,38 мас.%), S-клаусталитом (S от 1,31 до 6,05 мас.% Te – 1,42 мас.%), Se-содержащим раклиджитом (Se до 1,22 мас.%), Se, S-содержащим теллуrowисмутитом (S до 1,19 мас.%, Se – 1,37 мас.%).

В медно-цинковых и медных рудах содержание пирита составляют от 20 до 45%, и для него характерны 2 генерации. Пирит-I с размером зёрен от 5 до 8 мм образует неправильные зёрна, зернистые агрегаты совместно со сфалеритом и халькопиритом, реже кубические кристаллы. Пирит-II характеризуется большим многообразием кристаллографических форм, встречаясь в виде кубооктаэдров и пентагондодекаэдров. Размер выделений пирита-II в медно-цинковых рудах от 5 мкм до 0,8 см, медных рудах – от 10 мкм до 1,5 см. Халькопирит также образует 2 генерации (рис. 2). Халькопирит-I образует землистые агрегаты (размер выделений от 2 мкм до 3 см; в медных рудах до 15 см) со сфалеритом, пиритом-I и -II. В медных рудах халькопирит-I преобладает при содержании пирита до 30%, сфалерита – 5%. Для сфалерита (размеры зёрен от 5 мкм до 5 мм) характерна одна генерация, которая практически всегда насыщена эмульсионными выделениями халькопирита-II, которые располагаются в виде беспорядочных или линейных включений либо «обрисовывают» кристаллографические зоны роста зёрен сфалерита. Размеры эмульсионных включений халькопирита-II варьируют от 1–2 мкм до 30 мкм в поперечнике.

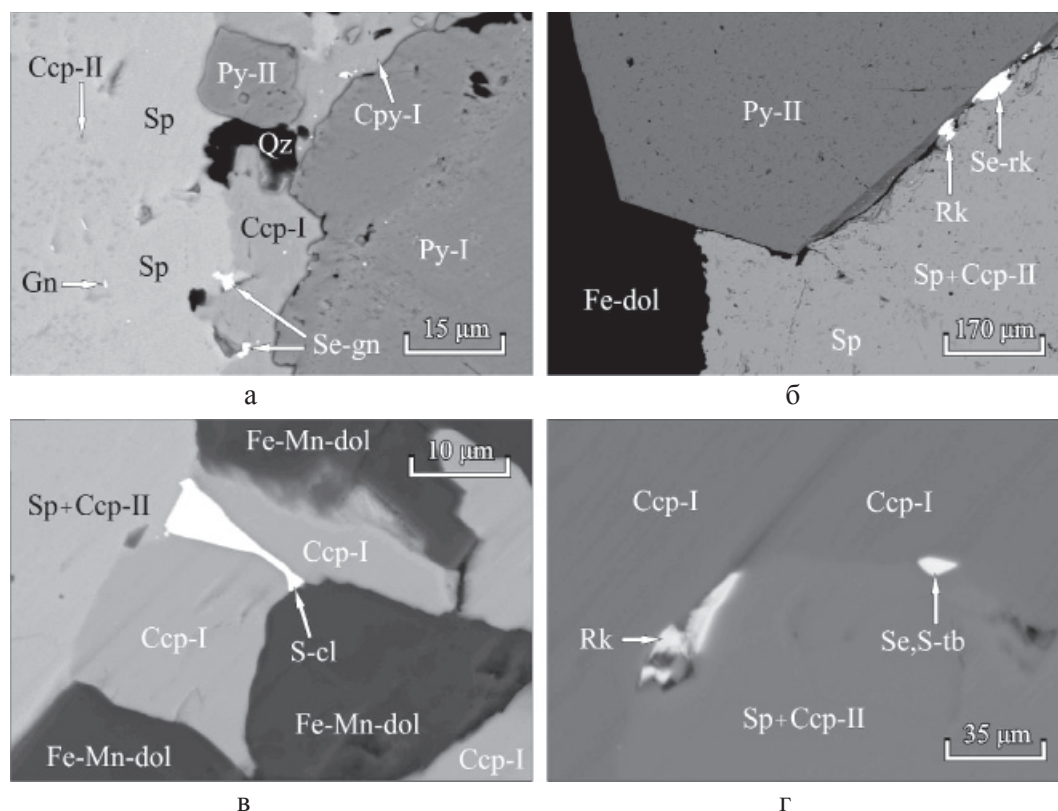


Рис. 2. Взаимоотношения минералов в медно-цинковых и медных рудах:
а – ксеноморфные зёрна *Se-галенита* (*Se-gn*) на контакте *халькопирита-I* (*Ccp-I*) и *сфалерита* (*Sp*) с *халькопиритом-II* (*Ccp-II*), *галенитом* (*Gn*) в медно-цинковых рудах (обр. КТ-15-30) в ассоциации с *пиритом-I, -II* (*Py-I, Py-II*) и *кварцем* (*Qz*); б – зёрна *раклиджита* (*Rk*) и *Se-раклиджита* (*Se-rk*) на контакте *идиоморфного зерна пирита-II* (*Py-II*) и *сфалерита* (*Sp*) с *халькопиритом-II* (*Ccp-II*) в медных рудах. Здесь и в-г обр. КТ-15-30; в – *халькопирит-I* (*Ccp-I*), *S-клаусталит* (*S-cl*) и *сфалерит* (*Sp*) с *халькопиритом-II* (*Ccp-II*) в *Fe-Mn-доломитах* (*Fe-Mn-dol*); г – *Se, S-содержащий теллуrowисмутит* (*Se, S-tb*) и *раклиджит* (*Rk*) на контакте *халькопирита-I* (*Ccp-I*) и *сфалерита* (*Sp*) с *халькопиритом-II* (*Ccp-II*). Фотографии в отражённых электронах сделаны на сканирующем электронном микроскопе MIRA LM (Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск, аналитик Н.С. Карманов)

Взаимоотношения между минералами в медно-цинковых и медных рудах позволяют установить следующую последовательность образования: *халькопирит-I* ± *сфалерит* (+ *эмульсионный халькопирит-II*) + *пирит-I* → *пирит-II* + *галенит* + *Fe-Mn-доломит* + *Фе-доломит* + *кварц* + *кальцит* ± *хлорит* + *Zn-теннантит-тетраэдрит* + *Se-галенит* → *S-клаусталит* → *Se, S-содержащий теллуrowисмутит* + *раклиджит* (курсивом выделены минералы, описанные авторами впервые для медно-цинковой стадии).

Условия образования медно-цинковых руд

Исследования флюидных включений в кварце проводились в микротермокамере TMS-600 (Linkam), позволяющей про-

изводить измерения температур фазовых переходов в интервале – 196 до +600 °С, с микроскопом Olympus (лаборатория термобарогеохимии Южно-Уральского государственного университета, г. Миасс, аналитик Н.Н. Анкушева). Программное обеспечение LinkSys V-2,39. Погрешность измерительной аппаратуры составляет ± 0,1 °С при 20...+80 °С и ± 1 °С за пределами этого интервала. Солевой состав растворов во включениях оценивался по температурам эвтектик [2]. Температуры гомогенизации включений фиксировались в момент исчезновения газового пузырька при нагревании препарата в термокамере. Концентрации солей в растворах рассчитывались по температурам плавления последних кристаллических фаз [11]. Обработка результатов выполнена в программе Statistica 6,1. Результаты термобарогеохимических исследований приведены на рис. 3.

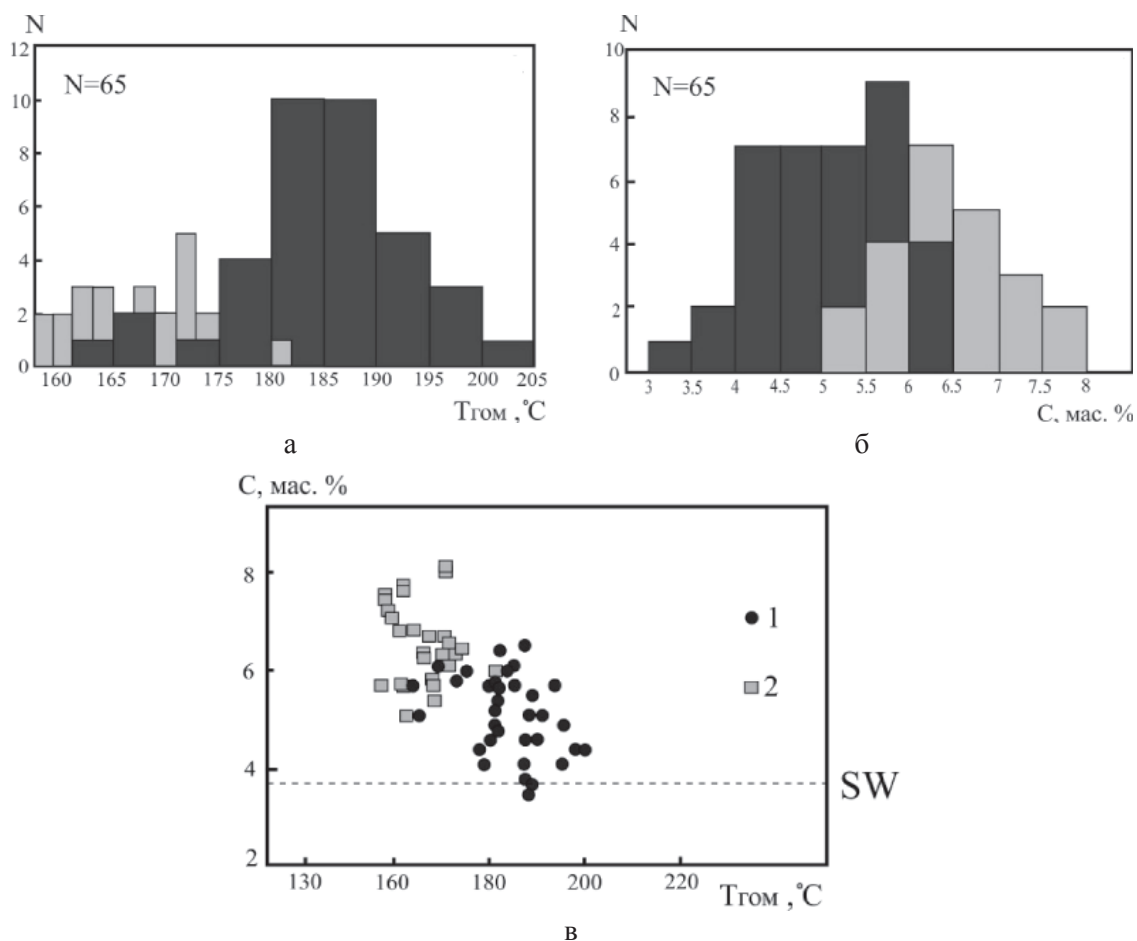


Рис. 3. Результаты исследований флюидных включений:
 а, б – распределение значений температур гомогенизации (а) и солёности (б) включений.
 Черное – кварц-А (медно-цинковых руд), серое – кварц-Б (медных руд);
 в – соотношение солёности и температур гомогенизации включений:
 1 – кварц-А; 2 – кварц-Б; SW – солёность морской воды при 25 $^\circ\text{C}$

Проведены микротермометрические исследования флюидных включений в кварце медно-цинковых (кварц-А, обр. КТ-15-30, $n = 25$) и медных (кварц-Б, обр. КТ-15-33, $n = 40$) руд. Кварц средне-крупнозернистый, молочно-белый, участками полупрозрачный. Включения имеют размеры до 10–15 мкм, округлую или вытянутую форму, редко с отростками. Объем газового пузырька при 25 $^\circ\text{C}$ составляет 10–15 % общего объема включения. Вторичные включения располагаются в виде цепочек или скоплений и приурочены к трещинам в кварце.

Включения в кварце-А характеризуются температурами эвтектики $-21,3 \dots -22,1$ ($n = 7$) и $-23,2 \dots -23,5$ $^\circ\text{C}$ ($n = 2$), что указывает на присутствие в растворах водно-солевых систем с хлоридами Na и K. Концентрации солей в пересчете на NaCl-эквивалент составили 3,5–6,5 мас. % ($n = 40$). Распределение значений солёности одномодальное

с широким пиком 4–6 мас. % (рис. 3, б). Гомогенизация включений в жидкую фазу происходила при 200–163 $^\circ\text{C}$ ($n = 40$). Распределение значений также одномодальное с пиком 180–190 $^\circ\text{C}$ (рис. 3, а).

Включения в кварце-Б содержат растворы с температурами эвтектики $-21,5 \dots -22,0$ ($n = 5$), указывающими на содержание хлоридов Na во флюиде. Включения гомогенизировались в жидкую фазу при 181–157 $^\circ\text{C}$ ($n = 25$). Распределение значений на гистограмме полимодальное с небольшими пиками 160–165 и 170–175 $^\circ\text{C}$ (рис. 3, а). Концентрации солей составляют 5,4–8 мас. % NaCl-экв. ($n = 25$). Распределение значений солёности одномодальное с пиком 6–6,5 мас. % (рис. 3, б).

Выводы

Состав минеральных ассоциаций руд Кызыл-Таштыгского месторождения

отражает типы руд, характерные для месторождений типа *куроко*, разделенные во времени чередованием открытия и закрытия тектонических трещин с дроблением руд. Оруденение месторождения контролирует трубка взрыва с телами взрывных брекчий риолитового состава. Установлено, что медно-цинковые и полиметаллические руды Кызыл-Таштыгского месторождения имеют раннеордовикский возраст, т.к. дайки дацит-порфирового состава с возрастом 476 млн лет замещаются медно-цинковыми рудами [3]. Мы предполагаем, что формирование колчеданно-полиметаллического оруденения Кызыл-Таштыгского месторождения происходило после завершения активной фазы позднекембрийско-ордовикских аккреционно-коллизионных условий в сдвигово-раздвиговых зонах (рифтогенной деструкции) активной континентальной окраины в трансформно-сдвиговых условиях.

Руды медно-цинковой стадии представляют собой линзообразные тела, жилы и жильно-прожилковые зоны с относительно простым минеральным составом, представленным сфалеритом, халькопиритом и пиритом, в меньшей степени – доломитом, кварцем, кальцитом, реже – хлоритом, Zn-теннантит-тетраэдритом, галенитом, Se-галенитом. В медных рудах обнаружены S-клаусталит, Se, S-содержащий теллурувисмутит, раклиджит, Se-содержащий раклиджит, которые являются поздними и редкими минералами.

Минералогические особенности медно-цинковых руд предполагают вариации $\lg f(S_2) = 10^{-16} - 10^{-11}$ и $\lg f(Se_2) = 10^{-25} - 10^{-18}$ (при $T = 200^\circ\text{C}$), медных руд – $\lg f(S_2) = 10^{-25} - 10^{-9}$, $\lg f(Se_2) = 10^{-16} - 10^{-11}$ и $\lg f(FeS_2) = 10^{-21} - 10^{-15}$ (при $T = 200^\circ\text{C}$). Наличие поздних минералов Se и Te указывают на повышение $f(Se_2)$ и $f(Te_2)$ в конце рудообразования.

По результатам исследования флюидных включений было установлено, что минеральные ассоциации медно-цинковых руд отлагались из водных растворов с хлоридами Na и K с солёностью 3,5–6,5 мас. % NaCl-экв. Температуры гомогенизации флюидных включений составляют 200–163°C. Кристаллизация минеральных ассоциаций медных руд происходила из водных растворов с хлоридами Na с солёностью 5,4–8 мас. % NaCl-экв. Температуры гомогенизации флюидных включений составляет 181–157°C. Давление при отложении медно-цинковой стадии и кварцевых прожилков, образовавшихся после полиме-

таллических руд, оценено в 0,91 кбар [8]. Поправка на давление определялась с помощью диаграммы поправок ΔT к температуре гомогенизации на давление [14]. При таких давлениях и концентрации солей поправка составляет 80°C, а температуры минералообразования медно-цинковых руд – 280–243°C, медных руд – 261–237°C.

Отметим, что руды более ранней серноколчеданной стадии месторождения происходили из растворов NaCl–H₂O состава с солёностью 7–10 мас. % NaCl-экв. Температуры гомогенизации флюидных включений в кварце – 400–305°C [12].

По данным [9; 10], барит-полиметаллические руды образовались из растворов состава NaCl–H₂O и NaCl–KCl–H₂O с солёностью 3–8,5 мас. % NaCl-экв. Температуры гомогенизации флюидных включений в барите составляют 270–150°C. С учётом поправки на давление ~ 0,91 кбар, (80°C), температуры минералообразования данной стадии составили 350–230°C.

Данные о составе самородного золота (атомного количества Ag в золоте) и данные по железистости (X_{FeS}) сосуществующего с самородным золотом сфалерита позволили оценить температуры образования полиметаллической стадии (265–162°C) и летучесть серы ($fS_2 = 10^{-20} - 10^{-18}$) электрум-сфалеритовым геотермометром, а поздней полиметаллически-баритовой стадии – 250–183°C, $f(S_2) = 10^{-21} \dots 10^{-20}$. Они рассчитывались по формулам [16]:

$$T^\circ\text{K} = \{28765 + 22600 (1 - N_{Ag})^2 - 6400 (1 - N_{Ag})^3\} / \{49,008 - 9,152 \log X_{FeS} + 18,2961 \log N_{Ag} + 5,5 (1 - N_{Ag})^2\}; \log fS_2 = 14,32 - 15,460/T - 2 \log X_{FeS}.$$

Таким образом, термобарогеохимические исследования руд Кызыл-Таштыгского месторождения фиксируют тенденцию понижения температур минералообразования и солёности гидротермальных растворов от ранней серноколчеданной стадии к поздним барит-полиметаллическим рудам. Общий интервал температур формирования составляет 400–162°C (серноколчеданная стадия – 400–305°C, медно-цинковая стадия – 280–243°C, полиметаллическая стадия – 350–162°C, полиметаллически-баритовая стадия – 250–183°C). Солёность растворов также уменьшается от серноколчеданных (7–10 мас. %) к медно-цинковым (4–8 мас. %) и барит-полиметаллическим (3–8,5 мас. %) рудам.

Близкие термобарогеохимические параметры указывают на единый источник флюидов. Повышенные концентрации солей

(до 10 мас. %) и присутствие калия в растворах свидетельствуют об участии глубинного магматического флюида.

Авторы благодарны руководству и сотрудникам ООО «Лунсин» за помощь при проведении экспедиционных работ, а также к.г.-м.н. А.А. Монгушу, к.г.-м.н. А.М. Сугорактовой за консультации при написании статьи и обсуждение результатов. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 16-35-00244 мол.а) и госбюджетной темы Института минералогии УрО РАН (№ АААА-А16-116021010244-0).

Список литературы

1. Берман Б.И. Геология и генезис полиметаллических месторождений Кызыл-Таштыгского рудного поля (Восточная Тува): автореф. дис. ... канд. геолог.-минер. наук. – М.: 1966. – 20 с.
2. Борисенко А.С. Изучение солевого состава растворов газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. – 1997. – № 8. – С. 16–28.
3. Гусев Н.И., Тимашков А.Н., Толмачева Е.В., Родионов Н.В., Крылова А.Л. Возраст и геодинамическая обстановка формирования полиметаллического оруденения в Восточной Туве // Геология, тектоника и минерагения Центральной Азии: Тез. докл. (CDROM). – СПб., 2011. – С. 1–4.
4. Дистанов Э.Г. Колчеданно-полиметаллические месторождения Сибири / Ред. В.А. Кузнецов. – Новосибирск: Наука, 1977. – 351 с.
5. Добрецов Н.Л., Буслов М.М. Позднекембрийско-ордовикская тектоника и геодинамика Центральной Азии // Геология и геофизика. – 2007. – Т.48. – № 1. – С. 93–108.
6. Зайков В.В. Рудоносные вулканические комплексы протерозоя и кембрия Тувы. – Новосибирск: Наука, 1976. – 126 с.
7. Зайков В.В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин: на примере колчеданноносных зон Урала и Сибири. – 2-е изд., доп. – М.: Наука, 2006. – 429 с.
8. Кузевный В.С., Макаров В.А., Калеев Е.А. и др. Кызыл-Таштыгский колчеданно-полиметаллический рудный узел Восточной Тувы. – Красноярск, 2001. – 292 с.
9. Симонов В.А., Зайков В.В., Ковязин С.В. Палеогеодинамические условия развития гидротермальных систем Кызыл-Таштыгского месторождения (Восточная Тува) // Металлогения древних и современных океанов – 1999. – Миасс: ИМин УрО РАН, 1999. – С. 16–23.
10. Симонов В.А., Котляров А.В. Физико-химические параметры палеогидротермальных систем колчеданно-полиметаллического месторождения Кызыл-Таштыг, Восточная Тува // Металлогения древних и современных океанов – 2013. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2013. – С. 152–155.
11. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for H₂O–NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Pontignana-Siena. – 1994. – P. 117–130.
12. Melekestseva I.Yu., Ankusheva N.N., Tret'yakov G.A., Zaykov V.V., Simonov V.A. Massive sulfides from ancient and modern margins of the Asian paleocean and Pacific: Textures, mineralogy and fluid inclusion data // Marine minerals of the Pacific: Science, Economics, and the Environment: 37th Underwater Mining Institute. – Tokyo, 2007. – P. 177–187.
13. Piercey S.J., Peter J.M., Mortensen J.K., Paradis S., Murphy D.C., Tucker T.L. Petrology and U-Pb Geochronology of Footwall Porphyritic Rhyolites from the Wolverine Volcanogenic Massive Sulfide Deposit, Yukon, Canada: Implications for the genesis of Massive Sulfide Deposits in Continental Environments // Economic Geology. – 2008. – Vol. 103. – P. 5–33.
14. Potter R.V. Pressure correction for fluid-inclusion homogenization temperatures, based on the volumetric properties of the system NaCl–H₂O // U.S. Geological Survey J. Research. – 1977. – Vol. 5. – P. 603–607.
15. Rosa, D.R.N., Inverno, C.M.C., Oliveira, V., and Rosa, C.J.P. Geochemistry of Volcanic Rocks, Albernoa Area, Iberian Pyrite Belt, Portugal // International Geol. Rev. – 2004. – Vol. 46. – № 4. – P. 366–383.
16. Shikazono N. A comparison of temperatures estimated from the electrum – sphalerite – pyrite – argentite assemblage and filling temperatures of fluid implications from epithermal Au–Ag vein-type deposits in Japan // Econ. Geol. – 1985. – Vol. 80. – № 5. – P. 1415–1424.

УДК 551.4

АССОЦИАЦИИ РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ И ИХ ГЕОМОРФОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (ОБЩИЕ И ФЕНОМЕНАЛЬНЫЕ)

Ликотов Е.Ю.*ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»,
Тюмень, e-mail: likotov.evgenij@gmail.com*

В результате обзорных полевых исследований опасных рельефообразующих процессов, проведённых нами в 2004–2006 гг. на юго-востоке Ленинградской области в ходе инженерно-экологических изысканий в зоне влияния действующего с 1979 г. газопровода Грязовец – Ленинград и строящегося Северо-Европейского газопровода (СЕГ), установлено широкое распространение и разнообразие ассоциаций рельефообразующих процессов: 14 ассоциаций на площади чуть менее 1000 км². В отличие от других случаев одновременного действия нескольких рельефообразующих процессов, в ассоциациях не представляется возможным выделение ведущего процесса. Выявлены общие и феноменальные геоморфодинамические свойства рельефообразующих процессов в ассоциациях. Общие свойства следующие. Большинство этих процессов по своей природе – антропогенно инициированные природные. В ходе своего действия они увеличивают не только собственную активность, но и степень благоприятности внешних условий своего действия. Ведущий процесс в ассоциациях, в отличие от обычных ситуаций (в терминологии Л.Н. Ивановского – парагенезов), не остаётся таковым в течение сколько-нибудь длительного времени. Феноменальные геоморфодинамические свойства рельефообразующих процессов в ассоциациях состоят в том, что ведущие процессы непрерывно и часто меняются (причём динамически ведущий процесс – не всегда самый активный) и рельефообразующие процессы взаимно активизируют друг друга.

Ключевые слова: ассоциации рельефообразующих процессов, общие и феноменальные геоморфодинамические свойства, взаимная активизация

ASSOCIATIONS OF RELIEF FORMING PROCESSES AND THEIR GEOMORPHODYNAMIC PROPERTIES (GENERAL AND PHENOMENAL)

Likotov E.Yu.*Tyumen State University, Tyumen, e-mail: likotov.evgenij@gmail.com*

As a result of observation field research of dangerous relief forming processes carried out by us in 2004–2006 in the south-east of Leningrad region during engineering-ecological survey in the zone of influence of gas pipe line Gryazovets-Leningrad functioning since 1979, and North-European gas pipe line (SEG) which was being built at the time, we found out wide spread and diversity of associations of relief forming processes: 14 associations in the area of less than 1000 km². In contrast to other cases of simultaneous action of several relief forming processes, in the associations it does not seem possible to find a leading process. We found out general and phenomenal geomorphodynamic properties of relief forming processes in associations. General properties are the following. Most of these processes are by their nature anthropogenically initiated natural. In the course of their action they increase not only their own activity but also the degree of favourability of external conditions of their action. The leading process in associations, in contrast to ordinary situations (as the terminology of L.N. Ivanovsky puts it – paragenezes), is not like this in the course of more or less long time. Phenomenal geomorphodynamic properties of relief forming processes in associations are as follows: the leading processes continuously and often change (while dynamically leading process is not always the most active) and relief forming processes activate one another.

Keywords: associations of relief forming processes, general and phenomenal geomorphodynamic properties, activating one another

Исследованиям рельефообразующих процессов, определению ведущих из них, констатации их взаимодействий и необходимости их изучения посвящена довольно обширная литература [1, 2, 6 и др.] (хотя ее и намного меньше, чем работ по строению рельефа). Предметное же исследование взаимодействующих рельефообразующих процессов – одновременное и во взаимосвязи, а не по отдельности – представляет собой пока практически неизученную проблему. Причиной ее постановки является выявленное в ходе полевых исследований опасных рельефообразующих процессов широкое

развитие сразу нескольких рельефообразующих процессов «в точках», на отдельных площадях или отрезках линейных объектов. Замеченные уже при полевых исследованиях особенности их действия состоят в том, что они не только примерно равнозначны (выделить безоговорочно ведущий процесс не представляется возможным), но и взаимосвязаны.

Цель исследования. На основе исследований опасных рельефообразующих процессов, связей и взаимодействий между ними – выявление ассоциаций рельефообразующих процессов и установление

общих и отличительных свойств процессов в ассоциациях.

Задача исследования. Поиск и выявление при полевых исследованиях проявлений действия определенных ассоциаций опасных рельефообразующих процессов. Результаты ее выполнения представлены в настоящей работе.

Материалы и методы исследования

Фактические материалы были собраны в 2004–2006 гг. при исследованиях опасных рельефообразующих процессов в ходе инженерно-экологических изысканий в зоне влияния действующего с 1979 г. газопровода Грязовец – Ленинград и строившегося Северо-Европейского газопровода (СЕГ) шириной по 1,5 км по обе стороны от него на участке 319–450 км, на юго-востоке Ленинградской области. Газопровод Грязовец – Ленинград и зона его влияния рассматривались и изучались как система-аналог СЕГ (газопроводы проложены зачастую по одной просеке), и по сути исследования возможностей и прогноза его влияния на экологические условия, в частности – на формирование рельефа, проводились в условиях натурного эксперимента, что определило основополагающий метод исследований. В его рамках применялись традиционные методы полевых геоморфологических исследований: маршруты с проведением морфологических, морфометрических, морфодинамических наблюдений и простейших горных работ. Для обобщения результатов работ применялся весь наш опыт специализированных и съёмочных геоморфологических и геологических исследований 1979–2004 гг. в различных регионах страны: от Дальнего Востока до Русской равнины с востока на запад и от Кольского п-ова до Западного Казахстана с севера на юг, а также данные литературных первоисточников и космических снимков.

Результаты исследования и их обсуждение

Выявленные ассоциации процессов характеризуются в основном в аспектах характера взаимодействий между ними и следующей из него опасности. Абсолютное большинство ассоциаций развито вдоль линейных объектов.

1. *Солифлюкция и болотообразование (или – подтопление) (усиленная солифлюкция)* развита преимущественно на участках солифлюкционных и дефлюкционно-солифлюкционных склонов с затрудненными инженерными сооружениями (газопроводом, дорогами, ЛЭП и др.) транзитом воды. Рыхлые образования (далее – РО) в их пределах приобретают постоянно вязко-текучую, а нередко – и жидко-текучую консистенцию. Поэтому действие процессов этой ассоциации более опасно, чем, например, отдельно солифлюкции.

2. *Линейная и плоскостная эрозия* действуют на незадернованных участ-

ках с уклонами поверхности 3–5° и более. И хотя линейная эрозия здесь развита активнее, динамически ведущая роль – за плоскостной эрозией. Этим процессом выносится часть обломочного материала; намывные его массивы неминуемо образуют линейные понижения между собой – начальные геоморфологические условия для развития линейной эрозии. Ею, в свою очередь, активизируется плоскостная (выведением на поверхность и отложением тонкого материала).

3. *Линейная эрозия, плоскостная эрозия, сведение лесов.* Проявления действия процессов этой ассоциации отмечены в пределах участков сведения лесов в основном вдоль дорог; на площади – на одном участке (417 км). Исключительная опасность действия процессов этой ассоциации – в формировании не только рытвин, но и оврагов, следует не просто из совпадения буквально всех благоприятных условий их развития, но главным образом из их концентрации и оптимальных их характеристик, в частности крутизны склона (до 10–15°), его слабо выпуклого поперечного профиля, практически полного отсутствия растительности и, наконец, наличия по падению склона грунтовой дороги – начального концентратора стока.

4. *Плоскостная эрозия и линейная эрозия* действуют вдоль линейных объектов на наклонных участках, сложенных преимущественно оглиненным песком и лишь недавно лишенных растительного покрова – в частности, на участках свежих очистительных вырубках по просеке газопровода. На этих участках для развития линейной эрозии относительно эрозионноустойчивых грунтов, скорее всего, пока недостаточно времени. Другие закономерности действия процессов этой ассоциации сходны с таковыми у 1-й ассоциации.

5. *Плоскостная эрозия, линейная эрозия и дефляция* приурочены к полностью или частично незадернованным наклонным участкам, сложенным существенно песчаными РО. Активность и, главное, опасность действия этих процессов обусловлена тем, что перемещению подвергается практически весь обломочный материал, слагающий поверхность. Плоскостная эрозия разрыхляет его поверхностный слой, перемещает и концентрирует наиболее тонкие частицы, строит линейные понижения – возможные участки развития линейной эрозии. Она, в свою очередь, перемещает более крупные (песчаные) частицы и уменьшает плотность их залегания, формирует эрозионные

рытвины. Дефляция перемещает обломки различных размеров (в том числе и не поддающиеся перемещению водными потоками), выводя таким образом на поверхность РО, еще не затрагивавшиеся плоскостной и линейной эрозией, и благоприятствует действию этих процессов. Перемещаемый обломочный материал попадает в сферу эрозионной деятельности потоков и выносятся с мест действия процессов ассоциации.

6. *Плоскостная эрозия и суффозия* развиты на субгоризонтальных участках плосковершинных поверхностей (в осевых частях водоразделов), сложенных РО различного мехсостава с заметным содержанием глинистых частиц. Ассоциирующие процессы не только автоматически ускоряют действие друг друга, но и постоянно создают друг другу благоприятные «начальные» условия развития. Ведущий процесс выделить в данном случае практически невозможно, да и, на наш взгляд, это противоречит реальному содержанию функционального взаимодействия этих процессов.

Суффозия формирует микропонижения (местами – на горизонтальных поверхностях) – блюдца и воронки, создавая наклонные поверхности, благоприятные для развития плоскостной эрозии. Плоскостная эрозия поставляет обломочный материал, в том числе – и тонкий, к днищам блюдец и воронок, способствуя действию суффозии. С другой стороны, плоскостная эрозия выводит на поверхность новые и новые порции обломков, до сих пор не подвергавшихся воздействию суффозии. Взаимодействие этих процессов вызывает быстрое уменьшение высоты поверхности (а во времени – и выведение на поверхность подземных коммуникаций) и увеличение относительных высот (энергии рельефа) в пределах считающихся геоморфологически «спокойными» горизонтальных плосковершинных поверхностей.

7. *Линейная эрозия, плоскостная эрозия, подтопление (или болотообразование)* отмечаются преимущественно в центральной части района работ, на 377–393-м км, вдоль трассы газопровода и шоссе Тихвин–Устюжна. Для этих антропогенных форм характерен прежде всего сугубо контрастный микрорельеф (с амплитудами не менее 1,5–2 м), с наличием как положительных (с заметной – до 15–30° – крутизной склонов), так и отрицательных (ложбин вдоль трассы газопровода, дорожных кюветов) микроформ.

Рассматриваемая ассоциация процессов (как и другие, где одновременно представ-

лены эрозия и подтопление (болотообразование) – более пространственная, чем динамическая (функциональная). Взаимосвязи второй разновидности выражены, скорее всего, в благоприятной для линейной эрозии близости базисов эрозии (участков подтопления) к крутосклонным положительным микроформам.

Не будучи тесно связанными функционально, процессы ассоциации тем не менее действуют весьма активно. На 391–393-м км трассы газопровода при полевых наблюдениях отмечено не только непрерывное двустороннее подтопление (характерное для всего ареала действия ассоциации), но и многочисленные эрозионные рытвины (глубиной до 1 м), а местами – участки выходов бетонных швеллеров, обозначающие разрушение обратной засыпки газопровода. Возможно участие в ассоциации и криогенных процессов, которое может быть достоверно установлено при дальнейших исследованиях (в том числе – и при мониторинге).

8. *Линейная эрозия, подтопление (или болотообразование), суффозия* наблюдаются в основном вдоль дорог, просек ЛЭП, реже – на просеке газопровода; в центральной (410–395-й км) и в восточной (372–320-й км) частях района работ. Суффозия действует на положительных микроформах (в частности, на дорожном полотне), подтопление – в отрицательных (в том числе – и вокруг просеки газопровода), а линейная эрозия – на сопрягающих их склонах, реже – вдоль рассматриваемых линейных объектов. Однозначная геоморфологическая позиция процессов обуславливает активность действия каждого из них и исключает какую-либо компенсацию их действия, но в то же время жёстко регулирует рамки распространения каждого из процессов.

9. *Линейная эрозия, плоскостная эрозия, оползание, суффозия* вместе развиты локально: вдоль шоссе Тихвин – Устюжна (391–392-й км) и вдоль дороги Остров – Тургошь (334-й км). Действуют они весьма активно. Причины тому следующие.

1) ярко выраженная асингенетичность этих процессов современному ненарушенному естественному рельефу в местах их действия;

2) особенность режима взаимодействия процессов, заключающаяся в их взаимной активизации;

3) формирование при строительстве (и ремонте) дорог всех возможных и наиболее благоприятных условий действия процессов ассоциации.

10. *Суффозия и дефляция* взаимодействуют на незадернованных открытых участках, сложенных РО разнообразного мехсостава (как песчаными, так и суглинистыми), в пределах переходного геоморфологического комплекса от полигенетичной (в основном водно-ледниковой) равнины (Молого-Шекснинской низины) к ледниковой равнине (Тихвинской моренной гряде). Процессы развиты вдоль грунтовых дорог на 337–345-м и на 360-м км (участок дороги от д. Лопастино до трассы газопровода).

Взаимодействие процессов носит ярко выраженный взаимоактивизационный характер. Суффозией вымываются глинистые частицы. Противодефляционная устойчивость оставшихся РО, в основном песчаных, резко уменьшается, и они перемещаются (выносятся) под действием дефляции. При этом на поверхность выводятся новые порции существенно суглинистых РО, на которые начинает активно воздействовать суффозия.

Таким образом, взаимодействие суффозии и дефляции, не особенно активных по отдельности, представляет собой существенную опасность для дорог, в пределах которых они развиты. И дороги с трудом проходимы автотранспортом уже сейчас.

11. *Суффозия, плоскостная эрозия, подтопление (или болотообразование), биогенные* так же, как и процессы предшествующей (10-й) ассоциации, приурочены к переходному геоморфологическому комплексу между Молого-Шекснинской низиной (с востока) и Тихвинской моренной грядой (с запада) и отмечаются на 353–354-м и на 360–363-м км просеки газопровода и вдоль прилегающих к ней дорог. Они действуют в пределах водораздельных участков плосковершинных поверхностей, зачастую окруженных болотами.

Ассоциация — в основном пространственная. Подтопление развито в отрицательных формах микрорельефа, остальные процессы — на положительных. Для участков развития плоскостной эрозии и биогенных процессов характерно сложение их торфом или слегка оглиненными песчаными РО. Они хорошо дренируются и прогреваются, а небольшая высота положительных микроформ (до 1 м относительно общей субгоризонтальной поверхности) служит препятствием развитию этого процесса.

Суффозия и биогенные (зоогенные) процессы взаимно активизируют друг друга. Плоскостная эрозия и подтопление действуют в значительной степени самостоятельно.

12. *Линейная эрозия, плоскостная эрозия, солифлюкция, подтопление (или болотообразование)* — одна из наиболее сложно построенных и действующих ассоциаций, развитая на 327–328-м, 332–333-м, 396–399-м, 431-м, 433–434-м км: на участках (в основном — просеки газопровода) с минимальными амплитудами микрорельефа в зоне влияния болот, сложенных существенно суглинистыми РО различной консистенции (до жидко-текучей), в различной степени задернованных. В пределах основной поверхности и положительных микроформ, особенно — на задернованных участках, развита солифлюкция, а на незадернованных к ней добавляются процессы линейной и плоскостной эрозии. Подтопление развито в пределах даже минимально отрицательных микроформ и обеспечивает развитие солифлюкции.

Исключительно высокая опасность процессов данной ассоциации (примерно такая же — у процессов 9-й ассоциации) состоит в тесном пространственном и динамическом взаимодействии таких опасных рельефообразующих процессов, как солифлюкция и линейная и плоскостная эрозия.

13. *Дефляция, линейная эрозия, плоскостная эрозия, биогенные процессы, суффозия, подтопление (или болотообразование)* — вторая по сложности из всех ассоциаций опасных рельефообразующих процессов и самая сложная из распространенных на трассе газопровода. Она приурочена исключительно к местам пересечения трассы газопровода и грунтовых дорог: на 443-м км и на 328-м км.

Разнообразие процессов во многом обусловлено разнообразием состояний внешних природных условий их развития и очень частой (местами — через 1–2 м расстояния) изменчивостью некоторых из них, в первую очередь — строения микрорельефа, уклонов поверхности и степени ее увлажнения.

Особая опасность действия опасных рельефообразующих процессов этой ассоциации состоит в возможном возрастании ее до катастрофической при изменении либо состояний внешних условий формирования рельефа, либо — результатов действия процессов и их ассоциации в целом. Возможность этого весьма велика в силу взаимодействия на этих участках нескольких природных геоморфосистем и двух антропогенных (газопровода и дороги).

14. *Процессы в населенных пунктах: антропогенные (строительство, распахивка, проходка канав) и антропогенно инициированные*

природные процессы (линейная эрозия, плоскостная эрозия, суффозия, дефляция, сезонные криогенные процессы).

Самая сложная ассоциация процессов развита в районе исследований отдельными участками относительно небольшой площади: от долей 1 км² до первых км². Для районов действия процессов этой сложной ассоциации сложен и набор состояний внешних условий формирования рельефа и их изменения. Они производятся не только непосредственно человеком, но и самими процессами.

Ни один населенный пункт не пересекает трасса газопровода. Лишь однажды (на 393–394-м км) она проходит в непосредственной близости от северо-западной и северной околиц д. Дуброва. Поэтому они не были охвачены исследованиями в ходе инженерно-экологических изысканий. При более детальных исследованиях специальное изучение их представляется необходимым.

Выводы

В результате кратковременных полевых обзорных (а не специализированных) исследований установлено широкое распространение и разнообразие ассоциаций рельефообразующих процессов: 14 ассоциаций на площади чуть менее 1000 км². На больших площадях, на горных территориях и при более продолжительных специализированных исследованиях их наверняка может быть замечено больше, а характер их взаимодействия – оказаться более разнообразным. Ассоциации имеют как пространственный, так и динамический характер.

Общие геоморфодинамические свойства выявленных ассоциаций рельефообразующих процессов состоят в первую очередь в том, что большинство этих процессов по своей природе – антропогенно инициированные природные [4]. В ходе своего действия они увеличивают не только собственную активность, но и степень благоприятности внешних условий своего действия. Ведущий процесс в ассоциациях в отличие от обычных ситуаций (в терминологии Л.Н. Иванковского [2] – парагенезов) не остаётся таковым в течение сколько-нибудь длительного времени.

Установлены **феноменальные морфодинамические свойства рельефообразующих процессов в ассоциациях.**

1. *Ведущие процессы в ассоциациях непрерывно и часто меняются* в зависимости от характера и интенсивности взаимодействий не только между собой, но и между всеми участниками рельефообразования [5]. В ассоциациях динамически ведущий процесс не всегда самый активный (как, в частности, во 2-й ассоциации – плоскостная эрозия).

2. *Рельефообразующие процессы взаимно активизируют друг друга.* Чаще всего эти взаимные активизации проявляются в виде создания благоприятных условий развития других ассоциированных с ними рельефообразующих процессов, в частности – условий внешних, как сведение слесов в 3-й ассоциации. В длинном ряде случаев рельефообразующие процессы поставляют или удаляют обломочный материал, обеспечивая действие других рельефообразующих процессов ассоциации. В ряде случаев (например, в 1-й ассоциации) действие процесса превращается из периодически интенсивного в постоянно интенсивное. Степень опасности рельефообразующих процессов в ассоциациях велика не только потому, что они взаимно активизируют друг друга, а и потому, что многие из них являются антропогенно инициированными [4], а значит – асингенетичными по отношению к естественному рельефу [3] и полностью или почти полностью лишенными поэтому естественных регуляторов (ограничителей) амплитуд и интенсивности своего действия в виде обратных отрицательных связей [4].

Список литературы

1. Воскресенский С.С. Динамическая геоморфология. Формирование склонов. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – 228 с.
2. Ивановский Л.Н. Экзогенная литодинамика горных стран. – Новосибирск: Наука, 1993. – 160 с.
3. Ликутев Е.Ю. Соотношение генезиса и динамики рельефа. Сингенетичные и асингенетичные рельефообразующие процессы / Г.Ф. Уфимцев, Д.А. Тимофеев, Ю.Г. Симонов и др. // Генезис рельефа – Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998. – С. 30–35.
4. Ликутев Е.Ю. Скорости антропогенно инициированных природных процессов и особенности их действия на севере Русской равнины // Земная поверхность, ярусный рельеф и скорость рельефообразования: материалы Иркутского геоморфологического семинара, чтений памяти Н.А. Флоренсова (Иркутск, 9–14 сент. 2007 г.) – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007. – С. 130–132.
5. Ликутев Е.Ю. Связи и взаимодействия как участники рельефообразования // Вестник Тюменского государственного университета. Серия Науки о Земле. – 2012. – № 7. – С. 113–121.
6. Шукин И.С. Общая геоморфология. – М.: Изд-во МГУ, 1960. – Т. 1. – 615 с.

УДК 669.743.27: 669.054.83

ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ МЕДИ ИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Мишурина О.А., Чупрова Л.В.

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
Магнитогорск, e-mail: moa_1973@mail.ru*

Наиболее перспективным направлением в технологии извлечения ионов меди из сточных вод являются гальванические методы. Данные методы позволяют максимально концентрировать и селективно извлекать медь из технических растворов. Установлено, что эффективность процесса цементации в реальных условиях во многом зависит от целого ряда технологических факторов, и главным образом от водородного показателя среды, расхода осадителя (железа), исходной концентрации ионов меди и продолжительности протекания процесса. В работе представлены результаты влияния данных параметров процесса на эффективность извлечения меди методом цементации. Рассмотрена возможность протекания побочных процессов. Установлено влияние побочных процессов на выход целевого продукта. Получены кинетические зависимости процесса цементации ионов меди из технических растворов при различных сочетаниях ионов меди и осадителя. Разработаны технологические рекомендации, позволяющие селективно извлекать цементационным методом медь. Полученные по технологии продукты являются кондиционным сырьем для металлургической промышленности. Внедрение данной технологии позволит существенно снизить экологическую нагрузку в регионе.

Ключевые слова: медь, цементация, параметры процессы, извлечение, эффективность

CHEMICAL ASPECTS OF EXTRACTION OF COPPER IONS FROM TECHNICAL SOLUTIONS ELECTROPLATED

Mishurina O.A., Chuprova L.V.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: moa_1973@mail.ru

The most promising direction in the recovery of copper ions from waste water technology are electroplating methods. These methods allow for maximum focus and selectively removing the copper from the technical solutions. It is established that the efficiency of the cementation in real conditions largely depends on several technical factors and mainly on the pH value of the medium, flow precipitator (iron), the initial concentration of copper ions and the duration of the process flow. The results of the impact of these process parameters on the efficiency of extraction of copper by cementation. The possibility of occurrence of side processes. The influence of secondary processes on the yield. Kinetic dependence of the process of cementation of copper ions from the technical solutions for various combinations of copper and ion precipitant. The technological recommendations to selectively extract copper cementation method. These technology products are conditionally raw material for the steel industry. The introduction of this technology will significantly reduce the environmental burden in the region.

Keywords: copper, cementation, process, parameters, the extraction, efficiency

Некоторые из тяжелых металлов, присутствующих в сточных водах ГОКов Южного Урала, относятся к числу редких и дорогостоящих, и их селективное выделение представляет собой самостоятельный интерес для дальнейшей переработки и вторичного использования. К числу таких металлов можно отнести ионы меди [5–7, 13].

В процессе исследования были изучены шахтные и подотвальные воды ГОКов Южного Урала. Содержание ионов меди в исследуемых водах достаточно велико и в среднем составляет 482 мг/дм³, что позволяет считать рудничные воды горных предприятий Южного Урала техногенными источниками соединений меди, поэтому целесообразно рассмотрение проблемы ее селективного извлечения [8, 9, 12].

Практически все горнопромышленные предприятия Уральского региона для обработки сточных вод в настоящее время

используют метод известкования, позволяющий выделять основную массу тяжелых и цветных металлов в виде гидроксидов и основных солей. Данный метод не дает возможности селективно извлекать ионы меди, т.к. наряду с медью из раствора также осаждаются ионы и других металлов: цинка, железа, свинца и т.д. Поэтому для селективного извлечения ионов меди необходимо внести изменения в существующую технологию доочистки сточных вод на вышеуказанных ГОКах [6, 7, 9].

Целью нашего исследования является изучение условий извлечения цветных металлов и в первую очередь – меди, из кислых рудничных вод горно-обогатительных предприятий Южного Урала. Для селективного извлечения ионов меди из кислых вод на практике наибольшее применение находят гальванические методы: цементация, гальванокоагуляция и др. Наиболее простым

и эффективным способом извлечения ионов Cu^{2+} из кислых растворов является цементация меди на железе [1–3, 10, 11, 12].

В общем виде суммарный процесс контактного способа восстановления ионов меди на железных стружках можно отобразить следующими реакциями:



Эффективность процесса цементации в реальных условиях во многом зависит от целого ряда технологических факторов, и главным образом от водородного показателя среды, расхода осадителя (железа), исходной концентрации ионов меди и продолжительности протекания процесса [4, 12–15].

Для процесса цементации в качестве цементаторов испытывалось железо, т.к. в железе слой оксидов является рыхлым, со множеством пор, поэтому, хотя железо не является самым активным восстановителем среди испытанных металлов, скорость цементации на нем высока.

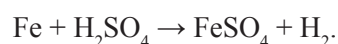
При проведении лабораторных исследований было экспериментально рассмотрено влияние данных факторов на показатели извлечения меди из двухкомпонентных водных растворов. Исходный состав водных растворов представлен в табл. 1.

Таблица 1
Ионный состав исследуемых водных растворов

Показатель	pH	Cu^{2+}	Fe^{3+}
Концентрация, мг/дм ³	2,67	284,1	434,7

В ходе лабораторных экспериментов модельный раствор объемом 500 см³ пропускали через желоб, загруженный железной стружкой, с интервалом продолжительности протекания процесса от 1 до 20 минут при температуре 20°C. После окончания опытов в растворах анализировали остаточную концентрацию меди йодометрическим методом. Полученные результаты эксперимента представлены на рис. 1.

Анализ полученных результатов (рис. 1) показал, что наиболее полное осаждение меди на железной стружке происходит в интервале pH от 1 до 3. Снижение показателей извлечения ионов меди из сильноокислых растворов (pH < 2,0) может объясняться тем, что увеличение одноименно заряженных катионов H^+ способствует снижению электромиграции ионов меди к катоду. Кроме того, в сильноокислой среде возможно протекание побочной реакции, которая вызывает бесполезный расход осадителя (железа):



При pH обрабатываемых растворов более 3 возможно частичное выпадение гидроксида Fe (III), который способствует процессу пассивации поверхности осадителя (железа) и, как следствие, задерживает цементацию меди.

Существенное влияние на скорость процесса цементации оказывает характер и расход осадителя (железа). Теоретическое соотношение между медью и железом при протекании процесса цементации определяется соотношением

$$\begin{aligned} \text{Fe} : \text{Cu} \\ 56 : 64 \\ 7 : 8 \end{aligned}$$

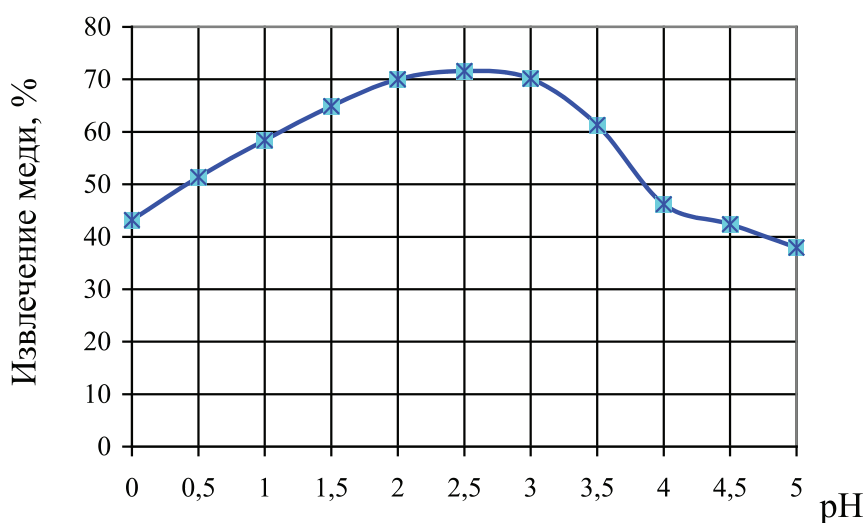
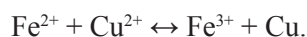
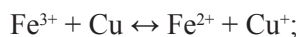
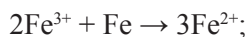
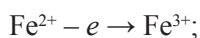


Рис. 1. Влияние кислотности раствора на извлечение меди из двухкомпонентных водных растворов методом цементации на железе

На практике, вследствие возможности протекания побочных процессов (см. реакции ниже), фактический расход значительно превышает теоретическое соотношение:

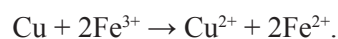
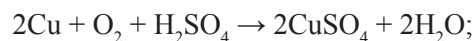


Из работ С.И. Митрофанова, Б.Д. Халезова и др. [4, 12] известно, что скорость и эффективность процесса цементации в значительной степени зависят от реагирующей поверхности осадителя. Чем мельче осадитель, тем меньше загрузка осадителя и выше скорость процесса цементации. Поэтому в процессах цементации обычно используют либо измельченную чугунную стружку, либо губчатое железо крупностью от $-0,1$ мм до -1 мм. При этом, для того чтобы скорость цементации была одинаковой, количество стружки следует загружать обратно пропорционально ее удельной поверхности или обратно пропорционально среднему диаметру порошка. При одинаковой крупности стружки осадителя поверхность контакта будет возрастать прямо пропорционально весу осадителя и после цементации останется больше непрореагировавшей стружки. В работе при проведении экспериментальных исследований использовали железную стружку крупностью от $-0,5$ до -1 мм.

Результаты экспериментальных исследований по подбору оптимальных параметров соотношения ионов меди и железа (осадителя) при протекании процесса цементации меди из технических растворов представлены на рис. 2.

Полученные кинетические зависимости показали, что процесс цементации рационально проводить при соотношении ионов меди и железа 1:2. Максимальные показатели извлечения меди в данном случае (94,3%) наблюдаются после 15 минут с момента поступления обрабатываемого раствора в цементатор.

Снижение показателей извлечения меди при соотношении Cu^{2+} и Fe 1:1,5 (кривая 3) может объясняться тем, что при недостатке осадителя в обрабатываемом растворе, а также при наличии в системе кислорода или ионов трехвалентного железа параллельно с процессом цементации возможно протекание реакций окисления меди с переходом ионов меди в раствор:



Причем представленные выше реакции будут иметь тем большее значение, чем продолжительнее ведется процесс цементации при постоянном расходе осадителя и чем меньше его загрузка [6].

В процессе проведения эксперимента было установлено, что при соотношении ионов меди и железа 1:2 обработку одной и той же железной загрузкой можно проводить 10–12 раз. После этого оставшееся

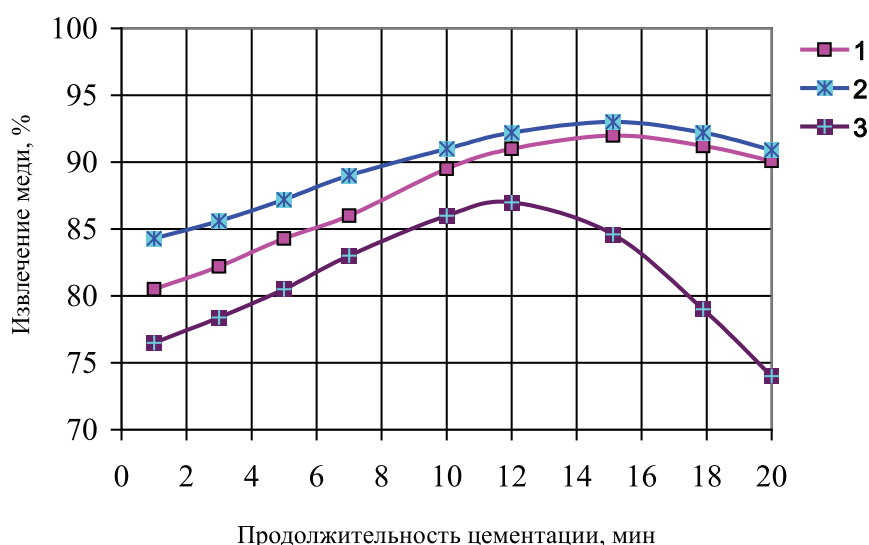


Рис. 2. Кинетика процесса цементации ионов меди из технических растворов при различных сочетаниях ионов меди и осадителя: 1 – соотношение Cu^{2+} и Fe 1:2,5; 2 – соотношение Cu^{2+} и Fe 1:2; 3 – соотношение Cu^{2+} и Fe 1:1,5

железо необходимо удалить и выгрузить из цементатора осевшую на дно цементную медь.

В работах В.А. Чантурия, М.И. Алкацева и др. [1, 13, 14] указывается, что полнота протекания процесса цементации зависит от концентрации ионов меди в растворах. Такая зависимость объясняется влиянием структуры образующихся на поверхности железных частиц цементационных осадков, а именно: чем выше начальная концентрация ионов меди в растворе, тем меньше пористость образующихся цементационных осадков. При этом экранирование малопористыми осадками цементной меди поверхности железа ведет к прекращению процесса цементации. В сильноконцентрированных растворах (C_{Cu}^{2+} более 10 мг/дм³) пористость осадков становится настолько малой, что процесс цементации практически прекращается [2].

Результаты гранулометрического анализа осадка цементной меди, полученной в экспериментальной цементационной установке при обработке кислых подотвальных вод ЗАО «Бурибаевский ГОК», и распределение меди по классам приведены в табл. 2.

Полученные результаты анализа, представленные в табл. 2, показали, что около 85 % цементной меди извлекается в тонкий класс 0,071 + 0 мм, из них более половины – 57,5 % в класс – 0,044 мм.

Таким образом, полученные результаты экспериментальных исследований позволили установить оптимальные параметры осуществления процесса цементации ионов меди из технических растворов:

- интервал pH от 2 до 3;
- продолжительность обработки 15 минут;
- соотношение ионов меди и железа (осадителя) 1:2.

Атомно-адсорбционным методом были проведены исследования химического состава цементной меди, образующейся при переработке кислых подотвальных вод ЗАО «Бурибаевский ГОК». Полученные результаты анализа представлены в табл. 3.

Анализ полученных результатов (табл. 3) позволяет заключить, что образующаяся цементная медь по содержанию меди, согласно ГОСТ 859-2001, может быть использована в электротехнике в качестве добавки к полупроводникам и для производства труб в металлургической промышленности. Кроме того, рассмотренный способ регенерации ионов меди позволит значительно улучшить экологические показатели техногенных стоков Бурибаевского ГОКа по концентрации ионов меди.

Таблица 2

Гранулометрический состав цементного осадка и распределение цементной меди по классам крупности

Класс крупности, мм	Выход, %	Содержание меди, %	Извлечение меди, %
+1	8,75	16,7	4,31
–1 + 0,4	7,98	8,55	2,01
–0,4 + 0,2	13,31	8,85	3,47
–0,2 + 0,14	9,89	11,02	3,25
–0,14 + 0,071	4,76	15,65	2,2
–0,071 + 0,04	23,0	40,2	27,26
–0,04	32,31	60,36	57,5
Итого	100,0	33,92	100,0

Таблица 3

Химический состав цементной меди, получаемой из кислых подотвальных вод Бурибаевского ГОКа

Символ химического элемента	Cu	Fe	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
Содержание, %	66,5	12,25	0,5	0,2	0,03

Выводы

Разработанные технологические рекомендации позволяют извлекать цементационным методом медь ($\beta_{\text{Cu}} = 66,5\%$); полученный продукт, согласно ГОСТ 859-2001, является кондиционным медным концентратом I сорта и может быть использован в электротехнике в качестве полупроводника, а также для производства труб в металлургической промышленности.

Список литературы

1. Алкацев М.И. Процессы цементации в цветной металлургии. – М.: Металлургия, 1981. – 116 с.
2. Виноградова О.О., Погорелов В.И., Феофанов В.А. Применение гальванокоагуляции для очистки промышленных сточных вод // Цветные металлы. – 1993. – № 11. – С. 59–60.
3. Зозуля В.В., Прокопенко В.А., Лавриненко Е.Н., Перцов Н.В. О механизме процессов в гальванопаре железо-углерод (кокс) в азрированном растворе, содержащем ионы тяжелых металлов // Укр. хим. журн. – 2002. – Т. 66, № 7. – С. 48–50.
4. Митрофанов С.И. и др. Комбинированные методы переработки окисленных и смешанных руд. – М.: Изд-во «Недра», 1970. – 288 с.
5. Мишурина О.А. Электрофлотационное извлечение марганца из гидротехногенных ресурсов горных предприятий // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2009. – № 3. – С. 72–74.
6. Мишурина О.А. Технология электрофлотационного извлечения марганца в комплексной переработке гидротехногенных георесурсов медноколчеданных месторождений – автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук // Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 2010.
7. Мишурина О.А., Муллина Э.Р. Химические закономерности процесса селективного извлечения марганца из техногенных вод // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2012. – № 3. – С. 58–62.
8. Рязанцев А.А., Батоева А.А., Батоев В.Б., Тумурова Л.В. Гальванокоагуляционная очистка сточных вод // Химия в интересах устойчивого развития. – 1996. – т. 4, № 3. – С. 233–241.
9. Удаление металлов из сточных вод. Нейтрализация и осаждение: пер с англ. / под ред. Дж.К. Кушни. – М.: Металлургия, 1987. – 176 с.
10. Феофанов В.А., Давыдов Г.И., Чилиева Л.И. Очистка сточных вод методом гальванокоагуляции. – Алма-Ата: Казмеханобр, 1991. – 53 с.
11. Феофанов В.А., Жданович Л.П., Луханин Б.С., Вдовкин Г.Г. Очистка сточных вод коагуляцией // Казмеханобр: сб. научных трудов. – 1983. – № 26. – С. 79–86.
12. Халезов Б.Д., Ватолин Н.А., Макурин Ю.Н., Быков Н.А. Исследование извлечения меди в барабанном цементаторе // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГТУ, 2005. – № 5. – С. 302–311.
13. Чантурия В.С., Назарова Г.Н. Электрохимическая технология в обогащении-гидрометаллургических процессах. – М.: Наука, 1977. – 159 с.
14. Чантурия В.А. Соложенкин П.М. Гальванохимические методы очистки техногенных вод Теория и практика. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 186 с.
15. Чернова О.П., Курдюмов Г.М. Гальваноочистка сточных вод металлургических производств // 75-МИСиС. – М.: МИСиС, 1997. – С. 291–295.

УДК 551.52

КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

¹Невидимова О.Г., ²Янкович Е.П.¹*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
Томск, e-mail: olga-nevidimova@mail.ru;*²*Томский политехнический университет, Томск, e-mail: yankovich@tpu.ru*

В статье обсуждаются вопросы оценки пространственно-временного распределения климатических характеристик солнечной радиации, ветра, осадков, температуры на территории юга Западной Сибири в контексте их влияния на динамику быстропротекающих геоморфологических процессов. В качестве основных показателей рассматриваются суммарная солнечная радиация, температура воздуха, скорость ветра, количество осадков. На основе многолетних данных для юга Западной Сибири исследована их сезонная и территориальная изменчивость. В результате проведенного анализа были раскрыты некоторые особенности поступления солнечной энергии, годового хода и пространственного распределения повторяемости ветра по градиентам скорости и направлению, термического режима, атмосферных осадков. Выполненное районирование исследуемой области с использованием платформы ARCGis 10.2 на основе обобщения актинометрической и метеорологической информации позволило дифференцировать территорию по особенностям радиационного, термического, ветрового режима и осадков. Сделан вывод о том, что наблюдаемые на территории юга Западной Сибири изменения климата имеют существенную пространственную и временную неоднородность и значительным образом влияют на ход современных экзогенных процессов.

Ключевые слова: суммарная солнечная радиация, ветровой режим, температура воздуха, количество осадков, геоморфологический процесс

CLIMATIC CONDITIONS OF THE FORMATION OF FAST GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES IN THE SOUTH OF WEST SIBERIA

¹Nevidimova O.G., ²Yankovich E.P.¹*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS,
Tomsk, e-mail: olga-nevidimova@mail.ru;*²*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: yankovich@tpu.ru*

The article discusses the evaluation of the climatic characteristics of solar radiation, wind, precipitation, temperature in the territory south of West Siberia and their impact on the dynamics of fast geomorphological processes. The main indicators are considered total solar radiation, air temperature, wind speed, rainfall. Based on long-term of data for the South Western Siberia explored their seasonal and spatial variability. The analysis revealed particularly solar radiation, annual variations and spatial distributions of occurrence of wind speed and direction, thermal regime, precipitation. Zoning of the South of Western Siberia with the ARCGis 10.2 allowed differentiating the territory for the characteristics of radiation, thermal, wind and precipitation regime. It was concluded that the observed on the territory of the South of Western Siberia climate change have significant spatial and temporal heterogeneity and significantly affect the course of modern exogenous processes.

Keywords: total solar radiation, wind regime, air temperature, precipitation, geomorphological process

Активность экзогенных процессов обуславливают различные факторы, включая перепады температуры, интенсивность осадков, силу и направление ветра. Именно климатические факторы в сочетании с определенными литогенными и орографическими условиями могут иметь большое влияние на скорость и интенсивность современных быстропротекающих геоморфологических процессов. Такие процессы – реализованная онлайн морфологическая сущность экзогенного преобразования земной поверхности, когда рельеф её меняется буквально на глазах. Нередко скорость, частота проявления, как и величина перемещаемых в результате этих процессов масс, характеризуются высокими значениями, контрастны во

времени и пространстве. Поэтому быстропротекающие геоморфологические процессы часто формируют опасные для жизни и хозяйственной деятельности человека ситуации. Пространственно-временная изменчивость климатических характеристик, особенно усилившаяся в последнее время, оказывает значительное влияние как на ход геоморфологических процессов, так и на вероятности рискоформирующих ситуаций. В этой связи особую актуальность приобретают исследования, задачей которых является региональная оценка современной климатической обстановки и ведущих метеорологических факторов, непосредственно воздействующих на динамику рельефа земной поверхности. Для равнинной части

юга Западной Сибири подобный анализ имеет ценность, прежде всего, из-за происходящей здесь существенной трансформации гидротермических условий, которая меняет не только интенсивность и скорость отдельных геоморфологических процессов, но и вызывает изменения динамики большинства экзогенных процессов в зоне гипергенеза.

Материалы и методы исследования

Климатические условия формирования быстропротекающих геоморфологических процессов на территории Западной Сибири определяются её положением внутри материка Евразии. Отсутствие преград на севере позволяет проникать арктическим массам воздуха, которые несут сухость и низкие температуры, а открытость с юга благоприятствует поступлению прогретого континентального воздуха [3]. Общей особенностью этой территории является активная циклоническая деятельность, обуславливающая большую изменчивость погоды, резкий суточный и годовой ход приземной температуры. Радиационный режим Западной Сибири характеризуется значительными колебаниями продолжительности солнечного сияния и количества солнечной энергии, поступающей на земную поверхность. Вариации от широтного распределения солнечной энергии обусловлены в основном облачностью. Зимой под влиянием отрога Азиатского антициклона формируются довольно низкие температуры; абсолютные минимумы по ряду станций составляют -52°C . Суровость зимних условий усугубляют частые ветра и метели. Отмечается почти зональное распределение осадков по территории, в северо-восточных районах осадков больше, к югу их количество уменьшается. Природно-климатическая зональность южной части Западной Сибири характеризуется компактностью, разнообразием, контрастностью. Так, переход от лесоболотных ландшафтов южной тайги к сухим степным пространствам крайних южных районов довольно резкий из-за локальности лесостепной зоны. Поэтому даже небольшое изменение климатических показателей может приводить к существенной трансформации природных условий и, соответственно, к изменениям в структуре и динамике современного рельефа; в том числе часть процессов может диффундировать, распространяться на соседние ландшафты.

В гипсометрическом отношении исследуемая территория юга Западной Сибири не отличается широким разбросом отметок: от 300 м на востоке до 90 м на западе. Дренажность обеспечивается развитой гидрографической сетью, обилием оврагов, балок; глубина залегания верхнего уровня грунтовых вод в речных долинах менее 5 метров. Почвообразующие породы, вовлекаемые в геоморфологическое движение, имеют высокую подверженность процессам переноса, что может играть существенную роль в формировании опасных ситуаций: в северной части исследуемой территории распространены глины и тяжелые суглинки, к югу начинают преобладать супеси, к востоку – лессовидные суглинки.

Таким образом, ландшафтно-климатические особенности юга Западной Сибири формируют пространственно-временное своеобразие современных геоморфологических процессов. Спектр их довольно

широк: от экзогенных процессов, характерных для гумидного климата с избыточным увлажнением (эрозивно-аккумулятивные процессы) до субаридного морфогенеза (эолово-дефляционные процессы).

Важнейшей климатической характеристикой, определяющей интенсивность многих геоморфологических процессов, является солнечное излучение. Причинами неравномерного поступления лучистой энергии Солнца на земную поверхность являются не только астрономические факторы, но и морфологические особенности этой поверхности. Изменчивость инсоляции, обусловленная рельефом, определяется в первую очередь морфометрическими характеристиками склонов. Для анализа особенностей дифференциации солнечной радиации на склонах были рассчитаны прямая, рассеянная и суммарная радиации, приходящие на склоны различной крутизны и экспозиции в отсутствии облачности, при средних условиях облачности с использованием актинометрических данных 14 метеостанций Западной Сибири. Расчет осуществлялся с использованием методических рекомендаций К.Я. Кондратьева [4], М.С. Аверкиева [1], Б.А. Айзенштат [2], С.И. Сивкова [5].

Для оценки метеорологических условий формирования быстропротекающих процессов и их изменений на территории Западной Сибири исходными данными являлись временные ряды среднемесячных значений температур, осадков и ветрового режима за периоды 1961–1990 гг., 1991–2015 гг. по 45 метеостанциям. Обобщение актинометрической и метеорологической информации проводилось с использованием платформы ARCGIS 10.2.

Результаты исследований и их обсуждение

Выраженной широтностью характеризуется распределение солнечной энергии при ясном небе по территории южной части Западной Сибири. Приход суммарной радиации при реальных условиях облачности изменяется от 3628 МДж/м^2 в северной части территории до 4728 МДж/м^2 к югу, что соответствует 65–75% от возможного при ясном небе за год. Амплитуда годового хода значительна и может достигать 630 МДж/м^2 (рис. 1). Доля прямой солнечной радиации в суммарной составляет от 17% до 60% в зависимости от местоположения станции и сезона. Фактор широтной зональности распределения солнечной энергии осложняется региональными особенностями формирования облачности, прозрачности атмосферы, отражательной способностью и наличием неровностей земной поверхности. Неравномерное распределение солнечной радиации по склонам разной крутизны и ориентации является одной из основных причин возникновения термической дифференциации поверхностей и, соответственно, скорости изменения структуры рыхлых склоновых отложений. Воздействие колебания температур проявляется не только в условиях макрорельефа, но и в условиях

микрорельефа. Это особенно важно для равнинной территории Западной Сибири, когда значительные уклоны возможны в основном на участках, прилегающих к речной сети, и в районах гривного рельефа, ярко выраженного в юго-западной части. Так, например, в Томской области, где более 90% площади – это поверхности с уклонами менее 5°, существенное различие в поступающей на земную поверхность солнечной энергии возможно лишь на менее чем 6% территории (рис. 2). Именно здесь на квадратный метр приходится до 4600 МДж, на остальной территории солнечная энергия распределяется относительно равномерно и в зависимости от экспозиции и крутизны составляет от 3400 до 3800 МДж/м².

Также для оценки степени изменчивости поступления солнечной энергии были рассчитаны средние квадратичные отклонения продолжительности солнечного сияния, отношения наблюдавшейся продолжительности солнечного сияния к максимально возможной и число дней без солнца.

Значительные отклонения наблюдаются в основном в теплый период по северным станциям исследуемой территории для зоны южной тайги, летом по югу лесостепной зоны и связаны с изменчивостью циркуляционных процессов и условиями образования облачности. Так, среднее квадратичное отклонение отношения наблюдавшейся продолжительности солнечного сияния к максимально возможной на граничных станциях лесостепной зоны в апреле доходит до 14%.

Температурный фон на юге Западной Сибири в последние десятилетия претерпел заметную трансформацию. Отмечается хо-

рошо выраженная, устойчивая тенденция потепления с 1960-х гг. Среднегодовая температура испытывает четко выраженный положительный тренд (рис. 3). Например, по станции Барабинск (центральная лесостепь) амплитуда среднегодовой температуры составляет от –2,3 °С (1954 г.) до 2,7 °С (1995 г.) при среднем значении 1,2 °С. Последние 12 лет среднегодовая температура почти ежегодно превышала 1 °С. Согласно полученным оценкам, на всей территории отмечался рост температуры со средней скоростью 0,34 °С за 10 лет. Для обширной равнинной территории полученные значения повышения средней температуры за период 1991–2015 гг. колеблются от 0,92 до 0,68 °С. Наиболее интенсивное потепление отмечается в северных районах исследуемой части Западной Сибири (южная тайга) и районах юго-востока (смешанные леса). В результате анализа также было выявлено повышение нижнего и верхнего пределов многолетней изменчивости внутригодового хода температуры. Значительный вклад в тенденцию повышения среднегодовой температуры вносят февраль, март, апрель, октябрь, а остальные месяцы имеют либо очень небольшую положительную аномалию, либо отрицательную.

В контексте формирования быстропротекающих геоморфологических процессов существенен положительный тренд апреля. Апрель – период особой неустойчивости температурного режима, когда интенсивность стока талых вод может многократно увеличить эрозионную опасность, плоскостной смыв, развитие оползневых процессов.

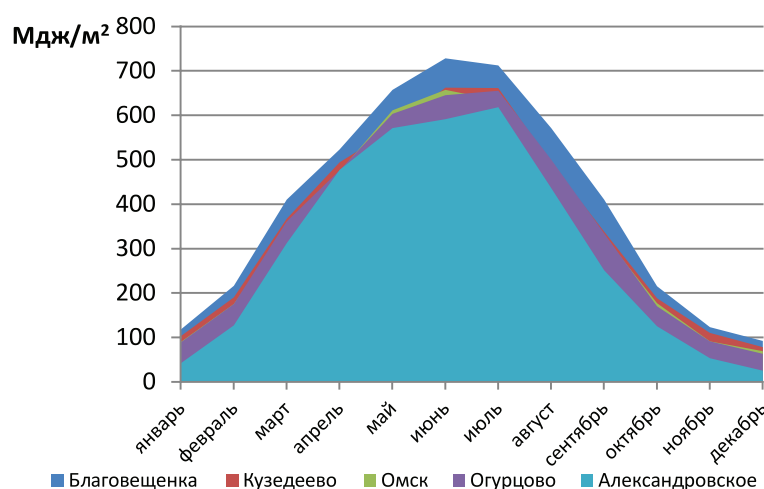


Рис. 1. Годовой ход суммарной радиации на метеостанциях юга Западной Сибири (1961–1990 гг.)

Другим существенным компонентом, характеризующим трансформацию климатического режима, являются атмосферные осадки. Они способствуют и общему увлажнению всей территории, и обеспечивают как поверхностный, так и подземный сток. Анализ временной изменчивости количества осадков показал, что в целом для зоны южной тайги Западной Сибири основной тенденцией является увеличение количества осадков. Причем величина роста среднегодового количества осадков в 2,5 раза превышает уровень снижения количества осадков, хотя обе величины незначительны и в абсолютном выражении не превышают 2,8 мм за период 1991–2015 гг. Тенденция роста сумм осадков

наиболее ярко выражена в центральных и восточных районах южной тайги. Следует отметить, что для большинства этих территорий в последнее время отмечаются зональные активизации опасных экзогенных процессов: береговая, овражная эрозии, оползни и т.д. Другим важным результатом анализа изменчивости количества осадков является выявление факта снижения этого показателя для западных районов исследуемой части южной тайги. В условиях роста среднегодовых температур, особенно при потеплении самой холодной части зимы, снижение количества осадков создает предпосылки для деградации многолетней, реликтовой мерзлоты и для активизации термокарстовых явлений.

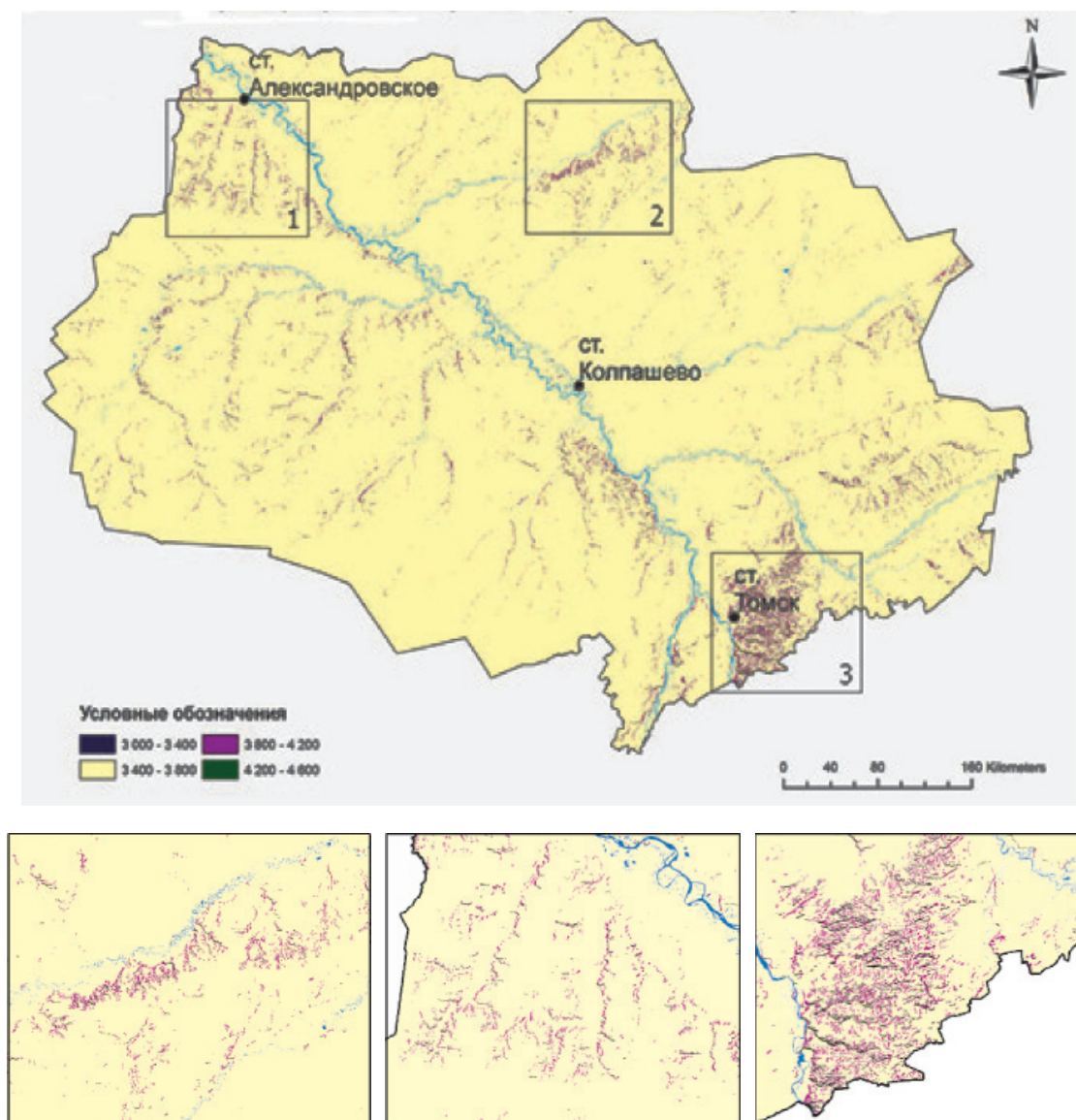


Рис. 2. Суммарная солнечная радиация, поступающая на наклонные поверхности, МДж/м²/год (Томская область)

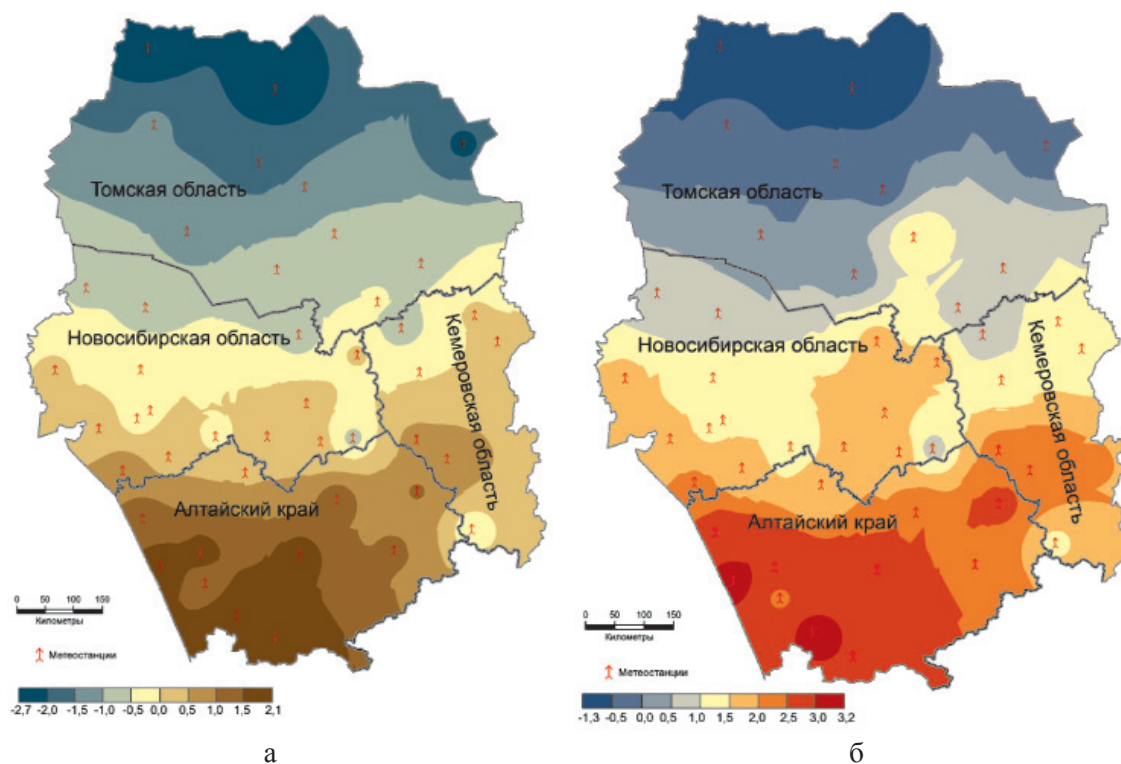


Рис. 3. Распределение среднегодовой температуры по территории южной части Западной Сибири: а – период 1961–1991 гг.; б – период 1991–2015 гг.

Основной тенденцией в изменении количества осадков лесостепной зоны юга Западной Сибири с 1960-х годов является их уменьшение за год и теплый сезон (рис. 4). Осадки же за холодный период, наоборот, демонстрируют незначительное увеличение. Сочетание теплых состояний холодного сезона с обильными осадками зимой и недостатком влаги летом ведет к интенсификации влагооборота, уменьшению влагосодержания почвогрунтов и, как следствие, благоприятствует развитию эоловых процессов. Заметим, что подобные ситуации из-за особенностей внутригодового распределения осадков и увеличения

весеннего дефляционно опасного периода периодически возникают не только в лесостепи, но и в некоторых районах южной тайги, и в зоне смешанных лесов Западной Сибири. Все это, учитывая скорости развития эоловых процессов, может существенно осложнять хозяйственную деятельность.

Анализ ветрового режима показал, что на территории южной тайги наибольшую повторяемость имеют ветры южного и юго-западного направления. В годовом ходе четко прослеживается увеличение северных ветров на границе южной тайги и зоны смешанных лесов с мая по август. Однако доминирующее направление ветров

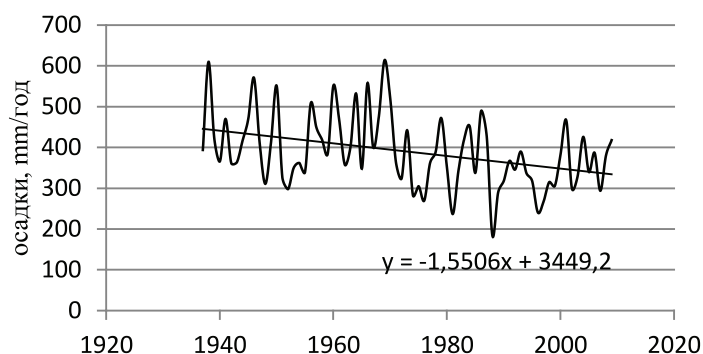


Рис. 4. Временная динамика и тренд годового количества осадков для ст. Омск (южная лесостепь)

в летние месяцы сложно выделить. Так, например, вероятность в период июнь – август северного и северо-западного направления составляет 29–30 % для южной тайги и 20–22 % для смешанных лесов.

Годовой ход скорости ветра на всей территории юга Западной Сибири четко дифференцирован. Наибольшие скорости ветра наблюдаются в сезон весна-осень. Среднегодовые скорости изменяются от 4,3 до 2,1 м/с. Различие в полях скоростей за дневной и ночной сроки выражено только для теплого периода. Весной дневные скорости ветра больше ночных в среднем на 1,5 м/с. Проведенный анализ показал, что в регионе преобладают ветра со скоростями от 1–2 до 5–6 м/с, которые составляют в среднем 85 % всех возможных скоростей ветра в год. Скорости ветра 10–12 м/с для южной тайги наблюдаются довольно редко, повторяемость их составляет не более 7 %. Однако для центральной части лесостепной зоны такие скорости не исключительное событие, например по ст. Барабинск количество дней с ветром выше 8 м/с составляет в среднем 157. Наибольшее число дней с сильным ветром наблюдается в мае, когда усиливается циклоническая деятельность. Количество выпадающих осадков тогда несколько возрастает, что, однако, не дает стойкого увеличения относительной влажности: май, июнь – самые сухие месяцы года. Если учитывать, что пороговые эрозионные значения скорости ветра для почв юга Западной Сибири составляют от 3–4 до 9–12 м/с, а наибольшая повторяемость случаев с эрозионно опасными ветрами приходится на весну и осень, то степень опасности ветровой эрозии на большей части исследуемой территории характеризуется как повышенная.

Заключение

Для каждой природно-климатической зоны характерны свои сочетания тепла и влаги и, соответственно, свой комплекс геоморфологических процессов. Для оцен-

ки климатообусловленности, интенсивности и направленности геоморфологических процессов, формирующих современный рельеф, следует анализировать не только особенности пространственного и временного распределения энергии солнца, температуры, осадков и ветра в конкретном месте, но и совокупную динамику комплексов климатических параметров. По результатам проведенного исследования установлено, что юг Западной Сибири имеет разнонаправленные тренды основных климатических показателей, а их пространственная дифференциация предопределяет сложное взаимодействие зональных экзогенных процессов с аazonальными. Выполненное районирование исследуемой территории позволило дифференцировать территорию по особенностям радиационного, термического, ветрового режима и осадков; их пространственное распределение в различные периоды года имеет существенное значение при оценке закономерности распространения и динамики современных геоморфологических процессов. Колебания термического и влажностного режимов контролируют спектр геоморфологических процессов, динамику, уровень интенсивности, дальность действия. Выявление степени согласованности хода геоморфологических процессов с климатическими аномалиями позволит прогнозировать вероятность формирования опасных геоморфологических ситуаций.

Список литературы

1. Аверкиев М.С. Освещенность различно ориентированных поверхностей рассеянным светом атмосферы по наблюдениям в Москве // Вестник МГУ, сер. физ.-мат. и ест. наук. – М.: Изд-во МГУ, 1950. – С. 163–170.
2. Айзенштат Б.А. Метод расчета составляющих радиационного баланса горной долины // Труды Сред. аз. НИГМИ. – 1964. – № 18. – С. 3–47.
3. Евсеева Н.С. Рельефообразование в лесоболотной зоне Западно-Сибирской равнины / Н.С. Евсеева, А.А. Земцов. – Томск: Изд-во ТГУ, 1990. – 242 с.
4. Кондратьев К.Я. Актинометрия. – Л.: Гидрометеоздат, 1965. – 690 с.
5. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. – Л., 1968. – 323 с.

УДК 911.9:556

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ УЯЗВИМОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ И ХОЗЯЙСТВА РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА Р. УРАЛ ОТ НАВОДНЕНИЙ

Падалко Ю.А.*Институт степи Уральского отделения Российской академии наук,
Оренбург, e-mail: yapadalko@gmail.com*

В мире по частоте неблагоприятных природных явлений приносящих большой материальный ущерб для населения лидерами являются наводнения. В бассейне р. Урал наводнения часто связаны с прохождением весеннего половодья. Ежегодно в зоне затопления могут оказаться около 200 населенных пунктов. В статье представлена оценка социально-экономической уязвимости населения и хозяйства от наводнений. Составлена база данных социально-экономических показателей муниципальных образований и возможности затопления населенных пунктов по трём субъектам РФ: Оренбургская область, Челябинская область и Республика Башкортостан. Разработана методика исследования социально-экономической уязвимости населения и хозяйства от наводнений обусловленных весенним половодьем в природных условиях российской части бассейна р. Урал. Проведено ранжирование муниципальных образований бассейна р. Урал по подверженности и уязвимости населения и хозяйства от наводнений. Составлены картосхемы распределения населения и ранжирования территории по социально-экономической уязвимости населения и хозяйства от наводнений в бассейне р. Урал.

Ключевые слова: бассейн реки Урал, наводнения, социально-экономическая уязвимость населения и хозяйства

SOCIO-ECONOMIC VULNERABILITY OF POPULATIONS AND ECONOMY AGAINST FLOOD IN REGIONS OF THE RUSSIAN PART OF THE BASIN OF THE URAL RIVER

Padalko Yu.A.*Institute of Steppe of the Ural branch of the RAS, Orenburg, e-mail: yapadalko@gmail.com*

In the world in the frequency of adverse natural events producing great material damage for the population are flooding. In the Ural river basin floods are often associated with spring flooding. Every year in the flood zone may be about 200 settlements. The article presents the evaluation of socio-economic vulnerability of population and economy against floods. A database of socio-economic indicators of municipalities and the possibility of flooding of settlements in the three RF subjects: the Orenburg region, Chelyabinsk region and Republic of Bashkortostan. The methodology of socio-economic vulnerability of population and economy from floods caused by the spring flood, in the natural conditions of the Russian part of the basin of the Ural river. The ranking of the municipalities of the Ural river basin in the exposure and vulnerability of population and economy against floods. Compiled maps of population distribution and ranking of areas by socio-economic vulnerability of population and economy from floods in the basin of the Ural river.

Keywords: the Ural river basin, flood, socio-economic vulnerability of population and economy

Понятие наводнение связано с негативным действием вод на селитебные объекты и инфраструктуру. Формирование природных наводнений основано на явлениях в гидрологическом режиме рек, вызванных периодически наблюдаемыми весенним половодьем и дождевыми паводками. Естественные гидрологические явления на реках, происходящие на заселенных территориях, могут оказывать неблагоприятное воздействие, принося значительный ущерб населению и хозяйству. Величина последствий наводнения для населения и хозяйства зависит не только от природных факторов, но от социально-экономического уровня развития территории.

Среди крупных рек Европейской части России р. Урал выделяется характери-

стиками гидрологического режима. У реки наблюдаются значительные колебания среднегодового стока и расхода воды в течение года [1]. Такой режим реки обусловлен географическим положением речного бассейна. Водосбор реки Урал охватывает горно-лесные, лесостепные и степные ландшафты с различными природно-климатическими условиями. В горнолесных ландшафтах на весеннее половодье приходится 60–70 % годового стока. В степной зоне водосбора – до 70–85 %, а на юге степной зоны – 85–100 %. В результате такой неравномерности стока на реках в бассейне р. Урала наводнения наиболее часто случаются вовремя прохождения весеннего половодья, что подтверждается многолетними гидрологическими наблюдениями [1, 3].

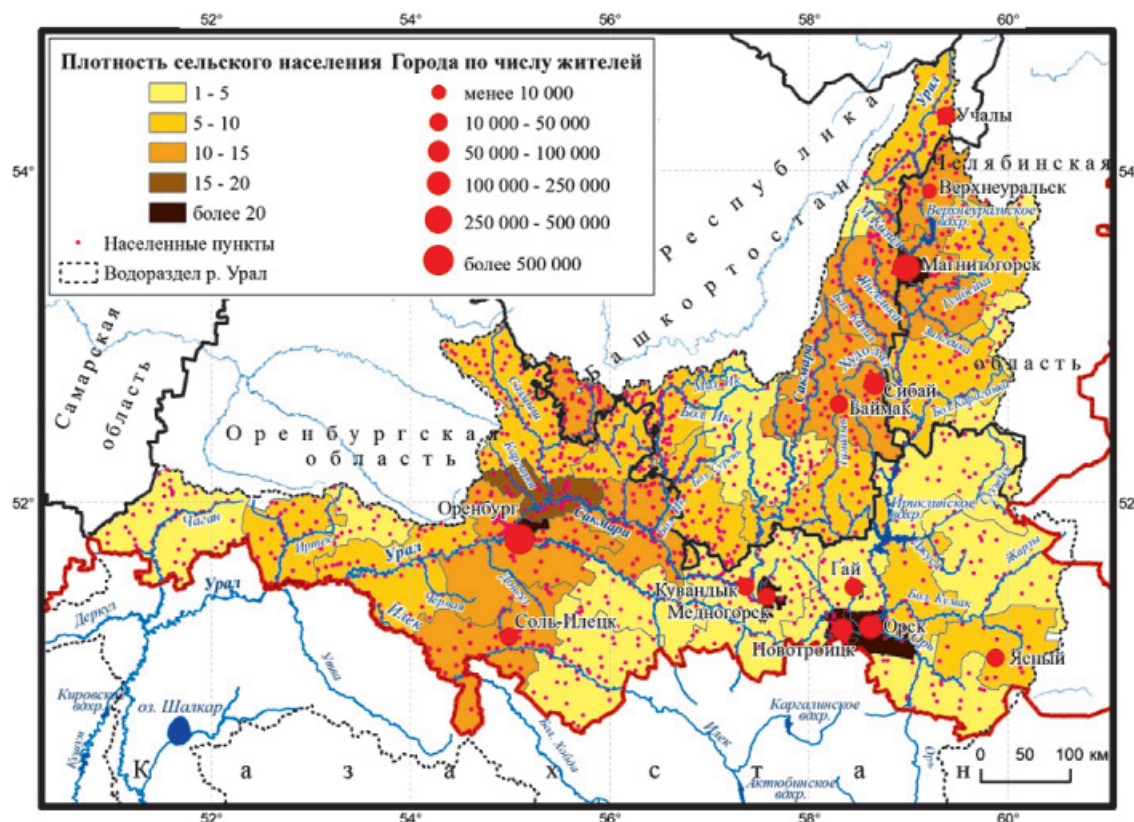


Рис. 1. Распределение населения в российской части бассейна р. Урал

Бассейн р. Урал частично расположен на территории трёх субъектов Российской Федерации. Значительная индустриальная и селитебная освоенность на территории бассейна имеет дальнейшие перспективы социально-экономического развития и более глубокой международной интеграции. В настоящее время на территории бассейна проживает 2,3 млн человек, более половины сосредоточены в крупных городах – Оренбург, Магнитогорск, Орск, Новотроицк, Сибай, Учалы, Гай, Медногорск, Кувандык и других (рис. 1).

В городах сконцентрировано основное промышленное производство: черной металлургии и цветной металлургии, машиностроение, топливная промышленность, энергетика [5]. На территории бассейна освоена добыча рудных в горной области Южного Урала (восточная часть бассейна) и углеводородов на окраине Восточно-Европейской равнины (западная часть бассейна).

Материалы и методы исследования

В исследовании социально-экономической уязвимости населения и хозяйства регионов бассейна р. Урал применялся бассейно-административный подход. С этой целью территория исследования была

ограничена водоразделом р. Урал и государственной границей Российской Федерации. Пространство внутри бассейна р. Урал для районирования пространства было принято согласно административно-территориальному делению на местном уровне (муниципальные районы и городские округа).

Для проведения оценки социально-экономической уязвимости в первую очередь включался набор параметров, характеризующих ретроспективно подверженность населения и хозяйства наводнениям. С этой целью потребовалось собрать и проанализировать сведения о случаях затопления селитебных территорий (населенных пунктов), количестве населения в зоне затопления, инфраструктурных и хозяйственных объектов за последние пятнадцать лет. Данные предоставлены Территориальным центром мониторинга и прогнозирования ЧС по Оренбургской области, ГУ МЧС по Оренбургской области, ГУ МЧС по Челябинской области и информационных ресурсов ГУ МЧС России.

Показатели, характеризующие социальную восприимчивость, хозяйственное развитие и социально-экономические индикаторы, выбирались на основе экспертных оценок и возможности использования имеющейся статистических данных по муниципальным районам и городским округам [4] (табл. 1).

При расчете суммарного индекса часто включаются разнородные показатели с несопоставимостью единиц их измерения. Так, для оценки оптимального функционирования малой реки необходимо сравнение гидрографических и социально-экономических характера показателей водосборов. Поэтому для подобных расчетов большое значение приобретают

непараметрические методы исследования, которые позволяют работать с разнородными данными и сглаживать ошибки в статистическом материале.

В методе «Паттерн» многомерной непараметрической оценки первоначально ранжируются все районы и городские округа по каждому показателю. Первые места приходятся на большие значения. После вычисления по всем показателям и приведенных (нормированных) к наилучшим значениям, переходят на среднюю арифметическую оценку значений по группам индикаторов.

Алгоритм оценки и ранжирования социально-экономической уязвимости населения и хозяйства включает следующие этапы:

1. Выбор единиц административного районирования и количественных показателей.
2. Составление базы данных по социально-экономическим характеристикам административных районов и городских округов.
3. Устанавливаются наилучшие значения по каждой характеристике ключевых водосборов, затем все показатели приводятся к этим значениям:

$$S = P_i / P_{i \max}$$

где P_i – значение показателей района или округа, $t = 1, \dots, n$ – номера показателей, $i = 1, \dots, n$ – номера района или округа.

4. Для каждого района на базе полученных показателей устанавливается значение комплексного показателя исследуемых социально-экономических индикаторов. характеристик.

5. Полученные комплексные величины могут быть представлены в виде интегрированного показателя по каждому муниципальному образованию и городскому округу.

Результаты исследования и их обсуждение

На территории бассейна р. Урал имеются риски для населения и хозяйства, связанные с многоводьем, обусловленным весенним половодьем, дождевыми

паводками в горной и предгорной части региона. Дождевые паводки редко формируют экстремальные водно-экологические ситуации в горной части бассейна р. Урал. Но при совпадении с дружным снеготаянием могут оказать негативное влияние в прохождение весеннего половодья, а в летний период привести к аварийным сбросам на гидроузлах.

Большая часть подверженных угрозе затопления населенных пунктов расположена на средних и малых притоках р. Урал. В основном это степные водотоки верхнего и среднего течения реки, в которых большая часть стока приходится на весенний период года. В российской части бассейна р. Урал около 200 населённых пунктов, в том числе 4 крупных города (Верхнеуральск, Магнитогорск, Орск, Оренбург), подвержены опасности затопления и подтопления. Общая ориентировочная численность населения, проживающая и попадающая в зону затопления (подтопления), составляет свыше 20 тыс. человек (табл. 2).

Хронология наводнений в бассейне реки Урал:

1942 – Катастрофическое наводнение на р. Урал, затоплена значительная часть г. Орска в том числе жилые и промышленные объекты.

1957 – Подтопление населённых пунктов в бассейне р. Урал вследствие дружного и резкого снеготаяния.

1970, 1981, 1983, 1985 – Высокие уровни на реках в бассейне р. Урал. Данных о пострадавших и нанесённом ущербе нет.

Таблица 1

Компоненты и показатели социально-экономической уязвимости населения и хозяйства

Группа индикаторов	Показатели
Социальная восприимчивость	Число лиц, проживающих в ветхих и аварийных жилых домах
	Численность граждан, пользующихся социальной поддержкой по оплате жилого помещения и коммунальных услуг
	Численность лиц, обслуженных отделениями социального обслуживания на дому граждан пожилого возраста и инвалидов
Хозяйственное развитие	Общая численность трудоспособного населения
	Отгружено товаров собственного производства
	Инвестиции в основной капитал
Социально-экономические индикаторы	Плотность населения
	Уровень безработицы
	Средняя месячная заработная плата
Подверженность опасности (риска) наводнений	Количество населенных пунктов
	Доля населенных пунктов в зоне затопления
	Количество жилых домов в зоне затопления
	Численность населения в зоне затопления

Таблица 2

Подверженность населенных пунктов регионов бассейна
р. Урал риску затопления (подтопления)

Регион	Количество населенных пунктов подверженных угрозе затопления (подтопления)	Общая ориентировочная численность населения в зоне затопления (подтопления), тыс. чел.
Российская Федерация		
Республика Башкортостан	63	1,5
Оренбургская область	92	14,8
Челябинская область	15	5,6/12,5*

Примечание. *с учетом аварий на ГТС. По данным [2, 3].

1993–1994 – Интенсивный рост уровня воды на р. Урал и её притоках начался в результате дружного снеготаяния. Во время прохождения пика половодья отмечалось значительное затопление поймы и прибрежных населенных пунктов.

1998 – В пригороде Оренбурга затоплены 106 домов во время наводнения. В Орске (Старом городе) было затоплено 513 домов.

2000 – В апреле на р. Урал из-за дружного снеготаяния были резко увеличены сбросы воды из Ириклинского водохранилища, что привело к подтоплению городов Орск и Оренбург.

2011 – В Оренбургской области был объявлен режим ЧС, связанный с паводком на реках. В результате половодья были подтоплены жилые дома в 24 из 35 районов области, площадь подтопления (затопления) составила 79,18 км² [1].

Среди регионов российской части бассейна наибольшие негативные последствия от наводнений приходятся на Оренбургскую область. Для рек Оренбургской области характерна высокая повторяемость затопления пойменных территорий. Максимальные уровни весеннего половодья являются экстремальными для равнинных рек с широкой поймой. Высокая повторяемость затопления поймы и наличие частых заторов на реках создаёт угрозу близко расположенным населённым пунктам. В результате прохождения половодья в Оренбургской области практически ежегодно подвергаются частичному затоплению (подтоплению) селитебные территории и временно нарушается транспортное сообщение районных центров с десятками населенных пунктов. Наиболее часто наносится косвенный ущерб, связанный с затоплением дорог и низководных мостов. Эти явления приводят к нарушению сообщения между некоторыми населёнными пунктами области с районными центрами, увеличению расходов на ремонт зданий и инфраструктурных объектов, приостановке работы предприятий или сокращению мощностей из-за затруднения использования хозяйственных объектов в зоне затопления.

При экстремальных условиях прохождения весеннего половодья на реках Урал, Большой Ик, Большой Кизил, Большой Сурень и притоках в зоне затопления могут оказаться около 1500 человек в 4 районах Республики Башкортостан. Неоднократно в зону затопления попадают дороги местного значения и мосты. Возможно подтопление населенных пунктов, дорог и мостов в поймах рек Большой Ик, Салмыш, Сакмара, Зилаир, Таналык, Миндяк и их притоков. В целом территория бассейна р. Урал в пределах Республики Башкортостан относится к умеренно опасным и малоопасным районам в отношении развития наводнений [3].

Основной причиной наводнений в Челябинской области являются разливы рек в период весеннего снеготаяния из-за активного таяния снежного покрова и больших запасов воды в снеге. Существенную роль в формировании наводнений играют заторы льда на отдельных участках рек и связанный с заторами резкий подъем уровня воды. В отдельные годы ущерб от наводнений, вызванных заторными явлениями, достигает значительных величин. В зону паводкового затопления попадает г. Магнитогорск, особенно усложняется ситуация при прорыве плотины Верхнеуральского водохранилища, когда время подхода волны составляет 4 часа. Общая площадь затопления может составлять 20 км². Также в зону затопления периодически могут попадать населенные пункты Нагайбакского, Агаповского, Кизильского районов, расположенные в Бассейнах рек Урал, Б. Караганка, Худолаз, Гумбейка, Кызыл-Чилик и их притоков [2].

По результатам проведенной оценки социально-экономической уязвимости населения хозяйства от наводнений получен обобщающий индекс по каждому муниципальному образованию и городскому округу в бассейне р. Урал. Основываясь на проведенном исследовании, нами были выделены четыре группы по значению индекса уязвимости: низкий, средний, высокий и очень высокий. На основе выделенных групп построена картосхема (рис. 2).

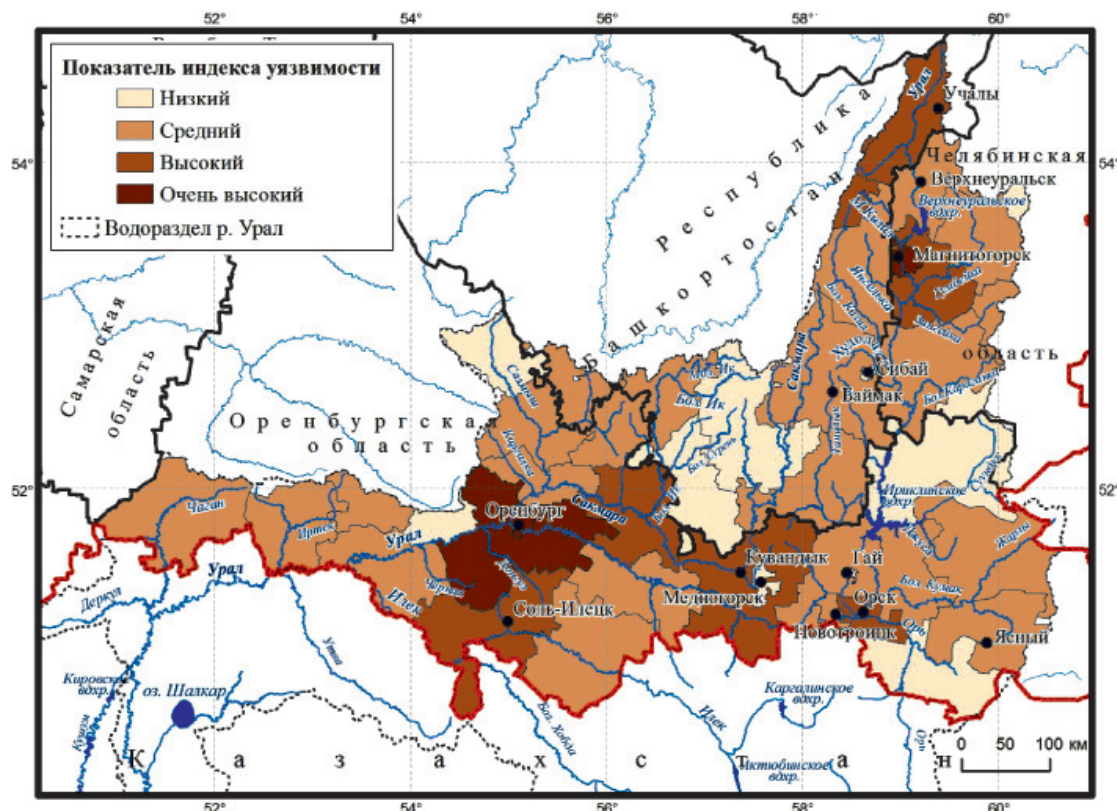


Рис. 2. Социально-экономическая уязвимость населения и хозяйства от наводнений в бассейне р. Урал

К группе с низким индексом относятся районы, расположенные в верховьях притоков р. Урал. Риски для населения и хозяйства здесь снижены из-за низкой плотности населения и хозяйственной освоенности. К группе со средним показателем можно отнести большую часть муниципальных районов и городских округов в бассейне р. Урал. В этой группе существует опасность развития чрезвычайных ситуаций, связанных с затоплением населённых пунктов. Высокий индекс уязвимости характерен для городских округов и муниципальных образований, имеющих значительную освоенность территории и плотность населения. Очень высоким индексом уязвимости населения и хозяйства обладают высоко развитые промышленные центры в бассейне р. Урал. Значительному ущербу от наводнений могут быть подвержены крупные города и районы с высокой плотностью населения.

Закключение

Расположение селитебных территорий в пойменных зонах делает уязвимой без опасность населения и хозяйства в период весеннего половодья. Защита от экстремальных водно-экологических ситуаций, связанных с половодьем с помощью дополнительного регулирования и строительства дамб, увеличивает риск природно-техногенных наводнений и создаёт угрозу затопления ниже расположенным территориям. В целом по

Оренбургской области, Челябинской области и Республике Башкортостан весеннее половодье часто наносит ущерб инфраструктурным объектам регионов и населённым пунктам. В целях предотвращения негативного воздействия вод на населённые пункты необходимо введение особых условий использования территорий подпадающих в зону затопления (подтопления).

Работа выполнена в рамках бюджетной темы «Изучение историко-географических и социально-экономических аспектов освоения и развития степного пространства России и Евразии».

Список литературы

1. Сивохиц Ж.Т., Падалко Ю.А. Географо-гидрологические факторы опасных гидрологических явлений в бассейне реки Урал // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2014. – № 6. – С. 53–61.
2. Чибилёв А.А., Падалко Ю.А., Водно-экологическая безопасность окружающей среды в трансграничном бассейне реки Урал // Проблемы безопасности окружающей среды: сборник статей / НАН РА Центр эколого-ноосферных исследований; отв. ред.: А.К. Сагателян. – Ереван: Изд-во «Гитутюн» НАН РА, 2016. – С. 244–251.
3. Схемы комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Урал (Российская часть). – Екатеринбург: ФГУП РосНИИВХ, 2010.
4. База данных показателей муниципальных образований. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] // Единый Интернет-портал Росстата URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/databases/ (дата обращения: 15.09.2016).
5. Чибилёв А.А. (мл.), Семёнов Е.А., Григорьевский Д.В. Проблемы и специфика сельского расселения в Оренбургской области // Вестник ВГУ. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2016. – № 1. – С. 34–38.

УДК 622.038

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ ОТЛОЖЕНИЙ ТЮМЕНСКОЙ СВИТЫ
НА ТЕРРИТОРИИ ХМАО-ЮГРЫ****¹Севастьянов А.А., ¹Коровин К.В., ¹Зотова О.П., ²Зубарев Д.И.**¹ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: zotovaop@tsogu.ru;²ООО «Научно-исследовательский инновационный центр нефтегазовых технологий»,
Тюмень, e-mail: contact@ogtcentre.ru

В работе проведен анализ геологических особенностей строения тюменской свиты, представлены условия осадконакопления среднеюрских отложений на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Приведена характеристика коллекторов основной продуктивной части горизонта ЮС2. Выявлены геолого-физические факторы, оказывающие влияние на технологические решения по выработке запасов. Представлены результаты анализа эффективности применения скважин с горизонтальным окончанием и проведение гидроразрыва пласта. Описаны причины низкой эффективности применения основного метода воздействия на пласт – заводнения – по причине проявления «ручейковой фильтрации». Проведена вероятностно-статистическая оценка распределения основных подсчетных параметров для среднеюрских отложений. Охарактеризован портрет прогнозируемой залежи при вероятности ее открытия. Выполнен прогноз уровней добычи нефти по разрабатываемым и не введенным в эксплуатацию объектам на территории ХМАО-Югры.

Ключевые слова: среднеюрские отложения, тюменская свита, трудноизвлекаемые запасы, прогноз добычи нефти, МГРП, ГС

**PROSPECTS OF DEVELOPMENT TYUMEN SUITE DEPOSITS
IN THE TERRITORY OF KHMAO-YUGRA****¹Sevastyanov A.A., ¹Korovin K.V., ¹Zotova O.P., ²Zubarev D.I.**¹Federal Budget Educational Institution of Higher Education «Tyumen Industrial University»,
Tyumen, e-mail: zotovaop@tsogu.ru;²ООО «Research Innovation Center Petroleum Technology», Tyumen, e-mail: contact@ogtcentre.ru

The analysis of the geological characteristics of the structure of the Tyumen Formation, presented depositional environments of Middle Jurassic deposits in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra. The characteristic of the collectors of the main productive horizon YUS2. Identified geological and physical factors that influence the development of technological solutions for stocks. The results of the analysis of the efficiency of wells with horizontal completion and conduct fracturing. The causes of low efficiency of use of the basic method of stimulation – flooding – due to manifestations of «crevice filtering». Spend a probabilistic-statistical evaluation of the distribution of the basic calculation parameters for the Middle Jurassic. Described portrait predicted probability of deposits at its opening. Made forecast oil production levels using the developed and placed in service on the territory of Khanty-Ugra.

Keywords: Middle Jurassic, Tyumen suite, oil production forecast, MGRP, GW, hard to recover reserves

Ханты-Мансийский автономный округ – Югра на настоящий момент является основным нефтедобывающим регионом Российской Федерации, вклад в общую добычу по стране в 2015 году составил порядка 47%. Начиная с 2008 года в Югре отмечается снижение уровней добычи нефти – на 2–2,5% в год. В связи с этим государство совместно с нефтяными компаниями формируют и реализуют стратегии, направленные на стабилизацию уровней добычи нефти путем вовлечения в активную разработку месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. Одним из инструментов стимулирования является предоставление льгот компаниям, разрабатывающим месторождения с низкой проницаемостью, залежи, приуроченные к баженовской и тюменской свитам.

В настоящей работе авторы поставили перед собой задачу проведения оценки добычного потенциала тюменской свиты для анализа перспектив развития нефтедобывающей отрасли в регионе.

Тюменская свита, которая обладает существенной долей запасов нефти на территории ХМАО-Югры, приурочена к юрским отложениям. Всего из объектов средней юры с начала разработки добыто 388,9 млн т, из которых 22,1 млн т – в 2015 году. Более 90% годовой и накопленной добычи обеспечено за счет 22 объектов по таким месторождениям, как Восточно-Сургутское, Западно-Сургутское, Русскинское, Федоровское, Талинская площадь Красноленинского месторождения [15].

В стратиграфических региональных схемах тюменская свита (средняя юра) подразделяется на нижнюю, среднюю и верхнюю подсвиты.

Формирование среднеюрских отложений происходило в условиях континентального и переходного режима седиментации за счет заполнения впадин осадками и размыва древних выступов, что приводило к выравниванию палеорельефа [3–5, 13, 14].

В конце средней юры континентальный режим сменился нормально морским. Смена происходила достаточно быстро, наступающее море срезало накопившиеся пласты и, вторично перерабатывая, сформировало пласт Ю₂ [8].

Нижняя подсвита представлена переслаиванием песчаников, гравелитов, алевролитов, глин, углей и углистых аргиллитов. В составе подсвиты выделяют пласты Ю₇₋₉. В направлении повышенных участков палеорельефа породы подсвиты выклиниваются. Возраст подсвиты ааленский.

Средняя подсвита представлена неравномерным чередованием аргиллитов, иногда углистых, с песчаниками, алевролитами, карбонатными разностями пород и прослоями углей. В составе подсвиты выделяются пласты Ю₅₋₆.

Верхняя подсвита представлена полимиктовыми песчаниками, чередующимися с алевролитами и аргиллитами. Есть прослои углей, известняков и гравелитов. В составе подсвиты выделяют пласты Ю₂₋₄. Возраст подсвиты батский.

Пласты Ю₂₋₉ характеризуются резкой фациальной изменчивостью и литологической неоднородностью [1].

Коллекторы представлены песчаниками, преимущественно мелкозернистыми, и алевролитами, реже их переходными разностями. Породы-коллекторы неоднородны по структуре, текстуре, количественному содержанию обломочного материала, глинистого и карбонатного цемента, типу цемента, интенсивности постседиментационных преобразований.

Коллекторские свойства определяют количеством глинистого и карбонатного цемента, а также интенсивностью окварцевания и пиритизации. При увеличении карбонатности до 10% значение пористости снижается с 22,4 до 13%, а проницаемости – со 100 до $1 \cdot 10^{-3}$ мкм². При глинистости более 25,0% и карбонатности более 10,0% пористость и проницаемость уменьшаются, появляются трещинки. Вышеприведенные факторы также определяют неравномерность характера смачиваемости водой.

Поровые коллекторы представлены неяснослоистыми песчаниками и алевролитами, не имеющими трещин, а порово-трещинные коллекторы представлены преимущественно тонкослоистыми алевролитами и очень редко песчаниками, трещины располагаются кулисообразно параллельно или субпараллельно слоистости. Трещинки открытые, ширина их составляет сотые доли миллиметра. По происхождению трещинки тектонические, образовались они при разрушении обломочных пород путем отрыва.

Выявлено, что поровые коллекторы содержат светло- и темно-коричневую нефть, а также бесцветную легкую нефть, приуроченную к уплотненным разностям – алевролитам, после раскалывания которого быстро испаряется с поверхности скола [6].

Принимая во внимание различие составов нефти, низкую пористость и проницаемость алевролитов, можем утверждать, что заполнение резервуара происходило при термобарических условиях отличных от современных. Это объясняет текущую величину нефтенасыщенности резервуара, так как определяемые характеристики капиллярных сил в текущих условиях не обеспечивают такого распределения нефти. Имеются примеры залежей средней юры на севере ХМАО-Югры, когда при пластовой температуре 120 °С получают притоки газового конденсата с плотностью 0,787 г/см³ из коллекторов с газонасыщенностью 0,6 д. ед., проницаемостью 0,4–1,1 мД, и пористостью 11,8–13,9%. Причем выше по разрезу на данной территории в средней юре располагаются залежи легкой нефти с плотностью 0,848 г/см³ и высоким газосодержанием 138 нм³/м³.

Тектоническая активность обусловила наличие блокового строения резервуара. Размеры блоков образованных разрывами составляют, порядка 1,2–2,0 км. Дизъюнктивные нарушения, формирующиеся в результате тектонической активности, образуют вокруг себя зоны дробления породы, то есть сеть трещин, оперяющих основную «магистральную». Таким образом, формируется двойная среда, представленная поровыми блоками, вмещающими нефть, и сетью трещин, по которым происходит ее транспортировка.

На ряде эксплуатируемых месторождений Западной Сибири зоны дробления являются зонами с улучшенным добычным потенциалом.

Вышеописанные особенности строения коллекторов средней юры, а именно сочетание порового коллектора с порово-трещинным, являются важным геологическим фактором, который необходимо учитывать при оценке добычного потенциала объекта разработки.

Наиболее эффективными современными технологиями для геолого-физических условий тюменской свиты являются методы воздействия – бурение скважин с горизонтальным окончанием, боковые стволы, гидроразрыв пласта.

В настоящей работе проведен анализ опыта эксплуатации 95-ти горизонтальных скважин на 16-ти месторождениях с объектами тюменской свиты. Входной дебит составляет в среднем 31,3 т/сут, что в 1,49 раза превышает аналогичный показатель по наклонно-направленным скважинам. Дренируемые запасы по скважинам с горизонтальным окончанием также выше, чем по скважинам с обычным профилем (почти в 1,6 раза), и в среднем составляют 52,5 тыс. т/скв (табл. 1).

Следует отметить, что наименьшая эффективность соответствовала условиям с кратно меньшей проницаемостью, более низкими значениями песчаности, нефтенасыщенности, эффективной нефтенасыщенной толщиной пласта.

Показатели применения ГРП обобщены по более чем 1500 скважино-операциям на объектах тюменской свиты и включают МГРП на ГС (табл. 2).

Современный арсенал апробированных технологий, таких как скважины с горизонтальным окончанием с многозонным гидроразрывом пласта (ГС с МГРП), позволяет обеспечить получение высоких входных дебитов, которые существенно снижаются по мере истощения энергетического потенциала залежи. Таким образом, необходимо эффективное восполнение энергетического потенциала в условиях низкопроницаемых коллекторов и трещиноватости.

При использовании воды как агента воздействия проявляется ряд негативных последствий в виде прорыва воды при низком коэффициенте охвата и последующей ее бесполезной циркуляции. Это связано с проявлением в коллекторах «ручейковой фильтрации», когда вода в пласте движется по высокопроницаемым каналам, связывающим нагнетательную скважину с добывающими. Термин «ручейковая фильтрация» предложен профессором Р.И. Медведским. Ручейковое течение в первую очередь формируется в пластах с мелкими и мельчайшими трещинами. Эти трещины осваиваются закачанной водой и, разрываясь по своим кончикам, соединяются друг с другом в сеть каналов, замыкающих между собой пористые блоки [7].

Наиболее эффективными в условиях среднеюрских пластов представляются адаптивные системы разработки, разбуривание ГС с МГРП, ориентированными с учетом поля напряжений, в котором будет формироваться трещинная система [2, 8, 12].

Таблица 1

Сопоставление эффективности эксплуатации скважин с горизонтальным окончанием и ННС на объектах тюменской свиты

Значение	Входные дебиты по нефти, т/сут		Входная обводненность, %		Дренируемые запасы на скважину, тыс. т	
	ГС	ННС	ГС	ННС	ГС	ННС
Среднее	31,3	20,9	24,8	35,9	52,5	33,2
Мин.	4	3,7	2,3	11,2	4,9	16,0
Макс.	112,2	51,2	66,2	90,2	191,1	80,9

Таблица 2

Показатели эффективности ГРП на объектах тюменской свиты

Значение	Средний дебит по нефти, т/сут		Средняя обводненность, %		Прочие средние показатели		
	до	после	до	после	масса проппанта, т	кратность увеличения дебита	дополнительная добыча, тыс. т/операцию
Среднее	4,1	31,7	53,9	44,7	104,6	4,3	5,4
Минимальное	2,4	10,6	8,3	14,0	6,5	2,8	1,4
Максимальное	7,3	127,7	84,1	67,8	633,0	8,1	13,2

Принимая во внимание потенциал современных технологий, введем граничные критерии для учета кондиционных запасов, на которые возможно рассчитывать при планировании развития отрасли и региона. Принятые авторами граничные критерии обусловлены использованием технологий на основе водной репрессии: проницаемость более 2,0 мД, нефтенасыщенность более 0,43 д. ед., эффективная нефтенасыщенная толщина более 3,8 м, пористость более 0,15 д. ед. Данные критерии позволяют выделить объекты, представляющие промышленный интерес, и уйти от манипулирования ресурсным потенциалом. Таким образом, объем извлекаемых запасов оценивается в 800 млн т. При этом из 149 месторождений ХМАО-Югры только на 82 месторождениях объекты тюменской свиты представляют промышленный интерес.

В табл. 3 представлены результаты анализа вероятностно-статистического распре-

ления основных подсчетных параметров для отложений тюменской свиты. Использование метода статистического моделирования Монте-Карло при 50 тысячах реализаций случайных процессов позволило установить образ залежи, добычный потенциал которой оценен по вероятностной шкале, используемой в классификации PRMS [10, 11]. Следует отметить, что при 10 и 50 тысячах реализаций случайных процессов оценка величины извлекаемых запасов изменялись незначительно.

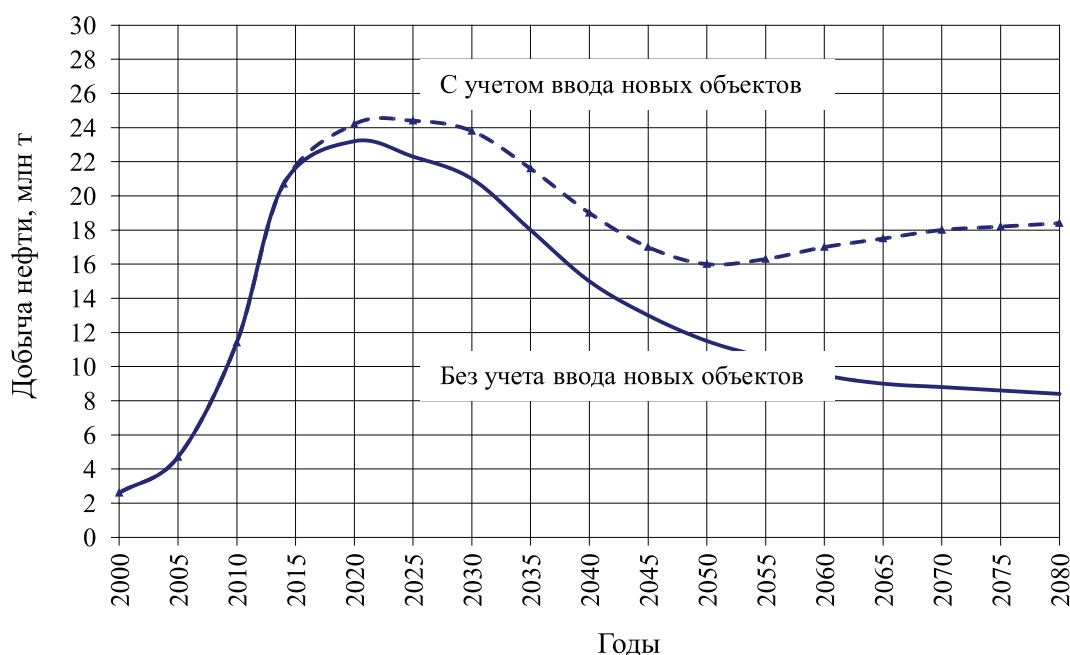
Авторами установлено, что с вероятностью в 90 % величина извлекаемых запасов составит 3,7 млн т, с вероятностью 50 % – 18,4 млн т.

На основе изложенных представлений о геологическом строении, существующем арсенале технологий, авторами выполнен прогноз уровней добычи нефти по разрабатываемым и еще не введенным в эксплуатацию объектам, с учетом представленных выше способов их разработки (рисунок).

Таблица 3

Вероятностная оценка распределения извлекаемых запасов нефти и основных параметров залежи

Параметр	Нефтенасыщенная толщина, м	Открытая пористость, д. ед.	Начальная нефтенасыщенность, д. ед.	Пересчетный коэффициент, д. ед.	Плотность нефти, г/см ³	КИН, д. ед.	Оценка извлекаемых запасов вероятной залежи, млн т
P 10	7,2	0,184	0,600	0,908	0,892	0,344	32,9
P 50	6,6	0,179	0,589	0,879	0,844	0,325	18,4
P 90	5,9	0,168	0,553	0,841	0,840	0,234	3,7



Прогноз уровней добычи нефти по объектам среднеюрских отложений, млн т

По результатам оценки можно отметить, что при дальнейшей разработке среднеюрских отложений современными технологиями к 2020 г. уровень добычи может составить порядка 23,0 млн т с последующим снижением. Прогноз добычи нефти с учетом ввода новых объектов на перспективу до 2030 года оценивается на уровне 24 млн т, обеспечивая стабилизацию добычи дополнительно на 10 лет. С 2030 года прогнозируется снижение добычи нефти до уровня 16–18 млн т, следовательно, потенциал тюменской свиты и современных технологий не сможет обеспечить стабилизацию уровней добычи нефти по региону.

Список литературы

1. Атлас «Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа» / сост. и подгот. к изд. ГП ХМАО «Научно-Аналитический центр рационального недропользования им. В.И. Шпилемана». – 2003.
2. Зотова О.П., Севастьянов А.А. Перспективы разработки трудноизвлекаемых запасов нефти // Нефть и газ Западной Сибири: материалы Междунар. науч.-тех. конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Косухина Анатолия Николаевича // ТюмГНГУ; ред. П.В. Евтин. – Тюмень, 2015. – С. 69–71.
3. Конторович А.Э., Андрусевич В.Е., Афанасьев С.А. Геология и условия формирования гигантской Талинской зоны газонефтенакопления в континентальных отложениях нижней юры // Геология и геофизика. – 1995. – № 6. – С. 5–28.
4. Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К. и др. Геология нефти и газа Западной Сибири. – М.: Недра, 1975. – 680 с.
5. Конторович А.Э., Стасова О.Ф., Фомичев А.С. Нефти базальных горизонтов осадочного чехла Западно-Сибирской // Геология нефтегазоносных районов Сибири: тр. СНИИГГиМСа. – Новосибирск. – 1964. – Вып. 32. – С. 27–32.
6. Коровин К.В. Прогнозирование выработки запасов нефти из коллекторов с двойной средой: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.17; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2007. – 141 с.
7. Медведский Р.И., Севастьянов А.А., Коровин К.В. Прогнозирование выработки запасов из пластов с двойной средой // Вестник недропользователя Ханты-Мансийского автономного округа. – 2005. – № 15. – С. 49–53.
8. Медведский Р.И., Севастьянов А.А. Оценка извлекаемых запасов нефти и прогноз уровней добычи по промышленным данным. – СПб.: Недра, 2004. – 192 с.
9. Севастьянов А.А., Карнаухов К.Н., Коровин К.В. Обоснование технологических решений для повышения эффективности выработки запасов нефти // Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании: сб. материалов II Международной науч.-тех. конференции // ТюмГНГУ. – Тюмень, 2006. – С. 178–182.
10. Севастьянов А.А., Коровин К.В., Зотова О.П. Оценка кондиционности запасов ачимовских отложений на территории ХМАО-Югры // Академический журнал Западной Сибири. – 2016. – Т. 11. – № 1. – С. 36–39.
11. Севастьянов А.А., Коровин К.В., Зотова О.П., Зубарев Д.И. Особенности строения и оценка потенциала ачимовских отложений на территории ХМАО-Югры // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 8. – С. 195–199.
12. Севастьянов А.А., Коровин К.В., Карнаухов А.Н. Выявление особенностей механизма выработки запасов нефти по месторождениям Ханты-Мансийского автономного округа // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2007. – № 3. – С. 32–38.
13. Сурков В.С., Гурари Ф.Г., Смирнов Л.В. и др. Нижне-среднеюрские отложения Западно-Сибирской плиты, особенности их строения и нефтегазоносность // Теоретические региональные проблемы геологии нефти и газа. – Новосибирск, 1991. – С. 101–110.
14. Технологическая схема разработки Омбинского месторождения ОАО «Юганскнефтегаз».
15. Шпилеман А.В., Коровин К.В., Савранская М.П. Перспективы освоения ТРИЗ В ХМАО-ЮГРЕ // сб. НЕФТЬ-ГАЗТЭК. Материалы 6 Тюменского международного инновационного форума. Правительство Тюменской области. Комитет по инновациям Тюменской области. – Тюмень, 2015. – С. 461–464.

УДК 551.577

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ НЕРАСТВОРИМЫХ ЧАСТИЦ В СНЕГЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Боев А.Г.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: d.smokie@gmail.com

Рассеянное осадочное вещество снега, отобранного в марте 2016 г. в районе Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, было проанализировано методами сканирующей электронной микроскопии с энерго-дисперсионным анализатором химического состава и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Нерастворимые частицы в снеге представлены биогенными, литогенными и антропогенными частицами. Макроэлементный состав антропогенных частиц (сфер сгорания) отвечает среднему составу земной коры, как и состав отдельных литогенных частиц. Микроэлементный валовый состав взвешенного вещества снега также в целом соответствует составу земной коры. Однако содержание Ni, Cu, Cd, Sb, W, Pb, Bi, U в нерастворимой фазе снега выше, чем в земной коре. Эти элементы в основном поступают из антропогенных источников в результате дальнего атмосферного переноса в виде примеси, не образуя отдельную фазу. Наибольшее обогащение характерно для Cd, Bi, Pb и Sb.

Ключевые слова: рассеянное осадочное вещество, сканирующая электронная микроскопия, тяжелые металлы, естественные архивы, Белое море

MATERIAL AND ELEMENTAL COMPOSITION OF INSOLUBLE PARTICLES IN SNOW OF NORTH-WESTERN KANDALAKSHA BAY COAST OF THE WHITE SEA

Starodymova D.P., Shevchenko V.P., Boev A.G.

P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, e-mail: d.smokie@gmail.com

Particulate matter of snow collected in March 2016 in locality of the White Sea Biological Station of M.V. Lomonosov Moscow State University was analyzed with scanning electron microscopy coupled with energy-dispersive X-ray spectrometry and inductively-coupled plasma mass-spectrometry. Insoluble particles in snow are presented by biogenic, lithogenic and anthropogenic particles. Major-element composition of anthropogenic particles (combustion spheres) responds to average composition of the Earth's crust as well as composition of single lithogenic particles. Trace-elemental composition of particulate matter of snow corresponds to average composition of the Earth's crust too. At the same time Ni, Cu, Cd, Sb, W, Pb, Bi, U content in insoluble fraction is higher than in the Earth's crust. These elements commonly arrive from anthropogenic sources as result of long-term atmospheric transport as accompanying elements. The highest enrichment is typical to Cd, Bi, Pb and Sb.

Keywords: particulate matter, scanning electron microscopy, heavy metals, natural archives, White Sea

Снег вымывает из атмосферы и накапливает аэрозольные частицы, поэтому снежный покров является ценным природным архивом эолового вещества [1, 3, 4, 11]. Рассеянное осадочное вещество в снеге характеризует атмосферу в зимний период, когда окружающая суша покрыта снегом, водоемы льдом и возмущает влияние дальнего атмосферного переноса вещества [6, 8, 13, 15]. Отбор проб в конце зимнего сезона обеспечивает оценку атмосферного поступления нерастворимых частиц за период, когда земля была покрыта снегом.

Материалы и методы исследования

Исследования снега проводились в окрестностях Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова МГУ имени М.В. Ломоносова (ББС МГУ) (координаты 66° 34' с.ш., 33° 8' в.д.). ББС МГУ располагается на северо-западном побережье Канда拉克шского залива Белого моря, на удалении от источников антропогенных выбросов, отопление на станции электрическое, поэтому район можно считать фоновым. С 2010 г. на территории ББС МГУ ведется почти круглогодичный

отбор аэрозолей [5, 9, 10]. Для характеристики зимнего аэрозоля в марте 2016 г. были отобраны 4 пробы снега. Отбор производился с поверхности припайного льда (3 пробы) и лесного озера (1 проба) в одноразовые полиэтиленовые мешки с помощью пластиковой лопаты во избежание загрязнения металлами. Снег собирался с площадок размером 1×1 м на всю глубину снежного покрова. В лаборатории снег был переложён в предварительно отмытые пластиковые баки и растапливался при комнатной температуре (около 1–2 суток). После растапливания снега был измерен суммарный объем полученной талой воды.

Рассеянное осадочное вещество снега было получено методом вакуумной фильтрации через два типа фильтров: ядерные лавсановые фильтры с диаметром пор 0,45 мкм для определения массовой концентрации взвеси (3 фильтра на каждую пробу) и кварцевоволоконные фильтры QMA (Whatman) для элементного анализа. Ядерные фильтры были предварительно взвешены на аналитических весах. Кварцевоволоконные фильтры перед использованием были прокалены при температуре 600°C. Для каждого типа фильтров отмечался суммарный объем воды, прошедшей через фильтр. После фильтрации все фильтры были упакованы в чашки Петри и высушены в сушильном шкафу при 55°C.

После высушивания ядерные фильтры были повторно взвешены, для каждой пробы была вычислена средняя массовая концентрация нерастворимых частиц. Для исследований нерастворимых частиц методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с определением элементного состава этих частиц использовались фрагменты тех же ядерных фильтров размером 5×5 мм, которые приклеивались на подложку из алюминиевой фольги и напылялись золотом. СЭМ проводилась на микроскопе VEGA 3 (Tescan). Химический состав частиц определялся с помощью микроанализатора Oxford X-MAX в диапазоне напряжений 0–20 кВ.

Кварцевоволоконные фильтры помещались в тefлоновые бюксы и подвергались разложению смесью концентрированных кислот (HF, HNO₃, HClO₄) вместе с материалом фильтра, затем были выпарены и разбавлены до нужного объема 3 % раствором HNO₃. Для оценки точности анализа и полноты разложения материала вместе с пробами разлагались также чистые фильтры из той же партии, а также фильтры с добавлением соизмеримой навески геохимических стандартов СДО-1 и СДО-2. Содержание элементов в полученных растворах измерялось с помощью масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) Agilent 7500. Были измерены концентрации 38 элементов: Li, Be, Sc, Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Cd, Sb, Ba, редкоземельных элементов (РЗЭ), Lu, Hf, Ta, W, Pb, Bi, Th, U. Полученные концентрации были пересчитаны на единицу массы сухого вещества. Масса рассеянного осадочного вещества на фильтре оценивалась, исходя из массовой концентрации в пробе и объема воды, прошедшей через кварцевоволоконный фильтр.

Результаты исследования и их обсуждение

Вещественный и элементный состав отдельных частиц. Средняя массовая концентрация нерастворимых частиц в снеге составила 0,64 мг/л, меняясь от 0,53 до 0,78 мг/л. Проведенная СЭМ нерастворимых частиц показала, что они подразделяются на три генетические группы:

- 1) биогенные;
- 2) литогенные;
- 3) антропогенные частицы.

Биогенные частицы представлены растительными волокнами, обломками створок диатомовых водорослей, спорами и пылью (рис. 1). Биогенные частицы составляют наиболее крупную фазу нерастворимых частиц в снеге (размеры отдельных биогенных частиц достигают 50–60 мкм), что позволяет предположить, что эти частицы местного происхождения.

Наиболее распространенной фазой в снеге являются литогенные частицы, которые представлены минеральными обломками и отдельными кристаллами различной степени окатанности (рис. 1). Среди минеральных частиц определены следующие минералы: кварц, пироксены, амфиболы, полевые шпаты, различные глинистые ми-

нералы (в том числе каолинит), карбонаты (кальцит и доломит), корунд. Размерность литогенных частиц находится в диапазоне от 0,5 до первых десятков мкм. Размерность более 10 мкм имеют только отдельные минеральные зерна, а основная минеральная масса представлена частицами размером менее 5 мкм. Анализ отдельных минеральных частиц (около 150 анализов) размером от 3 до 30 мкм показал, что макроэлементный состав частиц в среднем отвечает среднему составу земной коры [14] (рис. 2).

Антропогенные частицы распространены меньше, чем литогенные. Они представлены в основном сферами сгорания и, в меньшей степени, агрегатами сажи. Размер сфер сгорания составлял от 0,5 до 5 мкм, основная масса сфер сгорания находится в диапазоне размеров 0,5–2 мкм. Было проведено 28 определений элементного состава сфер сгораний. По макроэлементному составу сферы сгорания близки к среднему составу земной коры (рис. 2).

Вещественный состав нерастворимых частиц в снеге сходен с вещественным составом аэрозольных частиц, отобранных в окрестностях ББС МГУ в 2013–2014 гг. [5]. Основное отличие заключается в том, что в нерастворимых частицах снега существенно ниже содержание биогенной фазы, в особенности спор и пылицы. Также в снеге в отличие от аэрозолей присутствуют створки диатомовых водорослей.

Было проведено сравнение полученных данных с вещественным составом нерастворимых частиц в снеге другого региона в водосборе Белого моря – Архангельской области [7]. Оно показывает, что для окрестностей ББС МГУ характерна существенно меньшая распространенность антропогенных частиц.

Микроэлементный состав нерастворимых частиц в снеге. Разброс содержания химических элементов в четырех пробах незначительный. Содержания химических элементов в нерастворимой фазе снега сравнили со средним составом сланцев [12] и со средним содержанием в земной коре [14]. Результаты представлены на рис. 3.

Профиль химических элементов в нерастворимой фазе снега по конфигурации похож на профили химических элементов в земной коре и в сланцах. Обращает на себя внимание более высокое содержание ряда элементов (Cu, Ni, Cd, Sb, W, Pb, Bi, U) в нерастворимой фазе снега по сравнению с земной корой и сланцами. Остальные элементы имеют близкие или более низкие содержания в снеге по сравнению с земной корой.

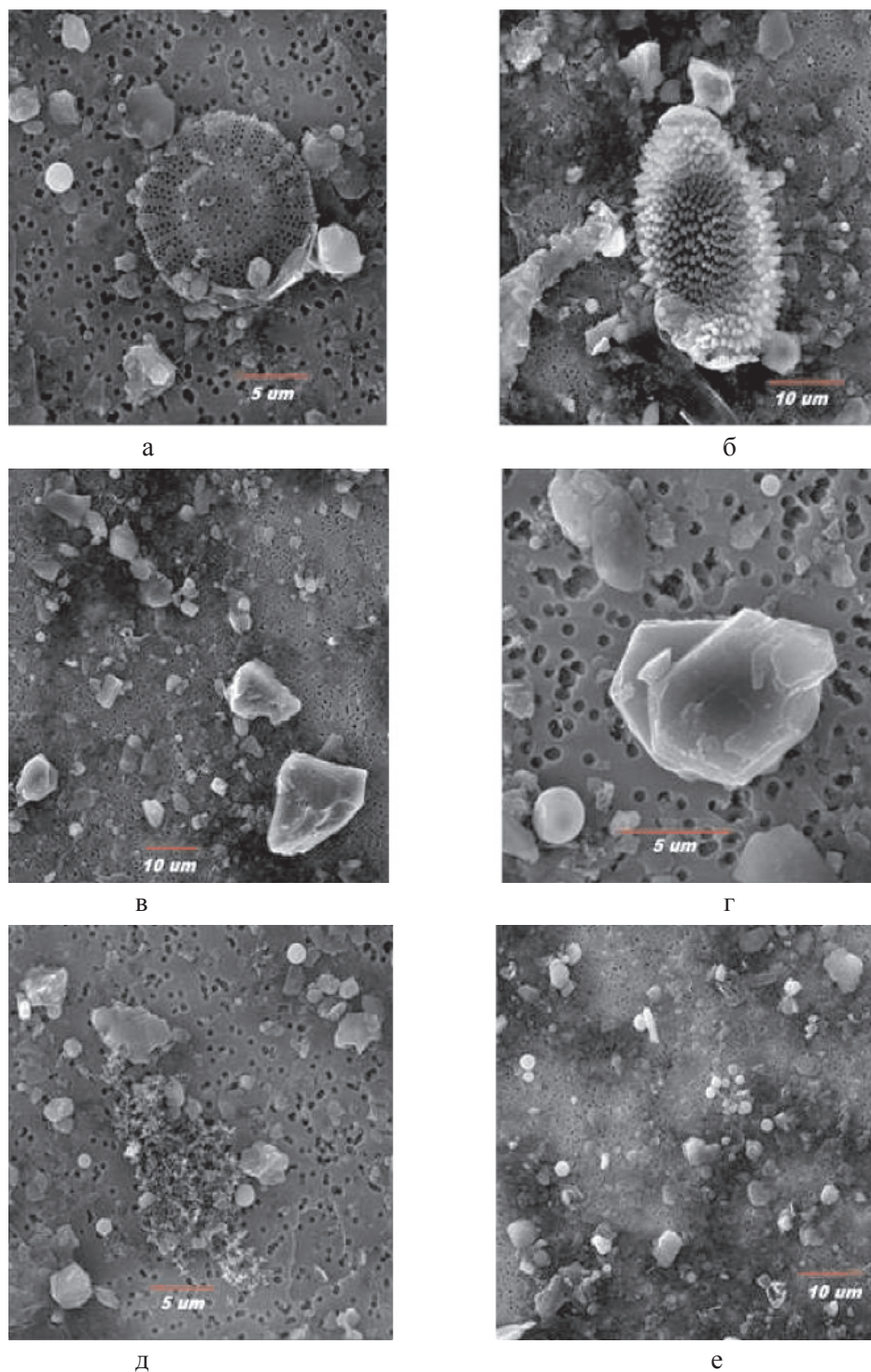


Рис. 1. СЭМ-изображения различных видов нерастворимых частиц снега:
а – створка диатомеи; б – пыльца; в – минеральные частицы; г – кристаллы диккита;
д – сажевый агрегат и сферы сгорания; е – сферы сгорания и минеральные частицы

Для выявления источников элементов были вычислены коэффициенты обогащения относительно среднего состава земной коры по формуле

$$КО = (\text{Эл.}/\text{Ga})_{\text{образец}} / (\text{Эл.}/\text{Ga})_{\text{з.к.}},$$

где Эл. и Ga – это концентрации данного элемента и галлия в образце и в земной коре [14] соответственно. Галлий был взят в качестве индикатора литогенного источника вещества. Средние значения коэффициентов обогащения приведены на рис. 4.

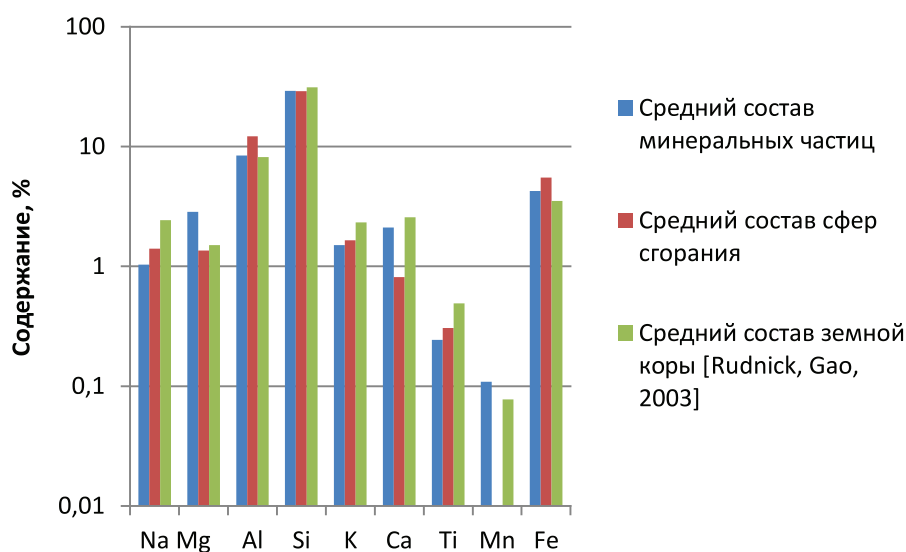


Рис. 2. Средний макроэлементный состав минеральных частиц в снеге, сфер сгорания и земной коры

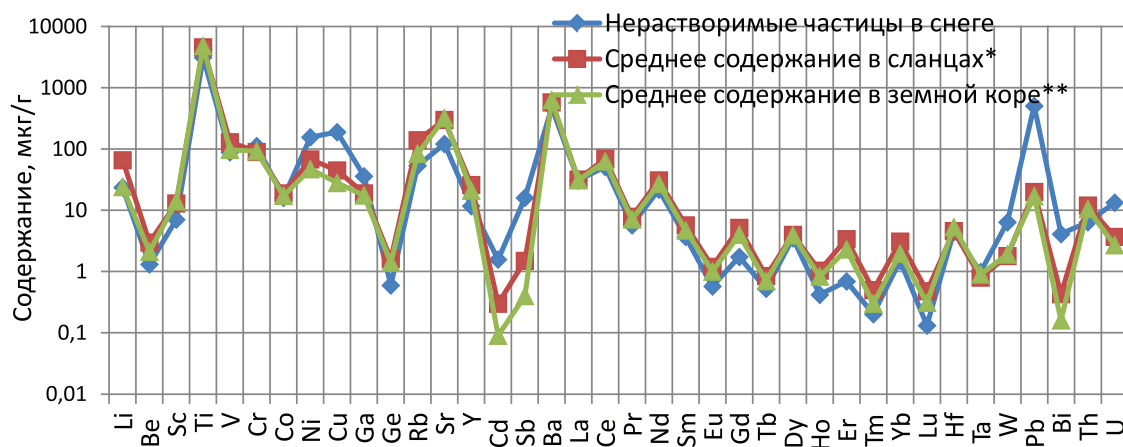


Рис. 3. Среднее содержание элементов в нерастворимой фазе снега ББС МГУ, в сланцах [12] и в земной коре [14]

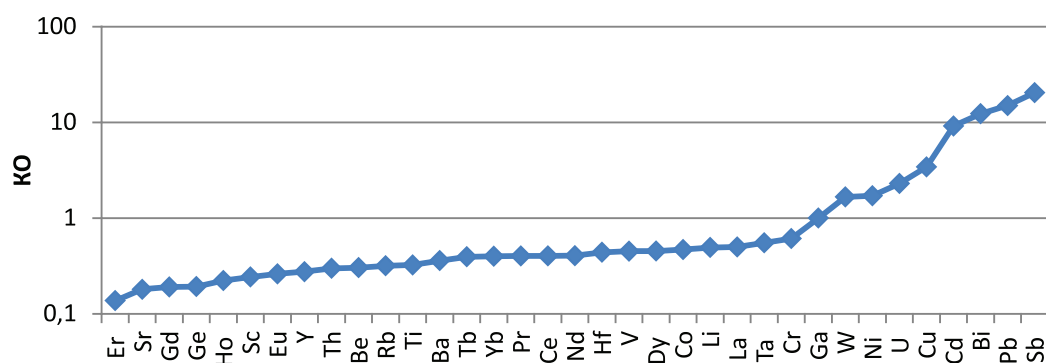


Рис. 4. Средние значения коэффициентов обогащения в нерастворимой фракции снега

Большинство элементов имеют КО ниже единицы, что говорит о некотором обеднении этими элементами изучаемой взвеси по сравнению с земной корой, что может быть связано со значительным содержанием биогенных частиц в нерастворимой фазе осадков. Такие элементы, как W, Ni, U, Cu, Cd, характеризуются значениями КО от 2 до 10, а Bi, Pb и Sb – максимальными КО (до 20), что говорит о существенном дополнительном привносе этих элементов. Основным источником меди и никеля в регионе являются металлургические комбинаты Кольского полуострова (в гг. Мончегорск и Никель). Отмечено, что обогащение нерастворимых частиц снега никелем несколько ниже, чем медью. Это соотносится с опубликованными данными по количеству выбросов комбинатами: суммарная эмиссия меди комбинатами Мончегорска и Никеля в два раза превышает эмиссию никеля [2]. Возможные источники атмосферного поступления металлов обсуждались в статье [5], где было отмечено, что существенным источником кадмия является также металлургическая промышленность Кольского полуострова.

Выводы

Нерастворимые частицы из снега окрестностей Беломорской биологической станции МГУ сходны по вещественному составу с аэрозолями, отобранными здесь же. Основным компонентом нерастворимой части снега в районе ББС МГУ является литогенный материал, который по макроэлементному составу отвечает среднему составу земной коры. Среди нерастворимых частиц снега выявлены также антропогенные частицы, поступающие за счет дальнего атмосферного переноса, их средний макроэлементный состав также близок к среднему составу земной коры. Микроэлементный состав взвешенного вещества в общих чертах также соответствует среднему составу земной коры, однако ряд элементов (Ni, Cu, Cd, Sb, W, Pb, Bi, U) демонстрирует превышение по сравнению с земной корой. Повышенное поступление никеля, меди и кадмия обеспечивается близостью металлургических комбинатов Кольского полуострова.

Авторы благодарны сотрудникам ББС МГУ, участникам экспедиции Е.Д. Краснову, Д.А. Воронову, М.В. Мардашовой, академику А.П. Лисицыну за поддержку и ценные советы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 15-05-08374-а, 14-05-00059-а).

Список литературы

1. Бояркина А.П., Байковский В.В., Васильев Н.В., Глухов Г.Г., Медведев М.А., Писарева Л.Ф., Резчиков В.И., Шелудько С.И. Аэрозоли в природных планшетах Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 1993. – 157 с.
2. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов и регионов Российской Федерации за 2010 год / под ред. А.Ю. Недре. – СПб.: ОАО «НИИ Атмосфера», 2011. – 560 с.
3. Лисицын А.П. Процессы в водосборе Белого моря: подготовка, транспортировка и отложение осадочного материала, потоки вещества, концепция «живого водосбора» // Система Белого моря. Т. I. Природная среда водосбора Белого моря. – М.: Научный мир, 2010. – С. 353–445.
4. Рапута В.Ф., Таловская А.В., Коковкин В.В., Язиков Е.Г. Анализ данных наблюдений аэрозольного загрязнения снегового покрова в окрестностях Томска и Северска // Оптика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 24, № 1. – С. 74–78.
5. Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Сивонен В.П., Сивонен В.В. Вещественный и элементный состав приземного аэрозоля северо-западного побережья Кандалакшского залива Белого моря // Оптика атмосферы и океана. – 2016. – Т. 29, № 6. – С. 488–492.
6. Шевченко В.П., Воробьев С.Н., Кирпотин С.Н., Крицков И.В., Манасыпов Р.М., Покровский О.С., Политова Н.В. Исследование нерастворимых частиц в снежном покрове Западной Сибири на профиле от Томска до эстуария Оби // Оптика атмосферы и океана. – 2015. – Т. 28, № 6. – С. 499–504.
7. Шевченко В.П., Калинина О.Ю., Коробов В.Б., Лещёв А.В., Сапожников Ф.В., Яковлев А.Е. Особенности распределения и вещественного состава рассеянного осадочного вещества в снежном покрове водосборного бассейна Белого моря в конце зимнего периода // Научный альманах. – 2015. – № 12–2 (14). – С. 507–513.
8. Шевченко В.П., Коробов В.Б., Лисицын А.П., Аleshинская А.С., Богданова О.Ю., Горюнова Н.В., Грищенко И.В., Дара О.М., Завернина Н.Н., Куртеева Е.И., Новичкова Е.А., Покровский О.С., Сапожников Ф.В. Первые данные о составе пыли, окрасившей снег на Европейском севере России в желтый цвет (март 2008 г.) // Доклады Академии наук. – 2010. – Т. 431, № 5. – С. 675–679.
9. Шевченко В.П., Стародымова Д.П., Виноградова А.А., Лисицын А.П., Макаров В.И., Попова С.А., Сивонен В.В., Сивонен В.П. Элементный и органический углерод в атмосферном аэрозоле над северо-западным побережьем Кандалакшского залива Белого моря // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 461, № 1. – С. 70–74.
10. Alekseychik P., Lappalainen H.K., Petäjä T., Zaitseva N., Heilmann M., Laurila T., Lihavainen H., Asmi E., Arshinov M., Shevchenko V., Makshtas A., Dubtsov S., Mikhailov E., Lapshina E., Kirpotin S., Kurbatova Y., Ding A., Guo H., Park S., Lavric J.V., Reum F., Panov A., Prokushkin A., Kulmala M. Ground-based station network in Arctic and Subarctic Eurasia: an overview // Geography, Environment, Sustainability. – 2016. – Vol. 09, № 02. – P. 75–88.
11. Caritat P. de, Äyräs M., Niskavaara H., Chekushin V., Bogatyrev I., Reimann C. Snow composition in eight catchments in the central Barents Euro-Arctic region // Atmospheric Environment. – 1998. – Vol. 32. – P. 2609–2626.
12. Li Y.-H., Distribution patterns of the elements in the ocean: A synthesis // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1991. – Vol. 55. – P. 3223–3240.
13. Lisitzin A.P. Sea-ice and Iceberg Sedimentation in the Ocean: Recent and Past. – Berlin: Springer, 2002. – 563 p.
14. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry / Holland H.D., and Turekian K.K. (eds.). – Amsterdam: Elsevier, 2003. – Vol. 3. – P. 1–63.
15. Zdanowicz C.M., Zielinski G.A., Wake C.P. Characteristics of modern atmospheric dust deposition in snow on the Penny Ice Cap, Baffin Island, Arctic Canada // Tellus. – 1998. – Vol. 50B. – P. 506–520.

УДК 911.3

ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПРИМОРСКОГО КРАЯ: ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Суржиков В.И.

ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса»,
Владивосток, e-mail: Viktor.Surzhikov@vvsu.ru

В статье обосновывается актуальность оценки внешнеэкономического потенциала муниципальных образований Приморского края как для расширения внешнеэкономической деятельности со странами Азиатско-Тихоокеанского региона, так и для собственного социально-экономического развития. В его структуре выделено четыре компонента: потенциал экономико-географического положения, экспортно-ориентированный природно-ресурсный, социально-экономический и инвестиционный потенциалы. Приведены результаты покомпонентной и комплексной оценок. На основе полученных данных выделены четыре типа муниципальных образований по уровню внешнеэкономического потенциала: очень высокий, высокий, средний и низкий. Представлена их краткая характеристика. Автором изучены возможности и ограничения использования внешнеэкономического потенциала для развития внешнеэкономического взаимодействия в рамках принятых федеральных законов «О территориях опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации» и «О свободном порте Владивосток».

Ключевые слова: оценка, внешнеэкономическая деятельность, внешнеэкономический потенциал, муниципальное образование, Приморский край

FOREIGN-ECONOMIC POTENTIAL OF THE MUNICIPAL UNITS OF PRIMORSKY REGION OF RUSSIA: OPPORTUNITIES AND LIMITATIONS

Surzhikov V.I.

Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok, e-mail: Viktor.Surzhikov@vvsu.ru

The article explains the relevance of the assessment of foreign-economic potential of municipal entities of Primorsky Region in terms of the expansion of foreign trade activities into the Asia-Pacific countries, as well as from the viewpoint of the municipalities' regional development. Its structure has four components highlighted: the potential economic and geographical situation, export-oriented natural resources, socio-economic and investment potentials. The results of the component-wise and integrated assessments. Based on the data identified four types of municipalities on the level of foreign-economic potential: very high, high, medium and low. The article presents a brief description of their. The author studied the possibilities and limitations of using foreign-economic potential for the development of foreign economic cooperation in the framework of the adopted federal laws «On the territories of advancing social and economic development in the Russian Federation» and «On the free port of Vladivostok».

Keywords: assessment, foreign economic activity, foreign-economic potential, municipal unit, Primorsky Region of Russia

Указом Президента Б.Н. Ельцина № 213 от 15 ноября 1991 г. «О либерализации внешнеэкономической деятельности на территории РСФСР» было децентрализовано управление внешнеэкономическими связями и упразднена государственная монополия в сфере внешнеэкономической деятельности, что позволило российским предприятиям и организациям осуществлять внешнеторговые операции с момента их образования, без специальной регистрация в качестве участников ВЭД [8]. Вследствие чего субъекты экономики получили возможность расширения собственного потенциала за счёт осуществления внешнеэкономической деятельности.

Таким образом с начала 1990-х годов учёные экономисты стали уделять пристальное внимание понятию «экспортный потенциал территории». Затем возникла необходимость перехода к дефиниции «внеш-

неэкономический потенциал», которая была обусловлена укреплением и расширением направлений международных экономических отношений. Субъекты экономики продолжали осуществлять внешнеторговые процессы, но при этом стали участвовать в различных формах внешнеэкономического сотрудничества (научно-техническое и научно-производственное, военно-техническое, инвестиционное и др.).

Дальнейшее интенсивное развитие международной экономической интеграции страны обусловило необходимость исчисления внешнеэкономического потенциала как на уровне субъектов, так и на уровне муниципальных образований. Тем более что падение производства и сжатие внутреннего спроса, смещение регулирования социально-экономических процессов на локальный уровень предопределили саморазвитие низовых административных единиц.

В то же время децентрализация управления внешнеэкономическими связями и переход экономики в русло рыночных отношений предоставили им некую возможность участия во внешнеэкономической деятельности, которая призвана, прежде всего, способствовать социально-экономическому развитию муниципалитетов, привлечению иностранных инвестиций, использованию зарубежного опыта.

В связи с этим каждая административно-хозяйственная единица стремится мобилизовать свой потенциал для внешнеэкономического взаимодействия. Но структурные особенности экономики и всего комплекса ресурсов территории существенно ограничивают возможности участия во внешнеэкономической деятельности одних муниципалитетов и благоприятствуют другим. Исходя из этого автором установлено, что необходимость оценки внешнеэкономического по-

тенциала приобретает особое значение для муниципальных образований в целях обеспечения их устойчивого развития.

В литературе данной проблематике посвящён ряд работ отечественных учёных, А.А. Анненковой [1], С.Н. Блудовой [2], Г.И. Немировой [3], П.Б. Разумова [4]. Несмотря на научный интерес, оценки внешнеэкономического потенциала на уровне муниципального образования не проводились.

Автором определена структура внешнеэкономического потенциала (потенциал экономико-географического положения, экспортно-ориентированный природно-ресурсный, социально-экономический и инвестиционный потенциалы) и проведена покомпонентная оценка тридцати двух муниципальных образований Приморского края без учёта двух закрытых административно-территориальных образований г. Большой Камень и г. Фокино (таблица).

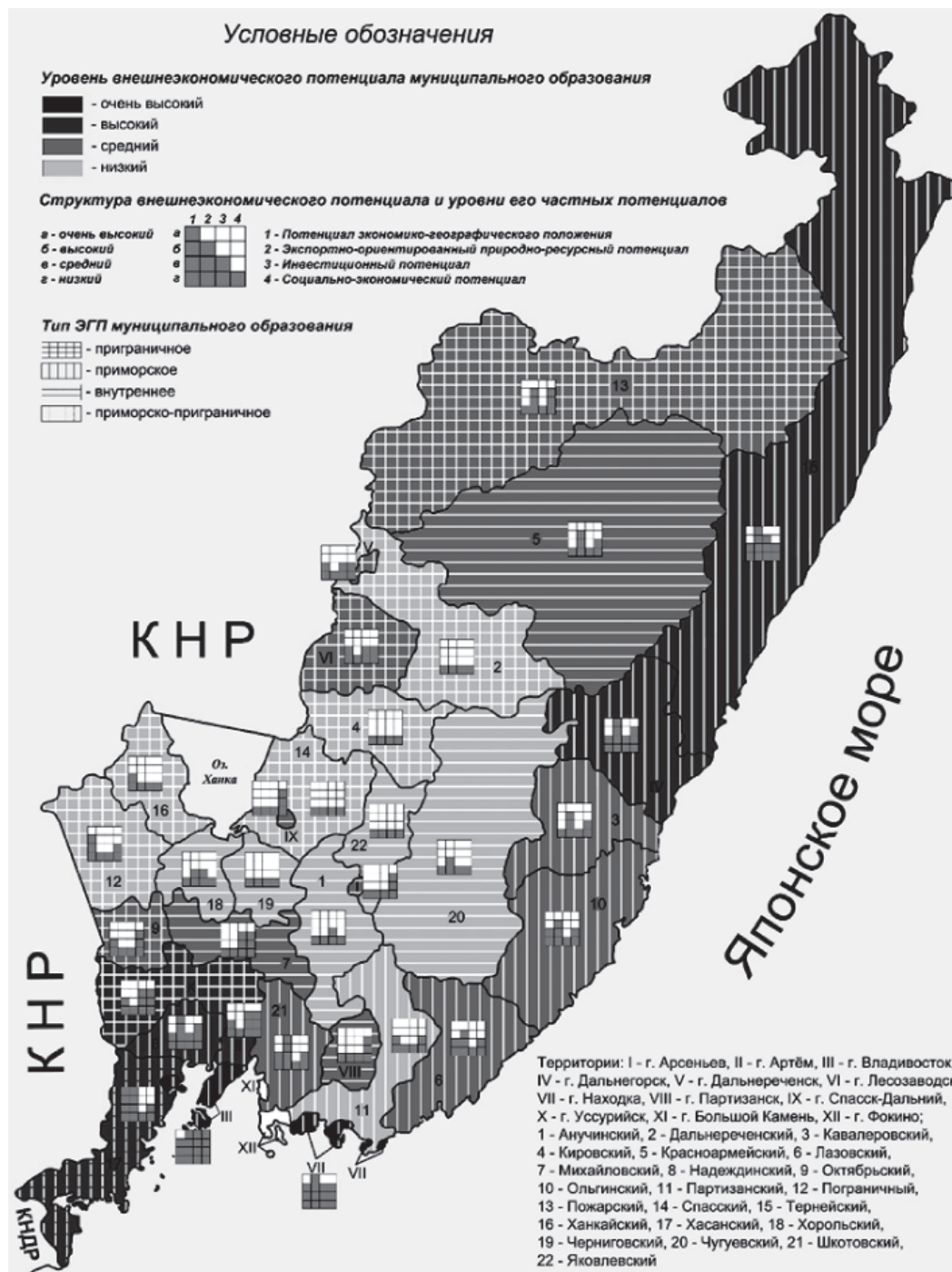
Результаты покомпонентной оценки внешнеэкономического потенциала муниципальных образований Приморского края [5, 6, 7]

Название МО	ЭОПРП ¹		СЭП ²		ИП ³		ЭГП ⁴	
	Абс.	балл	Абс.	балл	Абс.	балл	Абс.	балл
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Анучинский МР**	8,79	1	0,27	1	2,00	2	2,60	1
Арсеньевский ГО*	7,00	1	2,24	2	1,00	1	2,90	1
Артемовский ГО	7,00	1	2,80	2	4,00	3	6,10	2
Владивостокский ГО	64,00	4	13,22	4	8,00	4	7,10	3
Дальнегорский ГО	50,39	4	1,15	1	2,00	2	5,30	2
Дальнереченский ГО	7,00	1	0,92	1	2,00	2	4,40	2
Дальнереченский МР	7,72	1	0,13	1	1,00	1	3,70	1
Кавалеровский МР	27,66	3	0,43	1	1,00	1	3,60	1
Кировский МР	7,06	1	0,81	1	1,00	1	4,00	1
Красноармейский МР	27,06	3	0,75	1	1,00	1	2,20	1
Лазовский МР	32,22	3	0,39	1	2,00	1	5,30	2
Лесозаводский ГО	7,89	1	1,10	1	3,00	2	5,80	2
Михайловский МР	7,87	1	0,79	1	2,00	3	3,20	1
Надеждинский МР	52,00	4	0,71	1	1,00	1	4,40	2
Находкинский ГО	64,00	4	3,97	3	5,00	3	6,90	3
Октябрьский МР	7,00	1	0,63	1	1,00	1	5,90	2
Ольгинский МР	36,29	3	0,19	1	1,00	1	5,80	2
Партизанский ГО	7,00	1	0,70	1	2,00	1	3,20	1
Партизанский МР	7,00	1	0,66	1	2,00	1	4,20	1
Пограничный МР	7,00	1	0,42	1	1,00	1	6,60	3
Пожарский МР	21,73	3	1,37	1	1,00	1	3,40	1
Спасск-Дальний ГО	7,00	1	0,84	1	1,00	1	3,60	1
Спасский МР	7,00	1	0,59	1	1,00	1	3,70	1
Тернейский МР	63,34	4	0,88	1	4,00	3	5,70	2
Уссурийский ГО	7,32	1	5,40	3	5,00	3	4,50	2
Ханкайский МР	7,00	1	0,49	1	2,00	1	5,50	2
Хасанский МР	52,00	4	0,72	1	3,00	1	10,50	4
Хорольский МР	13,72	2	0,73	1	2,00	2	4,00	1

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Черниговский МР	7,47	1	0,60	1	1,00	1	3,70	1
Чугуевский МР	15,6	2	0,35	1	1,00	1	2,30	1
Шкотовский МР	52,97	4	0,48	1	1,00	1	4,20	1
Яковлевский МР	7,00	1	0,21	1	1,00	1	2,20	1

Примечания: * – городской округ; ** – муниципальный район; ¹ – экспортно-ориентированный природно-ресурсный потенциал, ² – социально-экономический потенциал; ³ – инвестиционный потенциал; ⁴ – потенциал экономики-географического положения.



Внешеэкономический потенциал муниципальных образований Приморского края

На основе полученных результатов оценки внешнеэкономического потенциала муниципальных образований Приморского края была проведена их типология, которая позволила выделить четыре типа муниципалитетов. К первому типу *с очень высоким внешнеэкономическим потенциалом (3,19–3,90 балла)* отнесены крупнейшие экономические центры региона – Владивостокский и Находкинский городские округа (рисунок).

Для муниципалитетов характерна переходная специализация. Главные виды хозяйственной деятельности представлены такими отраслями промышленности, как рыбная, судостроение и судоремонт, транспорт, машиностроение (приборостроение, автомобилестроение). Лидирующее место в структуре промышленного комплекса занимает рыбная промышленность, что обусловлено наличием значительных запасов морских биоресурсов.

Относительно благоприятное ЭГП, которое обеспечивается выходом к морскому побережью и наличием крупных международных портов, определяет одну из ведущих отраслей – транспорт. На территории городских округов действуют крупнейшие морские порты всего Дальнего Востока.

Здесь работают старейшие предприятия региона, которые занимаются производством радиолокационной, радионавигационной аппаратуры и радиоаппаратуры дистанционного управления, производством приборов и инструментов для измерения, контроля и испытаний, производством приборов и аппаратуры для автоматического регулирования или управления.

Автомобилестроение представлено ООО «Мазда Соллерс Мануфэкчуринг Рус», которое взаимодействует с крупными производителями автомобилей Японии и Южной Кореи. На предприятии из готовых импортных узлов и агрегатов собирают автомобили известных мировых производителей, таких как Mazda, Isuzu, SsangYong.

К пищевой промышленности помимо производства рыбопродукции относятся производство колбасных изделий, продуктов из мяса и мяса птицы, мясных полуфабрикатов, производство алкогольных и безалкогольных напитков.

Иностранные контрагенты активно инвестируют в экономику муниципалитетов. Данные за период с 2008 по 2013 г. свиде-

тельствуют о том, что 88,2% иностранных инвестиций от общекраевых приходится на них. Здесь работают порядка 400 предприятий с участием иностранного капитала.

Второй тип муниципалитетов *с высоким внешнеэкономическим потенциалом (2,46–3,18 балла)* образуют: Дальнегорский, Артемовский, Уссурийский городские округа и Надеждинский, Тернейский, Хасанский муниципальные районы.

Хасанский муниципальный район расположен на юге Приморского края и обладает самым благоприятным ЭГП. Он имеет выход одновременно к побережью Японского моря с тремя международными морскими портами (Зарубино, Посьет, Славянка) и к сухопутной государственной границе с двумя таможенными пунктами пропуска Краскино (КНР) и Хасан (КНДР). Сочетание приморского и приграничного положения района характеризует его значительный транзитный потенциал, предоставляющий широкие возможности осуществления внешнеэкономических связей, как наземным транспортом, так и морским. Оставшиеся муниципалитеты характеризуются условно благоприятным ЭГП.

Очень высокий экспортно-ориентированный природно-ресурсный потенциал характерен для Дальнегорского городского округа и Надеждинского, Тернейского, Хасанского районов. Все они располагают запасами морских биоресурсов. Одновременно с этим Тернейский МР обладает и самым значимым лесоресурсным потенциалом в Приморье (20% общекраевых запасов древесины). На территории Дальнегорского городского округа размещены крупнейшие месторождения свинца и цинка (Николаевское, Партизанское, Верхнее, Майминовское, Южное), крупнейшее в России боросиликатное месторождение. На основе разработки последнего ЗАО «ГХК БОР» смог зарекомендовать себя как один из основных экспортёров борной кислоты в страны АТР. Отличные перспективы для освоения и инвестирования имеет Черемшанский рудный узел.

Для Артёмовского и Уссурийского округов характерны средний и высокий уровни социально-экономического потенциала, для всех остальных муниципалитетов – низкий уровень. Уссурийский городской округ занимает стабильное второе место в крае по объёму валового муниципального продукта. Здесь производится третья часть всей промышленной продукции Приморского

края. Удельный вес пищевой промышленности в общем объеме производства округа составляет около 60%. Экономику Артёмовского округа формируют отрасли строительных материалов, лесная и деревообрабатывающая, лёгкая и пищевая промышленность, электроэнергетика и транспорт.

Инвестиционный потенциал Артёмовского, Уссурийского городских округов и Тернейского района высокий. В их экономику активно инвестируют японские, корейские и китайские предприниматели.

В третий тип муниципалитетов *со средним внешнеэкономическим потенциалом (1,74–2,45 балла)* вошли: Лесозаводский, Дальнереченский, Арсеньевский, Спасск-Дальний, Партизанский городские округа и Михайловский, Шкотовский, Пожарский, Лазовский, Ольгинский, Октябрьский, Кавалеровский, Красноармейский муниципальные районы.

Лесозаводский, Дальнереченский городские округа и Лазовский, Ольгинский и Шкотовский муниципальные районы обладают условно благоприятным экономико-географическим положением. Все остальные административные единицы имеют неблагоприятное ЭГП.

Высоким экспортно-ориентированным природно-ресурсным потенциалом характеризуются Кавалеровский, Красноармейский, Лазовский, Ольгинский и Пожарский муниципальные районы. Они обладают значительной минерально-сырьевой базой. На территории Красноармейского и Пожарского районов сосредоточены крупнейшие в России месторождения вольфрама (Восток-2 и Лермонтовское). Красноармейский район богат серебро-полиметаллическими (Тажежное, Кумирное, Левобережное) и комплексными олово-полиметаллическими (Зимнее и Дальнетаежное) месторождениями. Существенные запасы олова, свинца, цинка, железных руд имеются на территории Ольгинского (Щербаковское, Фасольное месторождения) и Кавалеровского (Силинское месторождение) районов. Все эти месторождения располагаются в непосредственной близости от морских портов, что определяет их перспективность для инвестирования. Кроме этого на Пожарский и Красноармейский районы приходится 37% общекраевых запасов древесины. Лазовский и Ольгинский районы обладают значительными запасами морских биоресурсов.

Среди всех муниципалитетов только Арсеньевский городской округ обладает средним уровнем социально-экономического потенциала. Он является центром машиностроения. В структуре отгруженных товаров и услуг собственного производства крупными и средними предприятиями 94% приходится на продукцию машиностроения.

Высокие показатели инвестиционного потенциала характерны для Михайловского района, где в сельское хозяйство инвестируют предприниматели из КНР и Республики Корея.

К четвёртому типу муниципалитетов с низким внешнеэкономическим потенциалом (*1,0–1,73 балла*) относятся: Пограничный, Партизанский, Хорольский, Анучинский, Чугуевский, Ханкайский, Черниговский, Яковлевский, Спасский, Кировский и Дальнереченский муниципальные районы, большинство из которых характеризуются неблагоприятным ЭГП.

Средним экспортно-ориентированным природно-ресурсным потенциалом обладают Чугуевский и Хорольский муниципальные районы. Они характеризуются богатой минерально-ресурсной базой и значительными запасами лесных ресурсов. На долю Чугуевского района приходится 10% промышленных запасов древесины края. В Хорольском районе расположены Вознесенское и Пограничное месторождения, содержащие 100% российских запасов руд плавленого шпата и значительные запасы руд редкоземельных металлов (тантало-ниобатов).

Экономики муниципалитетов имеют в основном сельскохозяйственную и лесозаготовительную специализацию, во многом именно поэтому демонстрируют низкие показатели уровня экономического, социального и инвестиционного развития по сравнению со среднекраевыми значениями.

На дальнейшее использование внешнеэкономического потенциала муниципальных образований должны повлиять принятые федеральные законы «О территориях опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации» и «О свободном порте Владивосток». Режим свободной таможенной зоны позволит привлечь иностранных инвесторов, в том числе для создания совместных предприятий, увеличить грузооборот портов муниципалитетов первого типа, что приведёт к росту их доходов,

повышению занятости населения, росту налоговых доходов. Получат импульс к развитию и обрабатывающие производства, ориентированные на экспорт, расположенные на территории муниципальных образований первых трёх типов.

В то же время существует ряд факторов, ограничивающих дальнейшее развитие: механизмы распределения полномочий между органами местного самоуправления и Управляющей компанией свободного порта Владивосток; неготовность транспортной системы края; бюрократические препоны, проверки, получение разрешительной документации; медленное оформление таможенных грузов; инфраструктура пунктов пропуска, не отвечающая современным требованиям.

Список литературы

1. Анненкова А.А. Методические подходы к оценке внешнеэкономического потенциала региона // Среднерусский вестник общественных наук. – 2007. – № 3. – С. 152–157.
2. Блудова С.Н. О классификации регионов РФ на основе оценки внешнеэкономического потенциала // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2004. – № 2 (13). – С. 85–92.
3. Немирова Г.И. Теоретические подходы к определению внешнеэкономического потенциала региона / Г.И. Немирова, Е.Л. Красильникова // Вестник ОГУ. – 2012. – № 9 (145). – С. 75–79.
4. Разумов П.Б. Социально-культурные аспекты развития внешнеэкономического потенциала регионов России: дис. ... канд. экон. наук. – М., 2010. – 176 с.
5. Рябинина Л.И. Анализ влияния экономико-географического положения Приморского края на потенциальные возможности внешнеэкономической деятельности / Л.И. Рябинина, В.И. Суржиков // Научное обозрение. – 2015. – № 20. – С. 291–295.
6. Рябинина Л.И. Территориальная дифференциация социально-экономического развития Приморского края в условиях инвестиционной активности / Л.И. Рябинина, В.И. Суржиков // Региональные исследования. – 2015. – № 1. – С. 32–40.
7. Рябинина Л.И. Оценка экспортно-ориентированного природно-ресурсного потенциала Приморского края / Л.И. Рябинина, В.И. Суржиков // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12–3. – С. 542–546.
8. Указ Президента РСФСР от 15.11.1991 № 213 (ред. от 27.10.1992) «О либерализации внешнеэкономической деятельности на территории РСФСР» [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_143.

УДК 624.131

ВИДЫ И ОБЪЕМЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ОЦЕНКЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВОЙСТВ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА С УЧЕТОМ НОВЫХ ТРЕБОВАНИЙ ГОСТ 25100-11. ГРУНТЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ

¹Хансиварова Н.М., ²Ласун В.С.¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail: n.khansivarova@yandex.ru;²ООО «Управляющая компания «ДонГИС»», Ростов-на-Дону, e-mail: vika_queen-27@mail.ru

Изучены инженерно-геологические условия 300 площадок проектируемого строительства, расположенных в городах Ростовской области – территории распространения просадочных грунтов. Выделено 5 вариантов возможного усложнения геомеханических моделей участков изысканий в зависимости от степени однородности просадочных толщ. На примере площадки, отнесенной к варианту 2, проведен анализ изменений в ее существующей расчетной геомеханической модели, а также при новом подходе к выделению разновидностей дисперсных грунтов по относительной деформации просадочности ϵ_{sl} . Показано, какие виды и объемы инженерно-геологических работ дополнительно потребуются для оценки свойств грунтов, обособленных в виде новых ИГЭ (РГЭ) после их разделения на разновидности по относительной деформации просадочности ϵ_{sl} . Породы некоторых ИГЭ (РГЭ) могут залегать в виде разобленных геологических тел на значительных глубинах. Это является основной проблемой при изучении инженерно-геологических условий грунтового массива для целей проектирования и строительства.

Ключевые слова: относительная деформация просадочности, разновидности просадочных грунтов, инженерно-геологический элемент, расчетный грунтовой элемент, скважины, шурфы, инженерно-геологические изыскания, полевые работы, лабораторные испытания

TYPES AND SCOPES OF ENGINEERING GEOLOGICAL WORKS IN THE ASSESSMENT OF CHARACTERISTICS OF SUBSIDING SOILS PROPERTIES FOR DESIGN AND CONSTRUCTION TO MEET NEW GOST 25100-11 REQUIREMENTS. SOILS. CLASSIFICATION

¹Khansivarova N.M., ²Lasun V.S.¹Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: n.khansivarova@yandex.ru;²DonGIS Management Company Ltd, Rostov-on-Don, e-mail: vika_queen-27@mail.ru

Engineering geological conditions of 300 designed sites located in the cities of Rostov Region, a territory of subsiding soils distribution, were studied. 5 options of possible complication of geomechanical models of survey areas were singled out, depending on the degree of subsiding depth homogeneity. Using the example of the site referred to option 2, the analysis of changes in its existing nominal geomechanical model, as well as with the new approach to distinguishing dispersive soil kinds according to the relative subsidence deformation ϵ_{sl} , was carried out. It was shown what types and scopes of engineering geological works will be additionally required to assess the properties of soils isolated in the form of new engineering geological units (EGU) (nominal soil units (NSU) after being distinguished according to the relative subsidence deformation ϵ_{sl} . Some new EGU (NSU) rocks may occur in the form of fragmented geological bodies at considerable depths. This is a major problem in the study of engineering geological conditions of the soil mass for the design and construction purposes.

Keywords: relative subsidence deformation, subsiding soil kinds, engineering geological unit, nominal soil unit, wells, pits, geological engineering surveys, field acquisition, laboratory tests

Одним из критериев для выделения разновидностей дисперсных грунтов является относительная деформация просадочности ϵ_{sl} . По числовым значениям данной характеристики до 2012 г. выделялись две разновидности – грунт просадочный ($\epsilon_{sl} > 0,01$) или грунт непросадочный ($\epsilon_{sl} < 0,01$) [1]. В новой редакции ГОСТ 25100-2011 разновидность «просадочный» заменяется на одну из четырех вновь введенных: «слабопросадочный», «среднепросадочный», «сильнопросадочный», «чрезвычайно просадочный» [2]. Более детальное разделение грунтов по просадочности влечет ряд проблем и требует существенной

доработки актуализированных редакций нормативно-технических документов. Одну из проблем – усложнение расчетных геомеханических моделей площадок изысканий – мы уже освещали в некоторых публикациях [15]. Нами установлено, что степень усложнения зависит от неоднородности грунтовой толщи по другим классификационным критериям, помимо относительной деформации просадочности. Таки критериями могут быть: число пластичности, гранулометрический состав, показатель текучести и др., которые разделяют грунты на соответствующие разновидности с разной степенью детальности. Например, по показателю

текучести выделяется 6 разновидностей грунтов (твердый, полутвердый, тугопластичный, мягкопластичный, текучепластичный, текучий); по числу пластичности – 3 (супесь, суглинок, глина).

На основании анализа инженерно-геологических условий 300 площадок в зависимости от однородности просадочной толщи, нами выделены пять возможных вариантов:

1. Толща однородна по всем классификационным критериям и содержит 1 ИГЭ (РГЭ);

2. Толща неоднородна по одному из критериев и содержит от 2 до 3 ИГЭ (РГЭ). Например, неоднородна по числу пластичности и в ее пределах выделяются суглинок, глина, супесь; или – суглинок *легкий*, суглинок *тяжелый*, или – по показателю текучести: суглинок **твердый**, суглинок **тугопластичный** и др.

3. Толща неоднородна по двум критериям и в зависимости от полноты представленных разновидностей по принятым градациям каждого критерия может содержать от 2 до 8 ИГЭ (РГЭ). Например, толща неоднородна по числу пластичности: суглинок *легкий*, суглинок *тяжелый*. Другой пример, толща неоднородна по числу пластичности и гранулометрическому составу: глина *легкая*; или – суглинок **песчанистый** *легкий*, суглинок **пылеватый** *тяжелый* и др.

4. Толща неоднородна по трем критериям и в зависимости от полноты представленных разновидностей может содержать от 3 до 18 ИГЭ (РГЭ). Например, неоднородна по числам пластичности и показателю текучести: суглинок *легкий*, **твердый**; глина *тяжелая*, **тугопластичная**

5. Толща неоднородна по четырем критериям и может содержать от 4 до 30 ИГЭ (РГЭ). Например, по числам пластичности, гранулометрическому составу, показателю текучести: суглинок *тяжелый*, *пылеватый*, **твердый**; глина *легкая*, *песчанистая* **тугопластичная**.

Целью настоящего сообщения является анализ возможных способов получения инженерно-геологической информации, необходимой для построения геомеханической модели площадки изысканий с учетом новых требований ГОСТ по выделению просадочных разновидностей. В статье рассматривается вариант 2, при котором площадки проектируемого строительства характеризуются несложным геологическим строением, а мощность просадочной толщи может быть различной, от незначительной до весьма существенной.

Всего было проанализировано 30 площадок изысканий, отвечающих условиям варианта 2.

Первоначальные геомеханические модели площадок построены по классификационным критериям, принятым ГОСТ 25100–95, новые модели разработаны в соответствии с требованиями актуализированного ГОСТ 25100–2011 г [1, 2].

Методики исследований инженерно-геологических условий площадки изысканий

В качестве примера выбрана площадка проектируемого строительства 10-этажного жилого дома, расположенная на ул. Инструментальной в г. Таганроге Ростовской области [13]. Здание на плитном основании с предполагаемой глубиной заложения 4 м; габариты: 20×50 м; высота 30 м. Уровень ответственности здания – II [12]. Для изучения инженерно-геологических условий площадки были выполнены следующие виды работ.

1. Плановая и высотная привязка геологических выработок осуществлялась на местности инструментально от грунтового репера. Всего 6 точек.

2. Бурение скважин механическим ударно-канатным способом установкой УГБ-1ВС глубиной 20,0 м, диаметром 146 мм. Всего пробурено 4 технические и 2 разведочные скважины. Общий объем бурения 120 п.м.

3. Проходка 2 шурфов сечением 2,5×2,5 глубиной 5 м осуществлялась вручную.

4. Для определения физико-механических свойств грунтов из технических скважин и шурфов отбирались пробы ненарушенного и нарушенного сложения. Интервал отбора проб 1,0–2,0 м. Отбор проб проводился путем задавливания тонкостенного грунтоноса. Всего отобрано 68 монолитов.

5. В лаборатории изучались глинистые и песчаные грунты до глубины 20,0 м. В результате выполненных работ определены: природная влажность, плотность, пределы пластичности, деформируемость грунтов, гранулометрический состав, содержание водорастворимых химических компонентов и органического вещества в грунтах [3–5]. Определение деформируемости грунтов проводилось в компрессионных приборах системы «Гидропроект» методом «двух кривых» в интервале давлений от 0 до 0,45 МПа. Грунты испытывались при природной влажности и в водонасыщенном состоянии. Прочностные характеристики

глинистых грунтов получены по схеме неконсолидированного-недренированного сдвига в условиях полного водонасыщения на приборах Маслова – Лурье [6, 7].

6. Статистическая обработка результатов лабораторных испытаний грунтов выполнена на ПК согласно ГОСТ 20522-96 [8].

На рис. 1 обозначены контуры проектируемого сооружения, местоположение горных выработок, точек полевых опытных работ и отобранных монолитов.

В результате проведенных инженерно-геологических изысканий получено следующее.

В геоморфологическом отношении изученная площадка расположена в пределах склона древнеэвксинской террасы. Абсо-

лютные отметки поверхности изменяются от 16,65 до 19,09 м. Непосредственно на площадке вскрыты четвертичные отложения, относящиеся в соответствии с ГОСТ 25100-95 к классам техногенных дисперсных грунтов и природных связных дисперсных грунтов, преимущественно с механическими и водно-коллоидными структурными связями [1]. При бурении скважин 1–6 до 20,0 м подземные воды не вскрыты. Специфическими грунтами являются просадочные суглинки ИГЭ-2, 3 до глубины 14,8–15,9 м. Просадка грунтов под действием собственного веса превышает 5 см. Тип грунтовых условий по просадочности – П [14]. В соответствии с приложением «Б»

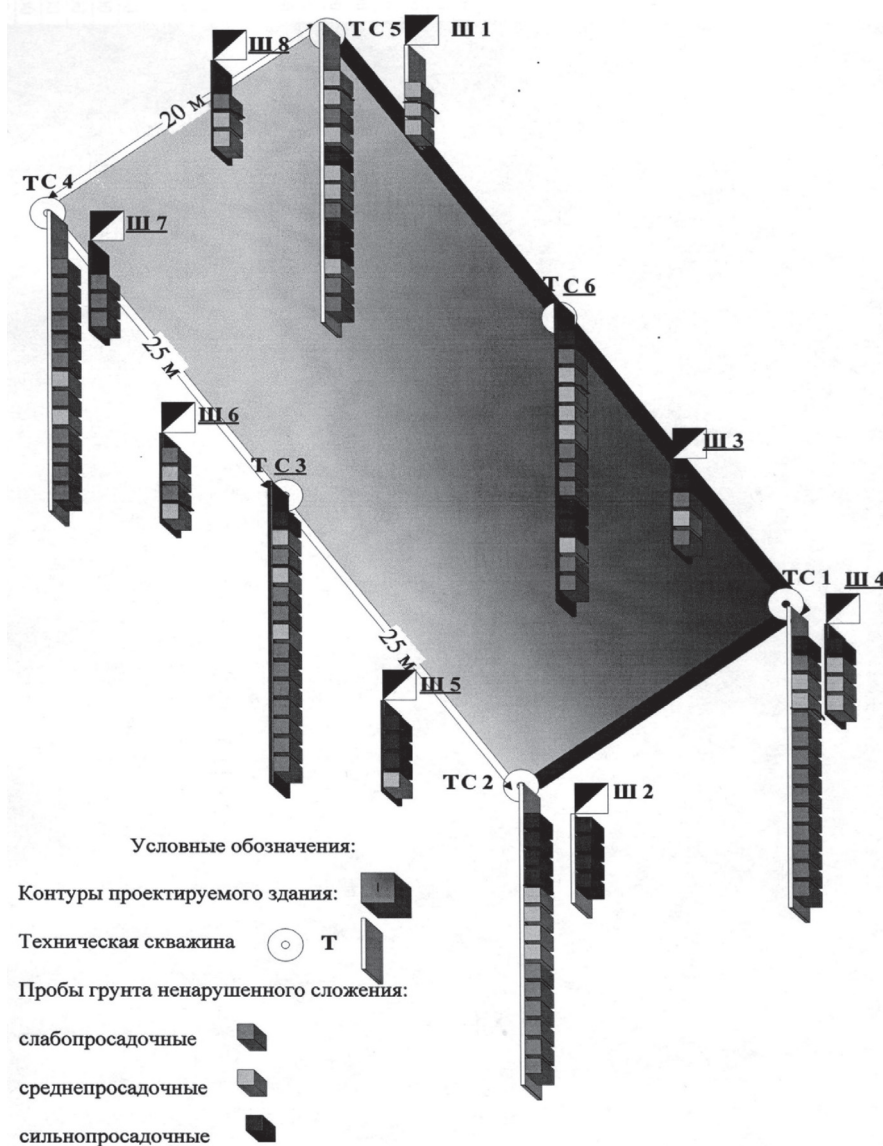


Рис. 1. План расположений контуров проектируемого здания, горных выработок, точек полевых опытных работ, отбора монолитов

СП 11-105-97 по совокупности факторов и преимущественному влиянию просадочности грунтов площадка отнесена к III категории сложности инженерно-геологических условий [10].

Расчетная геомеханическая модель объекта

На основании результатов статистической обработки показателей свойств грунтов и в соответствии с их классификацией (ГОСТ 25100-95) выделены следующие расчетные грунтовые элементы (РГЭ) [1]:

- в пределах ИГЭ-1 выделен РГЭ-1 – насыпной разнородный грунт со строительным мусором (не изучался);
- в пределах ИГЭ-2 выделен РГЭ-2 – суглинок тяжелый пылеватый, твердый, просадочный, незасоленный, ненабухающий;
- в пределах ИГЭ-3 выделен РГЭ-3 – суглинок легкий, пылеватый, твердый, просадочный, ненабухающий, незасоленный;
- в пределах ИГЭ-4 выделен РГЭ-4 – песок мелкий, плотный, средней степени водонасыщения, непросадочный, незасоленный.

На рис. 2, а, б приведены инженерно-геологические разрезы по линии III–III и IV–IV.

Результаты исследования и их обсуждение

Актуализированные редакции ГОСТ 25100-2011 и ГОСТ 20522-2012 регламентируют разделение ИГЭ-2 и 3 на геологические тела однородные по величине относительной деформации просадочности в пределах 3 классификационных интервалов: слабopосадочные; среднепросадочные, сильнопросадочные (табл. 1, 2) [2, 9].

Такое разделение повлекло за собой изменение выборки частных значений показателей свойств ИГЭ-2 и 3, а следовательно, необходимость новой оценки средних значений показателей, параметров их изменчивости и построения новой расчетной геомеханической модели объекта, которая, предположительно, будет включать семь меньших по объему ИГЭ (РГЭ), вместо трех первоначальных. На рис. 2 приведена новая предварительная модель площадки изысканий, которая требует подтверждения расчетом. В скобках указано количество частных определений свойств грунта после разделения выборки:

- ИГЭ-2а – суглинок тяжелый пылеватый, твердый, **слабopосадочный**, незасоленный, ненабухающий (5);

- ИГЭ-2б – суглинок тяжелый пылеватый, твердый, **среднепросадочный**, незасоленный, ненабухающий, (5);

- ИГЭ-2в – суглинок тяжелый пылеватый, твердый, **сильнопросадочный**, незасоленный, ненабухающий (13);

- ИГЭ-3а – суглинок легкий пылеватый, твердый, **слабopосадочный**, незасоленный, ненабухающий (27);

- ИГЭ-3б – суглинок легкий пылеватый, твердый, **среднепросадочный**, незасоленный, ненабухающий (15);

- ИГЭ-3в суглинок легкий пылеватый, твердый, **сильнопросадочный** незасоленный, ненабухающий (3);

- ИГЭ-4 песок мелкий, плотный, средней степени водонасыщения, непросадочный, незасоленный.

На рис. 3, а, б приведены инженерно-геологические разрезы по линии III–III и IV–IV после выделения разновидностей грунтов по новым градациям относительной деформации просадочности.

Согласно требованиям ГОСТ 20522-2012, п.5.3.17 СП 22.13330.2011 число одноименных частных определений для каждого выделенного на площадке инженерно-геологического или расчетного грунтового элемента должно быть не менее десяти для физических характеристик и не менее шести – для механических характеристик [9, 14]. На первый взгляд для большинства выделенных ИГЭ отобранных проб грунтов достаточно для изучения лабораторными методами. Исключение составляет ИГЭ-3в. Однако при составлении задания на лабораторные исследования грунтов было выявлено, что большинство вновь выделенных ИГЭ оказались необеспеченными нужным количеством образцов грунтов для оценки их характеристик. При условии, что монолиты, отобранные из скважин 2 и 5, будут использованы для определения деформационных характеристик, а скважины 1 и 4 – прочностных, а также, учитывая монолиты, отобранные из шурфов, получено следующее (табл. 3).

Из табл. 3 следует, что достаточное количество проб грунтов для определения их деформационных характеристик отобрано только для ИГЭ-2в (8 монолитов), ИГЭ-3а (10 монолитов), ИГЭ-3б (11 монолитов). Для выполнения сдвиговых испытаний необходимое количество монолитов имеется только для ИГЭ-3а (17 монолитов). Для изучения остальных ИГЭ следует получить дополнительную первичную инженерно-геологическую информацию.

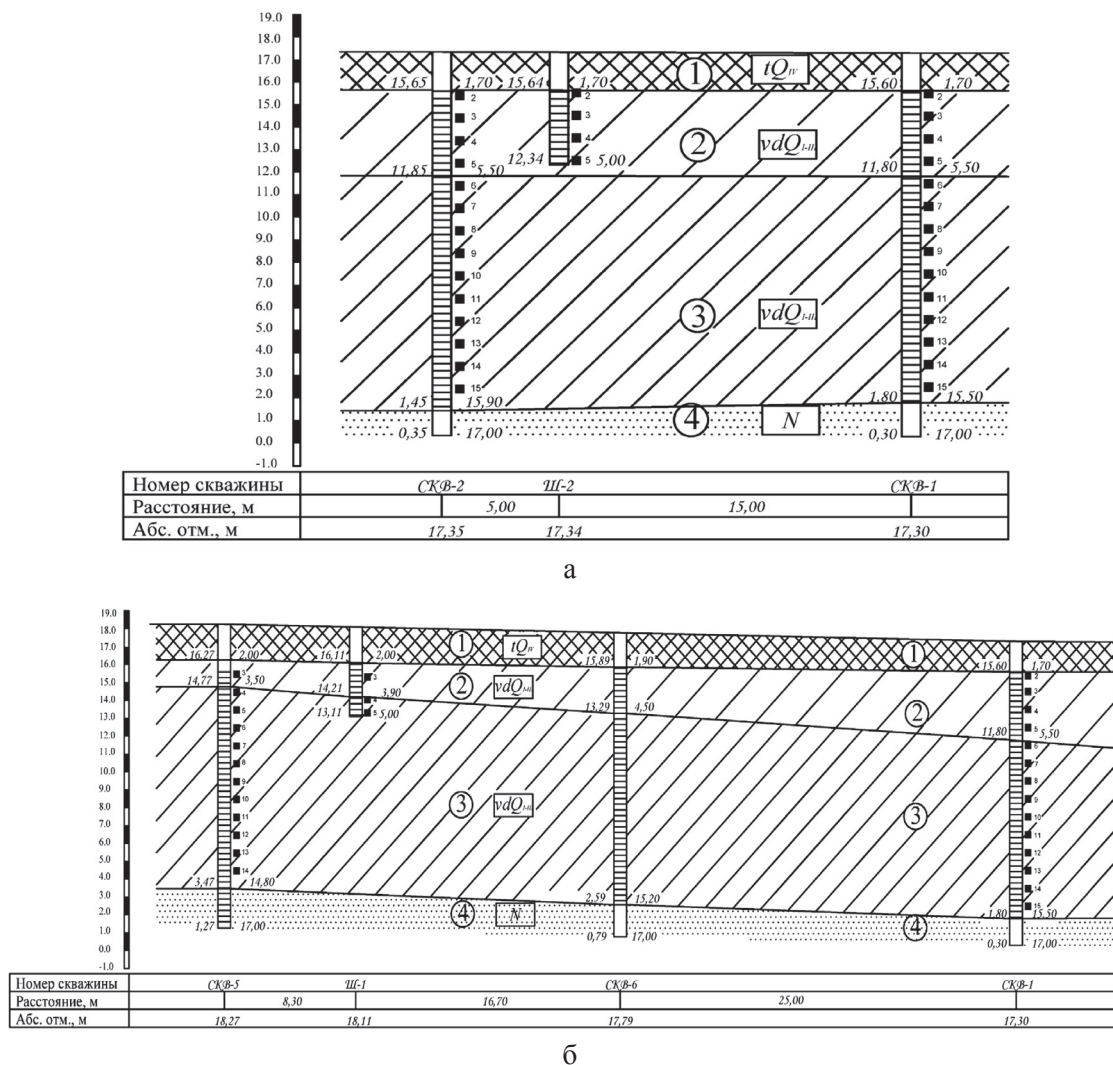


Рис. 2. а – инженерно-геологический разрез по линии III–III;
б – инженерно-геологический разрез по линии IV–IV

Таблица 1
Относительная деформация просадочности грунтов РГЭ-2 и 3, отобранных из скважин

Глубина, м	Относительная деформация просадочности ε_{sp} , д. е. Разновидность грунтов (ГОСТ 25100-2011)					
	Скважина 1	Скважина 2	Скважина 3*	Скважина 4	Скважина 5	Скважина 6*
1	2	3	4	5	6	7
2,0	0,075 сильнопрос.	0,076 сильнопрос.	0,085 сильнопрос.	–	–	0,080 сильнопрос.
3,0	0,021 слабопрос.	0,075 сильнопрос.	0,056 среднепрос.	0,020 слабопрос.	0,032 среднепрос.	0,029 слабопрос.
4,0	0,035 среднепрос.	0,080 сильнопрос.	0,010 слабопрос.	0,024 слабопрос.	0,036 среднепрос.	0,037 среднепрос.
5,0	0,033 среднепрос.	0,085 сильнопрос.	0,039 среднепрос.	0,024 слабопрос.	0,025 слабопрос.	0,035 среднепрос.
6,0	0,019 слабопрос.	0,052 среднепрос.	0,023 слабопрос.	0,019 слабопрос.	0,031 среднепрос.	0,032 среднепрос.
7,0	0,027 слабопрос.	0,057 среднепрос.	0,023 слабопрос.	0,010 слабопрос.	0,073 сильнопрос.	0,048 среднепрос.

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
8,0	0,017 слабопрос.	0,031 среднепрос.	0,057 среднепрос.	0,016 слабопрос.	0,040 среднепрос.	0,020 слабопрос.
9,0	0,013 слабопрос.	0,043 среднепрос.	0,025 слабопрос.	0,034 среднепрос.	0,034 среднепрос.	0,015 слабопрос.
10,0	0,011 слабопрос.	0,015 слабопрос.	0,013 слабопрос.	0,018 слабопрос.	0,026 слабопрос.	0,012 слабопрос.
11,0	0,015 слабопрос.	0,021 слабопрос.	0,013 слабопрос.	0,032 среднепрос.	0,075 сильнопрос.	0,072 сильнопрос.
12,0	0,010 слабопрос.	0,019 слабопрос.	0,019 слабопрос.	0,010 слабопрос.	0,078 сильнопрос.	0,075 сильнопрос.
13,0	0,019 слабопрос.	0,021 слабопрос.	0,015 слабопрос.	0,011 слабопрос.	0,043 среднепрос.	0,050 среднепрос.
14,0	0,019 слабопрос.	0,010 слабопрос.	0,010 слабопрос.	0,021 слабопрос.	0,029 слабопрос.	0,027 слабопрос.
15,0	0,020 слабопрос.	0,012 слабопрос.	0,011 слабопрос.	0,022 слабопрос.	0,026 слабопрос.	0,028 слабопрос.

Таблица 2

Относительная деформация просадочности грунтов РГЭ-2 и 3, отобранных из шурфов

Глубина, м	Относительная деформация просадочности ε_{sp} , д. е. Разновидность грунтов (ГОСТ 25100-2011)							
	III-1	III-2	III-3*	III-4*	III-5*	III-6*	III-7*	III-8*
2,0	–	0,072 сильно- прос.	0,072 сильно- прос.	0,078 сильно- прос.	0,72 сильно- прос.	0,028 слабо- прос.	–	–
3,0	0,032 средне- прос.	0,074 сильно- прос.	0,024 слабо- прос.	0,032 средне- прос.	0,080 сильно- прос.	0,035 средне- прос.	0,026 слабо- прос.	0,022 слабо- прос.
4,0	0,035 средне- прос.	0,078 сильно- прос.	0,032 средне- прос.	0,032 средне- прос.	0,082 сильно- прос.	0,020 слабо- прос.	0,028 слабо- прос.	0,030 средне- прос.
5,0	0,033 средне- прос.	0,080 сильно- прос.	0,020 слабо- прос.	0,034 средне- прос.	0,035 средне- прос.	0,037 средне- прос.	0,024 слабо- прос.	0,034 средне- прос.

Примечание. * обозначены горные выработки, пройденные для получения дополнительной инженерно-геологической информации.

Таблица 3

Распределение монолитов по ИГЭ для выполнения лабораторных работ

Количество монолитов, выделенных для компрессионных испытаний					
ИГЭ-2а	ИГЭ-2б	ИГЭ-2в	ИГЭ-3а	ИГЭ-3б	ИГЭ-3в
0 + (1 + 8) = 9	2 + (1 + 6) = 9	8 + (1 + 5) = 14	10 + (9 + 0) = 19	11 + (2 + 3) = 16	3 + (0 + 0) = 3
Количество монолитов, выделенных для сдвиговых испытаний					
5 + (1 + 8) = 14	3 + (1 + 6) = 10	5 + (1 + 5) = 11	17 + (5 + 0) = 22	4 + (4 + 3) = 11	0 + (2 + 0) = 2

Примечания: первая цифра – количество монолитов после разделения выборки; в скобках: первая цифра – количество монолитов, отобранных из дополнительных скважин; вторая цифра – количество монолитов, отобранных из дополнительных шурфов.

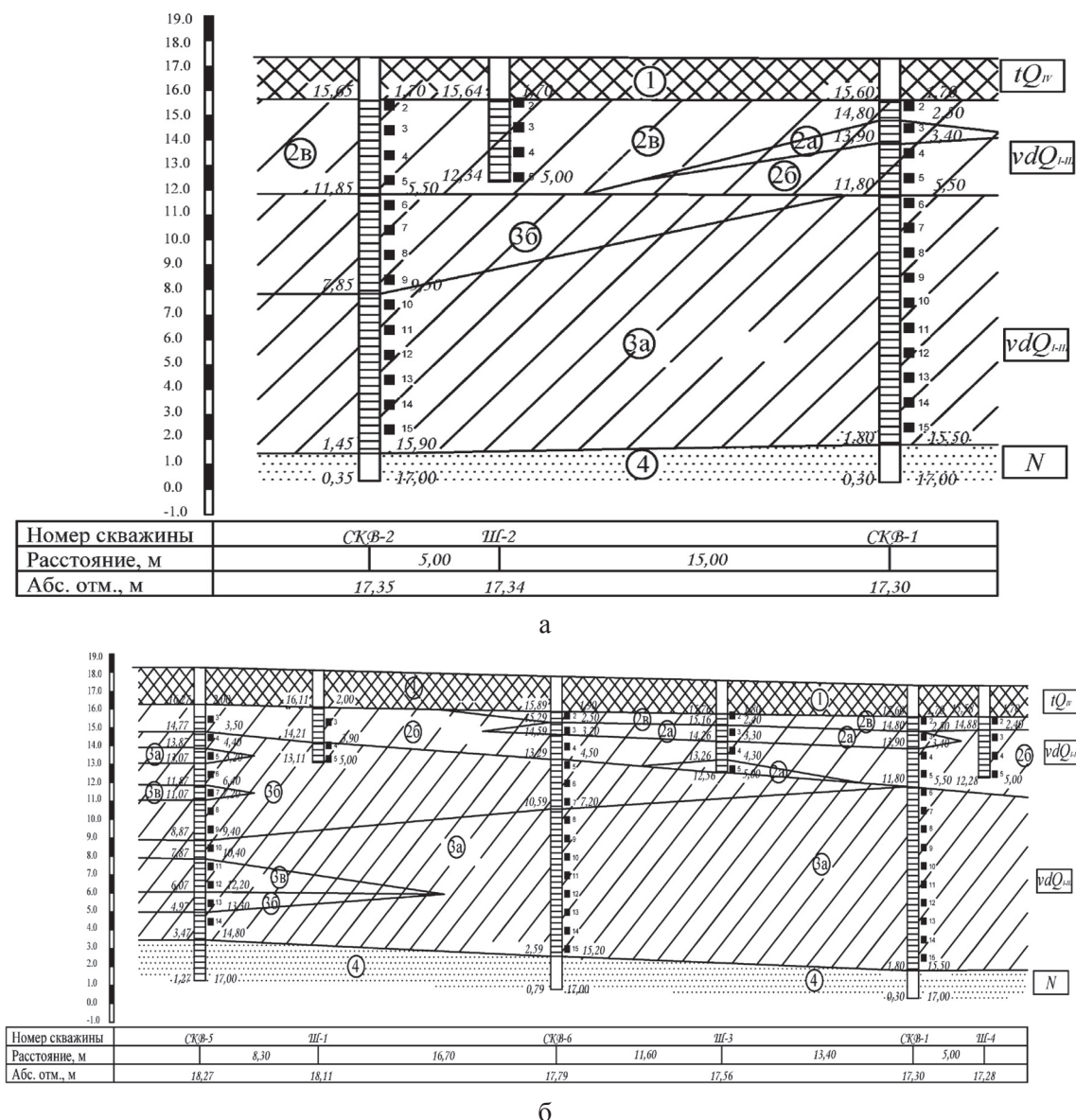


Рис. 3. а – инженерно-геологический разрез по линии III–III (новая модель);
б – инженерно-геологический разрез по линии IV–IV (новая модель)

Небольшая глубина залегания ИГЭ-2а, ИГЭ-2б и ИГЭ-2в позволяет произвести отбор монолитов при проходке шурфов. Нами рассмотрен вариант, предусматривающий полевые испытания грунтов вертикальной статической нагрузкой плоскими штампами I типа в шурфах на глубине заложения фундамента – 4 м [16]. Количество испытаний грунтов штампами для каждого характерного ИГЭ следует устанавливать не менее двух [11]. После разделения грунтовой толщи, в пределах исследуемой площадки основанием плитного фундамента могут служить грунты ИГЭ-2а (скв. 4), ИГЭ-2б (скв. 1), ИГЭ-2в (скв. 2), ИГЭ-3б (скв. 5). Таким образом, количество испытаний грунтов вер-

тикальной статической нагрузкой должно увеличиться с 2 до 8 испытаний. На рис. 1 показаны дополнительные горные выработки со схемами их опробования (скв. 3 и 6; шурфы 3–8). Следует отметить, что нормативные документы не содержат методiku выполнения штамповых испытаний на «гетерогенных» грунтах, когда в шурфе присутствует несколько их разновидностей. В нашем варианте дополнительные испытания вертикальной статической нагрузкой позволяют осуществить добор необходимых образцов для исследований деформационных свойств ИГЭ-2а, 2б, и прочностных характеристик ИГЭ-2б, 2в, 3б (табл. 3, вторая цифра в скобках).

Для получения дополнительной первичной инженерно-геологической информации о свойствах грунтов ИГЭ-3в считаем целесообразным разведочные скважины 3 и 6 назначить техническими. При выполнении изысканий авторами предполагалась необходимость размещения дополнительных точек отбора монолитов, поэтому скважины 3 и 6 изначально были использованы в качестве технических, несмотря на то, что согласно правилам производства инженерно-геологических изысканий по назначению они могут оставаться разведочными. В нашем варианте изменение назначений скважин и отбор монолитов с интервалов 1,0 м позволило получить дополнительную информацию об ИГЭ-2б; ИГЭ-2в; ИГЭ-3в, однако ИГЭ-3в снова оказался недостаточно опробованным для статистической обработки необходимых характеристик. Таким образом, все последующие инженерно-геологические работы будут полностью подчинены поиску точек отбора необходимых образцов грунта ИГЭ-3в.

Выводы

1. На основании анализа инженерно-геологических условий 300 площадок, в зависимости от однородности просадочной толщи, выделены пять возможных вариантов, которые при разделении дисперсных грунтов на разновидности по относительной деформации просадочности $\varepsilon_{\text{в}}$ в соответствии с новыми требованиями ГОСТ 25100-2011 учитывают количество РГЭ в геомеханической модели объекта. Установлено, что возможно обособление от 1 до 30 РГЭ.

2. Для площадок, отнесенных по строению просадочной толщи к варианту 2, виды, объемы и стоимость инженерно-геологических работ должны назначаться с учетом наличия как минимум трех разновидностей грунтов, выделяемых по относительной деформации просадочности и 6 ИГЭ в пределах просадочной толщи.

3. Основным способом дополнительных исследований свойств грунтов, залегающих на глубине не выше 5 м в пределах площадки проектируемого строительства, при плитном и свайно-плитном вариантах фундаментов является проходка и опробование шурфов, предназначенных для проведения полевых испытаний грунтов вертикальной статической нагрузкой штампами. Данный вид работ обеспечивает 80 % необходимых

проб грунта для их изучения лабораторными методами.

4. Следует учитывать, что породы некоторых ИГЭ (РГЭ) могут залегать в виде разобленных геологических тел на значительных глубинах. В таких случаях для получения достаточной первичной инженерно-геологической информации, обеспечивающей возможность статистической обработки показателей свойств грунтов, все скважины следует назначать техническими, а не менее чем в 30 % скважин отбор монолитов проводить через 0,5 м.

Список литературы

1. Грунты. Классификация. ГОСТ 25100-95. – Введ. 1996-07-01. – М.: Стандартинформ, 2005. – 23 с.
2. Грунты. Классификация. ГОСТ 25100-2011. – Введ. 2013-07-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 60 с.
3. Грунты. Методы лабораторного определения зернового (гранулометрического) состава. ГОСТ 12536-79. – Введ. 1980-01-07. – М.: Стандартинформ, 2008. – 21 с.
4. Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ. ГОСТ 23740-79. – Введ. 1980-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1979. – 25 с.
5. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. ГОСТ 5180-84. – Введ. 1985-01-07. – М.: Стандартинформ, 2005. – 21 с.
6. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности. ГОСТ 23161-78. – Введ. 1979-01-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1980. – 11 с.
7. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. ГОСТ 12248-96. – Введ. 1997-01-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997. – 28 с.
8. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. ГОСТ 20522-96. – Введ. 1997-01-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997. – 28 с.
9. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. ГОСТ 20522-2012. – Введ. 2013-07-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 20 с.
10. Инженерно-геологические изыскания для строительства. СП 11-105-97. (I часть) – Введ. 1998-01-03. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 47 с.
11. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов. СП 11-105-97 (III часть). – Введ. 2000-07-01. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 79 с.
12. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету. ГОСТ 27751-88. – Введ. 1988-07-01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 15 с.
13. ООО «Азимут». Отчет по результатам инженерно-геологических изысканий, выполненных на участке проектируемого строительства жилого дома по ул. Инструментальной в г. Таганроге Ростовской области. – Ростов-на-Дону, 2012. – 146 с.
14. Основания зданий и сооружений. Свод Правил. СП 22.13330.2011 (актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*). – Введ. 2011-20-05. – М.: Минрегион РФ. – 116 с.
15. Хансварова Н.М., Скларина Н.А. Влияние новых требований ГОСТ 25100-11 к выделению разновидностей просадочных грунтов на стоимость инженерно-геологических изысканий // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 11-6. – С. 1129–1136.

УДК 332.142

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ВАЛДАЯ

¹Юзбеков М.А., ²Юзбеков А.К.¹Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого,
Великий Новгород, e-mail: uma77@mail.ru;²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,
e-mail: uak2003@mail.ru

На основе анализа динамики выбросов вредных веществ в атмосферу Валдайского района Новгородской области показана тенденция к увеличению экологической нагрузки на окружающую среду. Установлено, что загрязнение атмосферного воздуха является одним из факторов, негативно влияющих на демографическую ситуацию и состояние здоровья населения муниципального района (высокий уровень смертности и заболеваемости). Рассчитан экономический ущерб здоровью населения от заболеваемости болезнями органов дыхания, обусловленной загрязнением атмосферного воздуха. Определена позиция Валдайского района среди муниципальных образований региона путем проведения комплексной оценки состояния территории методом ранжирования с использованием ограниченного набора статистических показателей. Предложены рекомендации по снижению загрязнения атмосферного воздуха и его воздействия на здоровье населения, способствующие развитию рекреационного потенциала Валдая.

Ключевые слова: экономический ущерб, окружающая среда, загрязнение атмосферного воздуха, демографическая ситуация, здоровье, заболеваемость, рекреационный потенциал

DEVELOPING THE RECREATIONAL POTENTIAL OF VALDAI: ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ISSUES

¹Yuzbekov M.A., ²Yuzbekov A.K.¹The Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Velikiy Novgorod, e-mail: uma77@mail.ru;²Lomonosov Moscow State University, Moscow, e-mail: uak2003@mail.ru

The analysis of the dynamics of emission of harmful substances into the atmosphere of the Valdai District of the Novgorod Region revealed a tendency toward an increase in the environmental load. It was established that air pollution negatively influenced the demographic situation and the health of the people of this municipal area, resulting in high mortality and morbidity levels. Air pollution-associated respiratory diseases produced a negative effect on the people's health. The resulting economic damages were estimated. The ranking method with a limited number of statistical criteria was used to perform a complex analysis of the area's state. The status of the Valdai District among the municipal areas of the Novgorod Region was evaluated. A strategy for decreasing air pollution and its health impact and promoting the development of Valdai's recreational potential was suggested.

Keywords: economic damages, environment, air pollution, demographic situation, health, morbidity, recreational potential

В современных условиях рекреационный потенциал территорий является одним из важнейших, так как не только способствует повышению качества жизни населения, но и обеспечивает социально-экономическое развитие региона, в частности, путем притока денежных средств, создает условия для занятости и доходов жителей региона. Валдайский район Новгородской области, занимая центральное географическое положение и имея хорошую транспортную доступность, обладает уникальным природным потенциалом и историко-культурными памятниками. На его территории находится национальный парк «Валдайский», который относится к числу наиболее крупных особо охраняемых природных территорий европейской части России и образован с целью сохранения озерно-лесного комплекса Валдайской возвышенности и создания условий

для развития организованного отдыха в этой зоне. Благодаря запасу пресных вод и высокой лесистости, свидетельствующих о биосферной функции Валдая, парк определяет экологическую обстановку на значительной площади Европейской России. Таким образом, Валдайский район имеет возможность быть ведущей рекреационной зоной страны.

Однако существующие в настоящее время в районе проблемы, обусловленные возросшей экологической нагрузкой на окружающую среду и ухудшением здоровья населения, способствуют формированию неблагоприятных условий для проживания и отдыха населения, что снижает потенциал Валдая в сфере рекреации.

Одной из причин остроты экологических проблем является недооценка экономического ущерба здоровью населения от загрязнения окружающей среды, поэтому

его определение является важнейшим направлением наших исследований. Расчеты экономического ущерба позволяют принимать эффективные с позиций «устойчивого развития» управленческие решения: определение экологических проблем в регионе и направлений природоохранной деятельности; обоснование уровня затрат на осуществление природоохранных мероприятий.

Общепризнанным методом решения проблем загрязнения окружающей среды является экологическая политика, однако необходимы новые подходы к ее разработке и реализации. Современная экологическая политика должна быть направлена на улучшение экологических условий с целью формирования благоприятной среды жизнедеятельности людей, что является необходимым условием развития рекреационного потенциала Валдая.

Материалы и методы исследования

Источниками информации о социо-эколого-экономических показателях Валдайского района Новгородской области за 2005–2014 годы послужили: статистические материалы Федеральной службы государственной статистики, территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Новгородской области, Департамента здравоохранения Новгородской области.

Экономический ущерб от заболеваемости населения, обусловленной загрязнением атмосферы, рассчитывали по методологии «стоимость заболевания».

Комплексная оценка состояния территории выполнена методом ранжирования.

Цель исследования – разработка рекомендаций по снижению экологической нагрузки на окружающую среду, способствующих развитию рекреационного потенциала Валдая.

Результаты исследования и их обсуждение

Важнейшей характеристикой воздушного бассейна является его качество, так

как нормальная жизнедеятельность людей требует не только наличия воздуха, но и его определенной чистоты. В настоящее время проблема загрязнения атмосферы стала особенно острой и связана с ростом промышленного производства после кризисных явлений в экономике, потреблением электроэнергии, использованием в большом количестве автомобильного транспорта.

За последнее десятилетие изменились экологические показатели, как в целом по России, так и в отдельных регионах. В Валдайском районе источниками загрязнения атмосферного воздуха являются производство и распределение электроэнергии, газа и воды, предприятия пищевой промышленности и обработки древесины, автотранспорт.

На основе анализа динамики выбросов вредных веществ в атмосферу выявлена тенденция к увеличению негативного воздействия промышленного производства Валдайского района на экологическую ситуацию. В 2014 году объемы выбросов вредных веществ, отходящих от стационарных источников, увеличились в 2,6 раза по сравнению с 2005 годом и составили 1635 т (рис. 1).

При этом уловлено и обезврежено было только 5% загрязняющих веществ. На долю выбросов наиболее распространенных веществ приходилось: твердые вещества – 8%; диоксид серы – 4,0%; оксиды азота – 1%; оксид углерода – 22%; углеводороды – 60%.

За годы наблюдений общая структура выбросов в атмосферу претерпела определенные изменения: увеличились выбросы оксида углерода (на 72%), уменьшились поступления в атмосферу твердых веществ (на 25%), диоксида серы (на 12%) и оксида азота (на 81%). Такие перемены обусловлены изменением объемов и структуры производимой продукции на предприятиях.

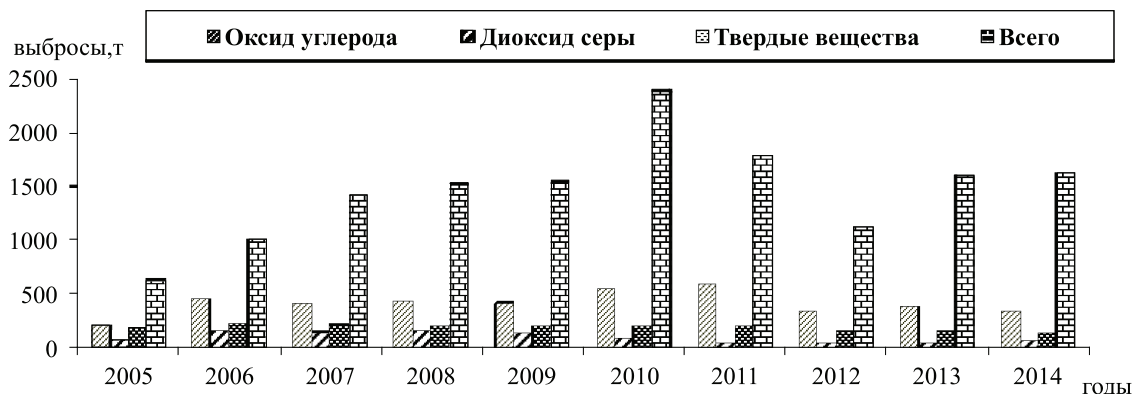


Рис. 1. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу стационарными источниками

Проблема защиты окружающей среды во многом зависит от финансирования экологической деятельности. Анализ затрат на охрану атмосферного воздуха в муниципальном районе показал, что необходимо внести изменения в финансирование природоохранной деятельности, поскольку оно осуществлялось лишь в рамках поддержания существующей системы охраны окружающей среды; инвестиции в основной капитал практически отсутствовали.

По мнению российских и зарубежных авторов, загрязнение атмосферного воздуха является одной из причин повышенной смертности и высокой заболеваемости населения [5, 8, 12, 15], в связи с этим в работе провели анализ демографической ситуации и состояния здоровья населения в Валдайском районе.

За последнее десятилетие наблюдается тенденция к улучшению демографических показателей, однако их величины свидетельствуют о неблагоприятной ситуации в районе. В 2014 году коэффициенты рождаемости и смертности, рассчитанные на 1000 человек населения, составили 11,1 родившихся детей и 19,3 умерших человек (РФ – 13,3 и 13,1; Новгородская область – 12,0 и 17,4); коэффициент естественной убыли равнялся (–8,2) (РФ – (0,2); Новгородская область – (–5,4)). Анализ естественного движения населения показал, что число умерших людей превышало количество родившихся в 1,7 раза.

В течение периода наблюдений общая заболеваемость населения Валдайского района имела тенденцию к повышению: ее показатель увеличился на 27% и составил в 2014 году 1726 случаев на 1000 человек населения. Анализ структуры общей заболеваемости населения показал, что первое место занимали болезни органов дыхания (22%), второе – болезни системы кровообращения (17%), третье – болезни костно-мышечной системы (11%).

Показатель общей заболеваемости детей в регионе в течение всего периода наблюдений был высоким и в 2014 году составил 1780 случаев на 1000 человек детского населения. В структуре общей заболеваемости на первом месте находились болезни органов дыхания – 51%; на втором – болезни органов пищеварения – 14%; на третьем – болезни кожи и подкожной клетчатки – 7%.

Таким образом, на основании исследований демографических процессов и состояния здоровья населения можно обозначить Валдайский район как крайне неблагополучное муниципальное образование Новгородской области, которая, в свою очередь, является одним из наиболее неблагоприят-

ных регионов РФ: по коэффициенту смертности и ожидаемой продолжительности жизни находится на 81 и 73 месте в РФ.

Очевидно, что повышенное загрязнение атмосферного воздуха и сложная демографическая ситуация отрицательно влияют на привлечение населения для получения экологических услуг на территории района.

По данным ряда авторов [1, 3, 6, 7], высокая заболеваемость и повышенная смертность населения вследствие загрязнения атмосферы приводят к значительным экономическим потерям, и их игнорирование может привести к катастрофическим последствиям в социально-экономическом развитии общества.

Экономический ущерб здоровью и жизни населения является важнейшим структурным элементом экономического ущерба от загрязнения окружающей среды. Денежная оценка ущерба здоровью населения включает затраты и потери, которые несет общество или сам заболевший и его семья: затраты на оказание медицинской помощи, затраты на компенсацию нетрудоспособности людей, недопроизводство валового внутреннего продукта [4].

В работе оценивали ущерб от заболеваемости населения Валдайского района болезнями органов дыхания, которые в структуре заболеваемости занимают первое место. Высокая заболеваемость органов дыхания в немалой степени обусловлена тем, что они находятся на границе раздела внутренней и внешней среды организма и постоянно подвергаются неблагоприятному влиянию загрязняющих веществ.

Для расчета ущерба использовали разработанный авторами алгоритм, который включает следующие этапы: определение уровня загрязнения атмосферы; определение параметров влияния загрязнения атмосферы на заболеваемость населения; расчет экономического ущерба от заболеваемости населения болезнями органов дыхания, в том числе от суммарного загрязнения атмосферы и загрязнения атмосферы выбросами вредных веществ стационарными источниками [10].

Важнейшим этапом расчета ущерба является определение зависимости между уровнем загрязнения атмосферы и состоянием населения, которое характеризуется повышенной заболеваемостью. Для получения конкретных величин этой зависимости в работе выполнили корреляционный анализ связи плотности суммарных выбросов вредных веществ в атмосферу от стационарных источников и автомобильного транспорта с численностью заболевших болезнями органов дыхания. В результате расчетов

установили, что 56,5% заболеваемости взрослого и детского населения в муниципальном районе (коэффициенты корреляции 0,671 ($p < 0,001$) и 0,713 ($p < 0,001$)) обусловлены загрязнением атмосферного воздуха [9].

Во многих работах также подтверждается высокий коэффициент коррелятивной связи между показателями патологии системы органов дыхания и загрязнением атмосферного воздуха [2, 13, 14].

Согласно полученным данным, затраты на медицинскую помощь, расходы на оплату больничных листов и потери ВРП составили 45,3; 5,7 и 19,2 млн руб/год соответственно. Таким образом, общий ущерб от заболеваемости населения, определенный как сумма частных ущербов, равнялся 70,2 млн руб/год.

Доли частных ущербов в общем ущербе распределились следующим образом:

- затраты на оказание медицинской помощи – 64,5 %;
- затраты на компенсацию нетрудоспособности людей – 8,1 %;
- потери ВРП по причине заболеваемости населения – 27,4 %.

С учетом коэффициента влияния суммарного загрязнения атмосферы на численность заболевших людей средняя величина ущерба здоровью населения составила 39,6 млн руб/год (около 15% собственного дохода местного бюджета). Ущерб от заболеваемости, обусловленный выбросами стационарными источниками, равнялся 11,8 млн руб./год.

Оценка реальных величин экономического ущерба дает возможность решать задачи во всех сферах деятельности, в том числе определение приоритетных экологических проблем и направлений природоохранной деятельности в муниципальном районе.

Одним из методов решения проблем загрязнения окружающей среды является экологическая политика, которая должна быть направлена на улучшение экологических условий с целью формирования благоприятной среды жизнедеятельности людей.

С нашей точки зрения, для обеспечения поддержки принятия решений в сфере регулирования экологической политики целесообразно определение роли техногенного фактора в общем воздействии социо-эколого-экономических показателей на уровень жизни населения. С этой целью была разработана методика регулирования экологической политики муниципальных образований на базе комплексной оценки состояния территории, для проведения которой осуществили отбор 16 характерных статистических показателей, влияющих на качество жизни населения, которые объединили в четыре группы: здоровье населения и демографическая ситуация; система здравоохранения; социально-экономическое развитие и экологические условия [11].

Ранжирование показателей внутри каждой группы осуществляли по балльной системе с учетом направленности вектора их воздействия на качество жизни населения. Позиция муниципального образования была определена путем суммирования баллов по всем анализируемым группам: при этом большее значение баллов соответствовало лучшему социо-эколого-экономическому состоянию района.

В итоге установили, что показатели условий проживания населения в муниципальных образованиях региона изменялись в интервале от 25,9 до 57,2 баллов (рис. 2).

В Валдайском районе величина показателя составила 44,5 баллов (15 ранг), что

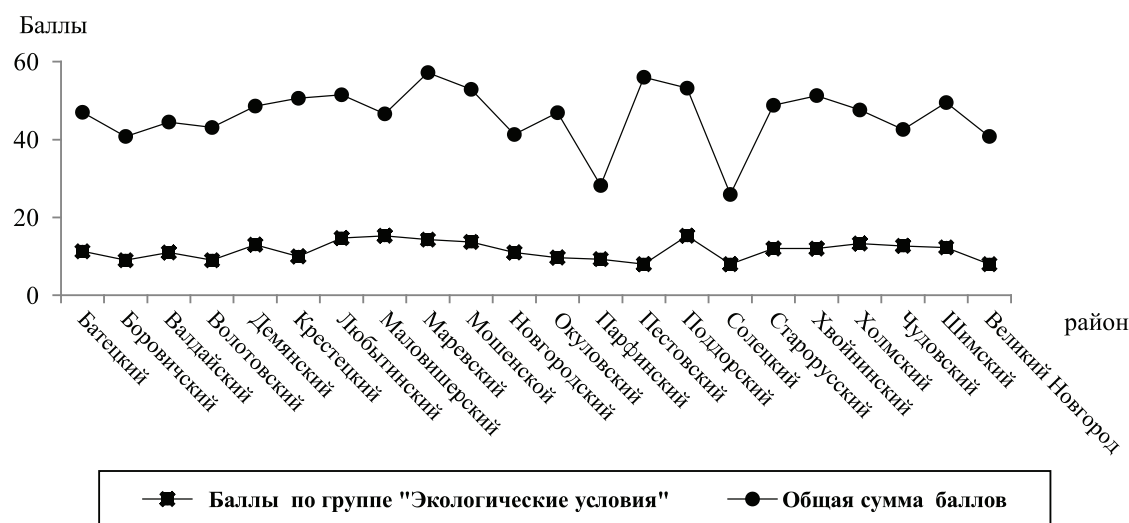


Рис. 2. Результаты комплексной оценки состояния территории

отрицательно характеризует район как территорию для предоставления рекреационных услуг населению.

Исходя из результатов ранжирования, для улучшения экологической ситуации в Валдайском районе необходимо принять меры, как на региональном уровне (11 баллов соответствуют 13–14 месту в рейтинге муниципальных образований), так и на уровне муниципалитета (доля баллов по группе «Экологические условия» в общей сумме баллов, определяющих качество жизни населения, менее 25%). Основные мероприятия по снижению негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду включают регулирование снижения выбросов вредных веществ в атмосферу промышленными производствами; совершенствование системы финансирования природоохранной деятельности. Государственное регулирование экологических процессов на территории муниципального образования будет способствовать формированию благоприятной среды для проживания и отдыха населения, что является одним из условий развития потенциала Валдайского района в сфере рекреации.

Заключение

По результатам выполненного исследования сделаны следующие выводы и предложения:

1. На основе комплексного анализа динамики выбросов вредных веществ в атмосферу показана тенденция к увеличению экологической нагрузки на окружающую среду Валдайского района Новгородской области.

2. На основании исследований демографических процессов и состояния здоровья населения обозначены основные показатели, определяющие Валдайский район как крайне неблагополучное муниципальное образование Новгородской области: низкий уровень рождаемости, высокая смертность, отрицательный естественный прирост и высокая заболеваемость населения.

3. Проведена экономическая оценка ущерба от заболеваемости населения болезнями органов дыхания, обусловленной загрязнением атмосферы, по методу «стоимость заболевания» на основе применения корреляционного анализа для определения параметров влияния экологического фактора на численность заболевших. Рассчитанный экономический ущерб здоровью населения от суммарного загрязнения атмосферы составил 39,6 млн руб/год.

4. На основе комплексной оценки социально-эколого-экономических показателей состояния территории установлено, что Валдайский район находится на 15 месте среди 22 муниципальных образований.

5. Предложены рекомендации по снижению негативного воздействия хозяйственной деятельности на состояние атмосферного воздуха и здоровье населения Валдайского района, способствующие развитию его рекреационного потенциала

Работа выполнена в рамках темы биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова № 01200117369 «Оценка состояния экосистем по данным экологического мониторинга» и при поддержке РНФ 16-17-00123 «Научные основы учета и прогноза бюджета углерода лесов России в системе международных обязательств по охране атмосферы и климата».

Список литературы

1. Бушуева Г.А., Ползик Е.В., Макаров Е.Н., Насыбулина Г.М., Кныш О.С. Оценка величины экономического ущерба, вызванного неблагоприятным состоянием здоровья населения промышленного города / Г.А. Бушуева, Е.В. Ползик, Е.Н. Макаров, Г.М. Насыбулина, О.С. Кныш // Экономика здравоохранения. – 2003. – № 1. – С. 11–14.
2. Гичев Ю.П. Экологическая обусловленность основных заболеваний и сокращения продолжительности жизни. – Новосибирск: СО РАМН, 2000. – 90 с.
3. Макроэкономическая оценка издержек для здоровья населения России от загрязнения окружающей среды / С.Н. Бобылев и др. – М.: Институт Всемирного Банка, Фонд защиты окружающей среды, 2002. – 32 с.
4. Ревич Б.Н. Экономические последствия воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье населения: пособие по региональной экологической политике / Б.Н. Ревич, В.Н. Сидоренко; под ред. В.М. Захарова, С.Н. Бобылева. – М.: ЦЭПР, 2007. – 56 с.
5. Робертсон Д.С. Негативное влияние растущего уровня углекислого газа в атмосфере на организм человека // Экологический вестник России. – 2008. – № 9. – С. 23–25.
6. Рюмина Е.В. Экономический анализ ущерба от экологических нарушений: монография; Российская акад. наук, Ин-т проблем рынка. – М.: Наука, 2009. – 329 с.
7. Рюмина Е.В., Аникина А.М. Оценка ущерба от загрязнения окружающей среды по регионам России / Е.В. Рюмина, А.М. Аникина // Экономика природопользования. – 2006. – № 5. – С. 89–96.
8. Чеханов А. Качество окружающей среды очень важно для здоровья // Экология и жизнь. – 2011. – № 10. – С. 83–84.
9. Юзбеков А.К., Юзбеков М.А. Влияние техногенного загрязнения атмосферы на заболеваемость органов дыхания // Вестник Моск. ун-та. сер. 16. Биология. – 2015. – № 1. – С. 19–24.
10. Юзбеков М.А., Юзбеков А.К. Основные направления экологизации промышленного производства в регионе // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–6. – С. 1321–1328.
11. Юзбеков М.А., Юзбеков А.К. Совершенствование экологической политики в регионе на основе оценки воздействий промышленного производства на качество жизни населения // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–4. – С. 877–882.
12. Brunekreef B., Holgate S.T. Air pollution and health // Lancet. – 2002. – Vol. 360. – P. 1233–1242.
13. Choudhury A., Gordian M.E., Morris S. Associations between respiratory illness and PM10 air pollution // Arch. Environ. Health. – 1997. – Vol. 54. – № 2. – P. 113–117.
14. Gauderman W.J., McConnell R., Gilliland F., London S., Thomas D., Avol E., Vora H., Berhane K., Rappaport E.B., Lurmann F., Margolis H.G., Peters J. Association between air pollution and lung function growth in Southern California children // Am. J. Respir. Crit. Care. Med. – 2000. – Vol. 162. – № 4. – P. 1383–1390.
15. Rückerl R., Schneider A., Breitner S., Cyrys J., Peters A. Health effects of particulate air pollution: a review of epidemiological evidence // Inhal. Toxicol. – 2011. – Vol. 23. – № 10. – P. 555–592.